

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Кофанова О. В., Тверда О. Я., Ткачук К. К., Кофанов О. Є.

**ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПОВОДЖЕННЯ
З ВІДХОДАМИ**

Навчальний посібник

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів другого магістерського рівня вищої
освіти спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища»
освітньої програми «Екоєфективне повоєнне відновлення забруднених
територій»*

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2025

УДК 628.4 (075.8) : 504.064.4

I66

Укладачі:

Кофанова Олена Вікторівна, доктор пед наук, канд.хім.наук, проф., проф.

Тверда Оксана Ярославівна, доктор техн. наук, проф., проф.

Ткачук Костянтин Костянтинович, доктор техн. наук, проф., проф.

Кофанов Олексій Євгенович, канд. техн. наук, канд. екон. наук, доцент, доцент

Рецензенти:

Чумак Віталій Лукич, д-р хім. наук, проф., професор кафедри хімії і хімічної технології Державного університету «Київський авіаційний інститут»

Василькевич Олександр Іванович, канд. хім. наук, доцент, доцент кафедри органічної хімії та технології органічних речовин КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор:

Гребенюк Тетяна Володимирівна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри геоінженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 9 від 26.06.2025 р.) за поданням Вченої ради Навчально-наукового інституту енергозбереження та енергоменеджменту (протокол № 11 від 25 червня 2025 р.)

I66

Інноваційні технології поводження з відходами [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів другого магістерського рівня вищої освіти спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньої програми «Екоефективне повоєнне відновлення забруднених територій» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : О. В. Кофанова, О. Я. Тверда, К. К. Ткачук, О. Є. Кофанов. Електронні текстові дані (1 файл). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 196 с.

Вивчення дисципліни «Інноваційні технології поводження з відходами» надає змогу здобувачам другого магістерського рівня вищої освіти спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища» ОП «Екоефективне повоєнне відновлення забруднених територій» ознайомитися з актуальними проблемами управління відходами в контексті екоефективного відновлення забруднених територій у післявоєнний період відбудови держави та враховуючи принципи циркулярної та зеленої економіки і сталого розвитку. Основна увага приділяється сучасним та інноваційним методам збирання, сортування і транспортування відходів; методам і технологіям поводження з відходами військово-промислового комплексу та інших напрямів промисловості, екологічним аспектам управління в сфері відходів. Посібник допоможе у підготовці до лекційних і практичних занять з дисципліни; містить рекомендації щодо виконання розрахункової роботи, написання пояснювальної записки та оформлення презентації, завдання до практичних занять і питання для підготовки до заліку. Посібник може бути використаний студентами технічних спеціальностей різних рівнів підготовки, які вивчають вплив техногенних об'єктів на природне середовище і здоров'я людини.

УДК 628.4 (075.8) : 504.064.4

© Кофанова О. В., Тверда О. Я., Ткачук К. К., Кофанов О. Є.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025

Укладачі:

Кофанова Олена Вікторівна, д-р пед наук, канд. хім. наук, проф., професор кафедри геоінженерії

Тверда Оксана Ярославівна, д-р техн. наук, проф., професор кафедри геоінженерії

Ткачук Костянтин Костянтинович, д-р техн. наук, проф., професор кафедри геоінженерії

Кофанов Олексій Євгенович, канд. техн. наук, канд. екон. наук, доц., доцент кафедри промислового маркетингу

Рецензенти:

Чумак Віталій Лукич, д-р хім. наук, проф., професор кафедри хімії і хімічної технології Державного університету «Київський авіаційний інститут»

Василькевич Олександр Іванович, канд. хім. наук, доц., доцент кафедри органічної хімії та технології органічних речовин КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор:

Гребенюк Тетяна Володимирівна, канд. техн. наук, доц., доцент кафедри геоінженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ З ДИСЦИПЛІНИ.....	11
1.1. Інноваційні тенденції у сфері управління відходами виробництва і споживання.....	11
1.2. Формування тарифів на послуги в системі управління твердими побутовими відходами (ТПВ).....	29
1.3. Збір і транспортування твердих побутових і промислових відходів та забруднень.....	32
1.4. Типовий морфологічний склад ТПВ в Україні	40
1.5. Особливості використання біомаси з метою одержання біогазу	42
1.6. Утилізація відходів виробництва автомобілів, переробка автомобільних шин і відходів гуми	47
1.7. Вплив військово-промислового комплексу (ВПК) на навколишнє середовище. Сучасні методи і технології поводження з відходами війни...80	80
1.8. Екологічні проблеми та утворення відходів унаслідок військової і терористичної діяльності.....	88
1.9. Проблеми переробки і знешкодження небезпечних промислових відходів, підготовка до переробки.....	94
1.10. Утилізація і знешкодження відходів гальванічних виробництв	102
1.11. Генно-модифіковані організми та управління відходами біотехнологічних виробництв	130
1.12. Екологічно збалансовані технології використання будівельних відходів	134
РОЗДІЛ 2 ПРИБЛИЗНА ТЕМАТИКА ЗАВДАНЬ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ, САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ, ОРІЄНТОВНИЙ СПИСОК ПИТАНЬ ДО ЗАЛКУ ...	146
РОЗДІЛ 3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ....	153

3.1. Загальні відомості про розрахункову роботу	153
3.2. Вимоги до оформлення пояснювальної записки	155
3.3. Алгоритм виконання завдання розрахункової роботи на тему «Розрахунок установки для отримання біогазу»	158
НАВЧАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА РЕСУРСИ.....	174
ГЛОСАРІЙ ТЕРМІНІВ В СФЕРІ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ.....	178
ВИКОРИСТАНІ ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА	185
ДОДАТКИ.....	189

ВСТУП

«Інноваційні технології поводження з відходами» – інтегральна дисципліна, що поєднує концептуальні положення багатьох наук – хімії, фізики, біології, біотехнології, екології, математики тощо. Вона орієнтована не тільки на вивчення проблем управління відходами, а й на вирішення завдань з покращення стану навколишнього природного середовища, на аналіз впливів різноманітних хімічних сполук-забруднювачів на здоров'я і життєдіяльність людей, на тваринний і рослинний світ.

Для курсу «Інноваційні технології поводження з відходами» особливого значення набувають питання потенційних фазових та інших фізико-хімічних перетворень речовин-токсикантів, причому, як у навколишньому середовищі, так і у виробничих умовах під час їх промислового знешкодження, утилізації чи повторного використання. Дослідження закономірностей міграції (хімічної, фізичної, фізико-хімічної, біохімічної тощо) і локального концентрування хімічних елементів (ХЕ) і речовин, що є складовими різноманітних відходів і викидів, на територіях проживання людей, промислових підприємств, сільськогосподарських угіддях тощо також є актуальними проблемами сучасності.

Проте більшість еколого-геохімічних досліджень, особливо у міських агломераціях, базуються на вивченні розподілу валових концентрацій певних хімічних елементів, результати яких надають змогу визначити лише напрямки міграції – накопичення чи винос речовини або ХЕ. Робити висновки щодо можливих перетворень сполук у ґрунтах, ґрунтових розчинах і поверхневих чи підземних водних об'єктах, повітряному середовищі тощо можна тільки на основі вивчення форм існування ХЕ в цих середовищах з урахуванням їхньої рухомості, розчинності та біодоступності. Таким чином, проблема визначення форм знаходження токсичних ХЕ у компонентах довкілля, зокрема, у повітрі, ґрунтах та водних об'єктах, залишається недостатньо вивченою і потребує

ретельного дослідження у системі управління відходами виробництва і споживання.

На хімічні, фізико-хімічні та біохімічні перетворення ХЕ у компонентах довкілля чинять вплив температура, вологість атмосферного повітря, кислотність середовища, а також сумісна присутність інших речовин-токсикантів, наприклад, сильних окисників та/або відновників, багато інших чинників, взаємний вплив яких значною мірою ускладнює прогнозування якісних і кількісних змін, що відбуваються в екосистемах, особливо на територіях звалищ і полігонів.

Таким чином, вивчення дисципліни «Інноваційні технології поводження з відходами» надає здобувачам ступеня магістра спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньої програми «Екоефективне повоєнне відновлення забруднених територій» змогу ознайомитися з актуальними проблемами управління відходами в контексті екоефективного відновлення забруднених територій у воєнний та післявоєнний періоди відбудови держави, концепцій циркулярної зеленої економіки та сталого розвитку. При цьому основна увага приділяється сучасним інноваційним методам збирання, сортування і транспортування відходів; методам і технологіям управління небезпечними промисловими відходами і відходами військово-промислового комплексу, сільського господарства тощо.

Метою дисципліни є формування у здобувачів таких компетентностей: ЗК7 Здійснення безпечної діяльності; ФК03 Здатність планувати, проєктувати та контролювати параметри роботи окремих видів обладнання, техніки і технологій захисту навколишнього середовища; ФК04 Здатність розробляти нові та використовувати відомі способи утилізації, знезараження та рециклінгу побутових і промислових відходів; ФК05 Здатність впроваджувати і використовувати відновлювальні джерела енергії, ресурсо- та енергозберігаючі технології; ФК06 Здатність контролювати й оцінювати ефективність природоохоронних заходів та застосовуваних технологій.

Предмет навчальної дисципліни – традиційні та інноваційні технології управління твердими побутовими відходами, відходами виробничої діяльності підприємств, у тому числі із виробництва вибухових речовин, пристроїв та військової техніки, відходами воєнних дій відповідно до принципів циркулярної зеленої економіки та сталого розвитку.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми (ОПП), здобувачі після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі програмні результати навчання: ПРН07 Розробляти системи екологічного управління з дотриманням вимог ISO 14004, встановлювати процедури та планувати і реалізовувати природоохоронні заходи протягом всього життєвого циклу продукції; ПРН08 Проектувати системи комплексного управління відходами та еколого-економічними аспектами їх утилізації, основами проектування полігонів для розміщення відходів, оцінювати їх вплив на довкілля та людину; ПРН11 Організувати утилізацію і знезаражування промислових і небезпечних відходів, оцінювати вплив промислових і небезпечних відходів на довкілля; ПРН12 Впроваджувати і використовувати відновлювальні джерела енергії та ресурсо- та енергозберігаючі технології у виробничій та соціальній сферах; ПРН13 Використовувати у практичній діяльності знання вітчизняного та міжнародного природоохоронного законодавства; ПРН14 Проектувати системи і технології захисту навколишнього середовища.

Під час вивчення матеріалу дисципліни застосовуються такі методи колективного та активного навчання:

- особистісно-орієнтовані технології, засновані на активних формах у методах навчання: мозкова атака під час колективних дискусій, розв'язання кейсів, інтерактивне спілкування; наукові конференції та диспути;

- методи проблемного навчання, частково пошукові завдання, аналітичні доповіді та аналіз окремих ситуацій (кейсів);

- інформаційно-комунікаційні технології, що забезпечують проблемно-дослідницький характер процесу навчання та активізацію самостійної роботи здобувачів, доповнення традиційних навчальних занять засобами взаємодії на

основі мережевих комунікаційних можливостей (із використанням мережі Інтернет, платформи G Suite for Education під час дистанційного навчання).

Лекційні заняття спрямовані на:

- надання сучасних та цілісних знань з дисципліни;
- виховання у здобувачів професійно-ділових якостей і розвиток у них самостійного творчого мислення;
- роз'яснення всіх нововведених термінів і понять;
- використання методичних особливостей подання матеріалу для кращого його розуміння та сприйняття;
- використання наочних елементів для сприйняття матеріалу;
- доступність для сприйняття конкретною аудиторією;
- формування у здобувачів необхідної мотивації та зацікавленості у продовженні навчання під час самостійної роботи;
- залучення здобувачів до процесу творчої роботи спільно з викладачем, до генерації нових ідей тощо.

Форми проведення лекційних занять: лекції-повідомлення, проблемні лекції, лекції-дискусії.

На практичні заняття виносяться теми, які дозволяють краще зрозуміти лекційний матеріал. Зміст цих занять і методика їх проведення сприяють забезпеченню розвитку творчої активності особистості здобувача. Вони розвивають наукове мислення і здатність користуватися спеціальною термінологією, дозволяють перевірити знання, у зв'язку з чим даний вид роботи виступає важливим засобом оперативного зворотного зв'язку. Тому практичні заняття виконують не тільки пізнавальну і виховну функції, але й покликані сприяти зростанню здобувачів як творчих і креативних фахівців.

Головним завданням самостійної роботи здобувачів є здобуття додаткових знань з дисципліни шляхом особистого пошуку інформації, формування активного інтересу і творчого підходу до опанування навчального матеріалу.

Навчальний посібник «Інноваційні технології поводження з відходами» призначений для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G 2 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньої програми «Екоефективне повоєнне відновлення забруднених територій». Він допоможе здобувачам у підготовці до лекційних і практичних занять з дисципліни; містить рекомендації до виконання розрахункової роботи, написання пояснювальної записки та оформлення презентації, завдання до практичних занять і питання для підготовки до заліку. Посібник може бути використаний студентами технічних спеціальностей різних рівнів підготовки, які вивчають вплив техногенних об'єктів на природне середовище і здоров'я людини.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ З ДИСЦИПЛІНИ

1.1. ІННОВАЦІЙНІ ТЕНДЕНЦІЇ У СФЕРІ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ВИРОБНИЦТВА І СПОЖИВАННЯ

У сучасному світі проблема комплексного використання природних ресурсів, а також сортування, утилізації і вторинної переробки сміття на корисні продукти стоїть дуже гостро. Наприклад, у Польщі на сміттєзвалищах розміщується близько 44 % побутових відходів, у Швеції – лише 0,8 %, а в Україні сьогодні до 94 % побутових відходів відправляється на сміттєзвалища, що займають вже площу понад 9 тис. га. Отже, Україна належить до числа країн з найбільшими абсолютними обсягами утворення і нагромадження відходів.

На жаль, у країні існує багато несанкціонованих звалищ. За оцінками фахівців, щорічно в Україні утворюється близько 29 тис. несанкціонованих сміттєзвалищ. Така ситуація пояснюється тим, що у багатьох населених пунктах не організоване збирання, сортування і вивезення побутових відходів. При цьому тільки останніми роками обсяги утворення відходів в Україні щорічно перевищує 0,4 млрд тонн.

Основними джерелами утворення промислових відходів є підприємства гірничорудного, хімічного, металургійного, машинобудівного, паливно-енергетичного, будівельного та агропромислового комплексів. При цьому полігони, звалища твердих побутових відходів, сховища, шламонакопичувачі і терикони разом вже займають близько 3 % території країни, тоді як рівень утилізації становить всього до 30 % промислових відходів і близько 4 % побутових відходів.

З 1 січня 2018 року Україна зобов'язалася сортувати і розділяти сміття на придатне для повторного використання, для захоронення і таке, що визнається небезпечним. Основна директива у сфері управління відходами, яку повинна впровадити Україна у відповідності до Угоди про асоціацію з ЄС, це Директива 2008/98/ЄС про відходи. Цією директивою передбачено таку пріоритетність управління відходами:

- запобігання утворенню відходів;
- підготовка до повторного використання;
- перероблення;
- інший тип утилізації, наприклад, для відновлення енергії;
- видалення.

Саме таку пріоритетність надання переваг в управлінні відходами передбачено в Законі України «Про управління відходами» (2022 р.). Своєю чергою, у рамках «Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року» передбачено конкретні заходи з запобігання утворення відходів. Для цього, зокрема, заплановано:

- створення мережі центрів запровадження більш екологічно чистих виробництв (технологій) для мінімізації обсягів утворення відходів;
- прийняття нормативно-правових актів щодо запровадження екодизайну товарів для споживання, які довше функціонуватимуть та будуть більш пристосованими до повторного використання чи утилізації, у тому числі шляхом перероблення;
- зменшення обсягів використання первинної сировини.

Однак реалізувати такі складні завдання на державному рівні дуже важко, зокрема, через відсутність належної інфраструктури з роздільного збору сміття, його сортування та інших процесів, пов'язаних з утилізацією і вторинним використанням відходів. Держава запроваджує певні економічні механізми, що мають стимулювати зменшення кількості утворюваних відходів. Це, наприклад, такі механізми, як:

- заборона на виробництво поліетиленових пакетів, пластикових одноразових ємностей та посуду (Закон України «Про обмеження обігу пластикових пакетів на території України» № 1489-IX від 1 червня 2021 року),
- надання преференції для виробників екологічно чистого пакування для споживчих товарів,
- надання фінансової підтримки інноваційним розробкам у сфері дизайну продукції, пакування тощо.

Отже, основними цілями і принципами сучасної політики країни у сфері запобігання утворенню та управління відходами є:

- захист здоров'я людей і навколишнього середовища від впливу шкідливих складових відходів;
- здійснення заходів з управління відходами без загрози здоров'ю людей і шкоди навколишньому середовищу;
- дотримання ієрархії управління відходами у поєднанні з розширеною відповідальністю виробника.

Сьогодні пошуками екоефективних шляхів управління відходами займаються уряди багатьох країн світу. Проте ця проблема і досі залишається невирішеною. Так, у нашій державі все ще основними способами поводження з твердими побутовими відходами є спалювання і піроліз (процес розщеплення складних речовин на простіші без доступу кисню). Але і високотемпературне спалювання, і піроліз вимагають значних витрат енергії і вартісного обладнання для очищення викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря.

Європейські країни закономірно і поступово відходять від спалювання побутових відходів. Так, 26 січня 2017 року Європейська Комісія (ЄК) звернулася до Європейського Парламенту з повідомленням про перегляд діяльності щодо спалювання побутових відходів на користь їх повторного використання і переробки. У документі зазначено, що ЄК підтримує використання установок анаеробного зброджування біорозкладних відходів, а також наголошено, що країни ЄС, підписавши Паризьку угоду, взяли на себе

зобов'язання з декарбонізації економіки, а тому, в подальшому бажаним буде повне закриття сміттєспалювальних заводів.

Отже, Європейська екологічна політика, в основному, спрямована на будівництво високотехнологічних спеціалізованих заводів, які перероблятимуть значні обсяги відходів, особливо це стосується відходів скла, металів і пластику. І ця діяльність в ЄС вважається економічно дуже вигідною, оскільки, за оцінками фахівців, приблизно 80 % усіх відходів можна переробити на корисні вторинні продукти.

При цьому більшість економічно розвинутих країн світу (зокрема, Швейцарія, Швеція, Німеччина тощо) майже повністю відмовляються від будівництва і експлуатації полігонів твердих побутових відходів (ТПВ), приділяючи особливу увагу концепції циркулярної зеленої економіки, яка передбачає Zero-Waste Economy.

Якщо розглянути лінійну модель економіки, то в такій моделі ресурси видобуваються, переробляються на продукцію, а після використання продукції перетворюються на відходи, які не мають подальшого застосування (take-make-dispose). Як наслідок, людство стикається з низкою проблем екологічного і економічного характеру, зокрема:

- низька ефективність використання природних ресурсів,
- залежність економіки країн від первинних ресурсів,
- утворення значного обсягу відходів,
- екологічна і соціальна напруженість тощо.

Циркулярна зелена економіка (або економіка замкненого циклу, зелена економіка) фокусується на відновленні ресурсів, рециклінгу відходів і використанні відновлювальних джерел енергії. При цьому кінцевою метою є саме «замикання циклу» (closing the loop, або цю стадію називають ще «закриття петлі»), тобто якомога більший потік ресурсів потрібно спрямовувати у новий ресурсний цикл і, відповідно, зменшити таким чином залишкові відходи до мінімуму, а в ідеалі звести їх до нуля – zero waste.

Економіка замкнутого (замкненого) циклу повинна зберігати додану вартість продуктів і максимально запобігати утворенню відходів. Європейським Союзом вже давно ухвалено документи для реалізації ідей циркулярної зеленої економіки. Це, зокрема:

- Сьома Програма дій ЄС з охорони навколишнього середовища до 2020 р. «Жити добре у межах можливостей нашої планети» (2012 р.);
- Повідомлення Комісії «На шляху до циркулярної економіки: програма «нуль відходів» для Європи» (2014 р.);
- «Закриття циклу – План дій ЄС для циркулярної економіки» (2015 р.);
- «Новий план дій із кругової економіки. Для чистішої та конкурентоспроможнішої Європи» (2020 р.), а також запроваджено комплекс заходів (Circular Economy Package), спрямованих на реалізацію Плану дій для циркулярної економіки;
- Восьма програма дій ЄС з охорони довкілля до 2030 року (2022 р.), яка замінила Сьому програму дій ЄС з охорони навколишнього середовища та інтегрувала цілі Зеленої угоди.

Ще у 2010 р. з метою прискорення переходу на засади циркулярної зеленої економіки було створено Фонд Еллен МакАртур, яким проведено багато досліджень з проблеми поводження з відходами і розроблено рекомендації для органів влади і бізнесу. В цілому, в циркулярній економіці управління відходами зосереджено увагу на таких ключових складових, як:

- дизайн продукту;
- вдосконалення виробничих процесів (у тому числі й створення промислових комплексів);
- керування відходами;
- впровадження принципу «від відходів до ресурсів».

Наразі все частіше підхід «3-R» (Reduce – скорочення, Reuse – повторне використання, Recycling – рециклінг) саме в рамках переходу на засади циркулярної зеленої економіки змінюється на користь підходу «10-R», який, своєю чергою, передбачає:

- Refuse (запобігання),
- Reduce (скорочення),
- Renew (перепроєктування),
- Reuse (повторне використання),
- Repair (ремонт),
- Refurbish (поліпшення продуктів),
- Remanufacture (створення продуктів із вторинних матеріалів),
- Recycling (рециклінг),
- Repurpose (повторне використання продуктів для інших цілей),
- Recover (відновлення, у тому числі й енергетичне).

Заохочення до впровадження перших трьох етапів ієрархії управління відходами в країнах ЄС відбувається в рамках ініціативи «Нуль відходів» (Zero Waste) та активно поширюється містами Європи. Членами асоціації Zero Waste Europe стають все більше національних організацій і місцевих громад. Слоганом цієї ініціативи є «Не спалити, не захоронити!» (No Burn! No Bury!). Тобто на сьогодні «Нуль відходів» – це напрямок, а не кінцева мета. Учасники ініціативи і громад також вирішили трохи доповнити ієрархію поводження з відходами і додали ще один етап, який передуює запобіганню утворенню відходів – «перезавантаження» і зміна дизайну продукції (rethink, redesign).

Таким чином, основними елементами ініціативи «Нуль відходів» є:

- збір відходів за системою «двері в двері», включаючи органічні відходи;
- запровадження системи оплати за послуги з управління відходами за принципом «плати стільки, скільки викидаєш»;
- вжиття заходів щодо запобігання утворенню відходів;
- належне поводження із органічними відходами;
- аналіз складу відходів, у першу чергу, змішаних відходів;
- комунікація між усіма зацікавленими сторонами (жителі, бізнес, муніципалітети, комунальне підприємство, що займається поводженням з відходами та ін.).

Окрім системи збору відходів «двері в двері», в ЄС функціонує система збору відходів в контейнери, призначені для відходів із великих домоволодінь, багатоквартирних будинків тощо. Проте, якість відходів, отриманих із застосуванням такої системи їх збору, дещо нижча, ніж від збору відходів за системою «двері в двері». Тому великі міста застосовують і одну, і іншу системи збору відходів, оскільки система збору відходів «двері в двері» більше підходить для приватного сектора та індивідуальних будинків тощо. Наприклад, у типовому німецькому дворі чи будинку є, як правило, декілька різнокольорових контейнерів для збору окремих видів сміття, а саме:

- чорний – для несортованого сміття,
- коричневий – для органічних відходів,
- синій – для паперу,
- жовтий – для упаковки і пластику,
- зелений – для кольорового скла і
- зелений з білою смугою – для безбарвного скла.

Окрім того, щорічно кожен житель Німеччини отримує поштою лист з детальним описом річного графіку роботи служб сортування відходів. Таким чином, частка повернення сміття у корисний обіг у країні становить близько (65...70) %. Прийнята в 1991 році нова державна система «Duales System Deutschland GmbH» дозволила німцям запровадити новий метод боротьби з відходами. Так, федеральний уряд Німеччини розробив приписи щодо упаковки. Закон покладав на кожного виробника відповідальність за його продукт навіть після його споживання, запровадивши принцип розширеної відповідальності виробника. Промисловість після цього заснувала свою систему збирання та повторної переробки сміття, яку назвали «дуальною системою». Її розпізнавальним знаком став символ кругообігу – «зелена крапка». Його ставили на всіх продуктах, які беруть участь у системі ресайклінгу. Сьогодні знак «зеленої крапки» використовують у понад 20 країнах світу, а тоді це була унікальна інноваційна система, яка не мала аналогів у світі.

У багатьох країнах світу стимулом для сортування і здачі склотари стала система застави: тим, хто здає склотару, повертають певні кошти. Така система успішно працює і сьогодні. Зазначимо, що участь громадян у сортуванні сміття від самого початку була активною. Нова система роздільного сортування сміття стала настільки успішною, що тільки в Берліні майже до 90 % домогосподарств беруть участь у цьому процесі. Так, у кожному мікрорайоні є спеціальні господарські двори, куди німці, як правило, по суботах, везуть різні великі речі, яких вони хочуть позбутися. Це може бути побутова техніка та/або меблі, які безкоштовно може забрати собі будь-який бажаючий. А техніка, яка залишилася після цього, потрапляє на фабрики по переробці сміття.

У Швейцарії існує навіть «сміттєва поліція», яка за допомогою сучасних інноваційних технологій аналізує сміття, залишене в неналежному місці або без оплати податку (спеціальної марки), знаходить і штрафує порушника. У Швеції спеціальні вантажівки їздять по місту і забирають вживану електроніку, небезпечні відходи, хімічні речовини тощо; фармацевти забирають у населення залишки ліків. Найбільш об'ємні відходи шведи вивозять у спеціальні переробні центри, що, як правило, розташовані на околицях міст. Окрім того, у Швеції досить ефективно використовують відходи для отримання тепла і обігріву будинків.

У разі спалювання сміття на сміттєспалювальних заводах попіл складає приблизно 15 % від початкової ваги відходів. Його сортують і знову відправляють на переробку; залишки просівають, щоб витягти гравій, який далі використовується, наприклад, у дорожньому будівництві. Лише близько 0,8 % відходів захоронюється на полігонах. Дим фільтрують через сухий фільтр і воду; золу захоронюють у відпрацьованих шахтах. Важливим є те, що населення Швеції сортує відходи добровільно; урядова політика держави направлена на інформування населення про особливості управління різними видами відходів.

Отже, саме завдяки національній політиці управління відходами Швеція досягла такого рівня чистоти навколишнього середовища, що воду можна пити з будь-якого озера.

Таким чином, у країнах ЄС найбільша увага приділяється організаційно-економічному механізму управління відходами, який передбачає поєднання:

- організаційних заходів,
- економічних (фінансових) важелів управління, а також
- реалізацію екобезпечної політики в сфері управління відходами, особливо небезпечними, та використання соціальної реклами.

У нашій країні підприємства, установи і організації, діяльність яких призводить до утворення відходів, відповідно до чинного законодавства, повинні:

- планувати і здійснювати свою діяльність таким чином, щоб максимально запобігати утворенню відходів, зменшувати їх обсяги, мінімізуючи негативний вплив відходів і їх складових на здоров'я людей і навколишнє середовище. При цьому така діяльність має починатися ще на стадії проектування продукції, далі – під час її виробництва, використання і переробки після виведення її з використання;
- здійснювати відновлення відходів, забезпечуючи, по-перше, підготовку їх до повторного використання, по-друге, рециклінг та/або проведення інших операцій з відновлення, включаючи виробництво енергії;
- видаляти лише ті відходи, які непридатні до рециклінгу або інших операцій з відновлення відходів.

В Японії значна увага також приділяється питанням використання вторинної сировини. Основними напрямками рециклінгу в країні є:

- утилізація відходів як сировини для виготовлення вихідного продукту,
- використання відходів для отримання будь-якої товарної продукції,
- застосування відходів для будівництва дамб, доріг і насипних територій,

– отримання добрив і біогазу.

Окрім того, в Японії сміття викидають у спеціально встановлені дні; також прийняте сортування на горючі і негорючі матеріали. До першого класу (сміття, що здатне згоряти) входять: гумові вироби, одяг, гілки і трава, побутові відходи, використана олія, пінополістирол тощо. До негорючих відходів належать скляні і пластикові вироби, попіл (в окремому кульку), речі, що не забирають більше одного квадратного метра. Газові балончики, батарейки і лампочки – теж негорюче сміття, але їх потрібно здавати у спеціальні регіональні центри.

Отже, одним зі світових лідерів щодо переробки відходів вважають саме Німеччину, де в цілому переробляється до 64 % всіх відходів. При цьому близько 14 % використовується повторно у промисловості. Сучасний сміттєпереробний завод у Німеччині є високотехнологічним виробництвом, яке практично не викидає шкідливі речовини в атмосферу. Такі заводи можуть бути побудовані навіть поблизу житлових (селітебних) районів, що говорить про їхню екологічну безпеку.

Автомати з прийому ПЕТ-пляшок у Німеччині функціонують практично в усіх супермаркетах країни, так само, як і автомати, що приймають банки від пива. Окремо (з доплатою) можна зробити обмін скляних пляшок від пива на повні. Отже, принцип стимулювання громадян здавати пляшки простий. Як і у випадку скляної тари, у вартість напою у ПЕТ-пляшці закладається залогова сума – у Німеччині це 25 євроцентів. Якщо викинеш пляшку, то втрачаєш ці гроші, а якщо здаєш її, то отримаєш їх назад (найчастіше це відбувається у вигляді бонусного чеку, яким можна оплатити свої покупки).

Тому німці, вирушаючи за продуктами, як правило, здають свої використані пляшки. Навіть безхатченки мають більше стимулів збирати ПЕТ-пляшки. Для порівняння – вже за (50...60) євроцентів у Німеччині можна придбати деякі якісні харчові продукти. Виходячи з такого співвідношення, в Україні залогова вартість ПЕТ-пляшки могла б складати до 5 грн, що значно зменшило б негативний тиск на довкілля.

Світова практика свідчить, що саме збір і сортування відходів є найслабшою ланкою в ланцюжку ресайклінгу тари і упаковки. Зокрема, досить часто терміни «ресайклінг», «апсайклінг» та «фрісайклінг» ми відносимо лише до сортування сміття. А між ними є певна різниця.

Так, ресайклінг (recycling) – багаторазове використання ресурсів за рахунок повної переробки відходів від стану сировини до стану готового продукту.

Апсайклінг (upcycling) – повторне використання готового матеріалу без спроб його переробити.

Фрісайклінг (freecycling) – новий тип поводження з непотрібними речами і предметами, що полягає у віддаванні непотрібних речей чи обміну їх на щось інше.

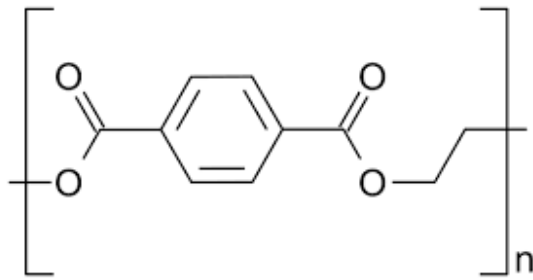
Тобто ці три методи пропонують різні підходи до сортування і переробки відходів. Звісно, кожен з них є по-своєму цікавим і креативним. Розглянемо детальніше, як саме відбувається процес переробки вторинної сировини.

По-перше, вміст апаратів збору сміття доставляється на завод – у цех сортування і первинної переробки. Тобто перший етап це сортування. При цьому:

- алюмінієве сміття відділяється від сталевих банок, далі його пресують у брикети вагою приблизно по (15...20) кілограмів, які в подальшому переплавляються в злитки;

- з ПЕТ-пляшок знімаються кришки, які потім переробляються окремо. Поліетилентерефталат (ПЕТФ, ПЕТ, англ. PET, поліестер, дакрон, майлар, лавсан) – термопласт, представник класу поліестерів, відомий під різними фірмовими назвами.

Зокрема, ПЕТ $[-(\text{OC})-\text{C}_6\text{H}_4-(\text{CO})\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O}-]_n$ – гетероланцюговий поліестер терефталевої кислоти $(\text{OH})-(\text{CO})-\text{C}_6\text{H}_4-(\text{CO})-(\text{OH})$ і етиленгліколю $(\text{OH})-\text{C}_2\text{H}_4-(\text{OH})$, структурна формула якого має вигляд:



ПЕТ-пляшки сортуються за кольорами (безбарвні і кольорові), після чого їх переробляють на гранули. Близько третини вторинного ПЕТ використовується для виготовлення волокна, синтетичних ниток, одягу і геотекстилю (використовується для будівництва і для захисту посівів від засмічування бур'янами, у садах тощо). Інші напрями переробки передбачають, наприклад, виробництво листа і плівки з відходів ПЕТ.

З волокон ПЕТ виготовляють оббивку для автомобілів, різноманітні килимові покриття для житлових і офісних приміщень. Приблизно 70 % усього європейського вторинного ПЕТ використовується для виробництва волокон поліестеру. Волокна великого діаметру використовують як утеплювач спортивного одягу, спальних мішків, а також як наповнювач для м'яких іграшок. З тонких волокон отримують штучну вовну, яку далі використовують для виробництва трикотажних сорочок, светрів і шарфів. Такі тканини можуть містити до (99,9...100) % вторинних матеріалів.

Так, для виготовлення теплового светра зі штучної вовни потрібно в середньому 25 перероблених ПЕТ-пляшок. Листи і різноманітні стрічки найчастіше також є продуктами вторинної переробки ПЕТ-пляшок. Листи використовують для виготовлення пластмасових коробок, наприклад, для фруктів чи яєць. Так, на контейнери для яєць та на інше пакування витрачається приблизно 9 % загального обсягу вторинного ПЕТ. В Україні за ініціативою активістів вирішується питання щодо впровадження у Києві автоматів по прийому ПЕТ-пляшок. Наприклад, одноразовий пластик – одноразовий посуд, соломинки для напоїв та ін. – названо глобальною проблемою сучасності, а тому запропоновано заборонити використання таких виробів.

Якщо повернутися до Німеччини, то Міністерство екології країни нещодавно презентувало 5-етапний план, присвячений цілям зменшенню пластикового сміття. Цей план передбачає, зокрема, такі дії:

- уникати використання необов'язкової упаковки;
- робити упаковку та інші продукти більш дружніми для довкілля (досягнення цієї цілі передбачається шляхом ліцензування виробників, щоб виробники менш екологічної упаковки сплачували більший податок);
- забезпечити більший обсяг переробки і збільшити потужності для переробки сміття;
- запобігати потраплянню пластику в органічні відходи;
- брати участь у міжнародних програмах з очищення річок, морів і океанів від пластику.

Принципи циркулярної зеленої економіки та екоефективного управління відходами активно впроваджуються не тільки в Європейських країнах. Наприклад, у місті Остін, США, створено Інтернет-ринок для повторного використання матеріалів. Там функціонує платформа Materials Marketplace – хмарний ринок для розміщення, пошуку і обміну використаними матеріалами і речами. Служба міста Остін «Austin Resource Recovery» забезпечує фінансування і навіть керування контрактами, а також заохочує клієнтів використовувати програму, якою опікується некомерційна Бізнес-рада США зі сталого розвитку.

Сотні підприємств, некомерційних організацій і установ є учасниками цієї платформи. Вони торгують матеріалами, відвідують мережеві заходи тощо. Користувачі можуть опублікувати оголошення з переліком типів матеріалів, які вони шукають чи яких хочуть позбутися, роздаючи їх безкоштовно або продаючи за запропонованою ціною, та самостійно організують їхнє зберігання і транспортування. Зазвичай це будівельні матеріали (пиломатеріали, утеплювачі, підлога тощо), предмети меблів, декор, канцтовари та електроніка. Понад 435 місцевих підприємств, некомерційних організацій,

освітніх установ і громадських організацій підписалися на обмін ресурсами згідно з цією програмою.

Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р схвалено Національну стратегію управління відходами в Україні до 2030 року, яка визначає розвиток системи керування відходами в Україні з огляду на загальноєвропейські підходи. Національна стратегія управління відходами до 2030 року встановлює цільові показники, що мають бути обов'язково досягнуті під час її реалізації, та закладає шляхи досягнення цих показників.

З метою забезпечення реалізації Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 лютого 2019 р. № 117-р затверджено Національний план управління відходами до 2030 року. Передбачається, що одним з основних інструментів реалізації Національної стратегії на місцевому рівні має бути розроблення Регіональних планів управління відходами (РПУВ).

РПУВ це документ, який має бути розроблений у кожній області та повинен охоплювати комплекс взаємопов'язаних заходів, узгоджених за строками і ресурсним забезпеченням з усіма задіяними виконавцями, і спрямований на забезпечення сталого керування відходами в регіоні, враховуючи принцип співробітництва територіальних громад, та сформований, виходячи з оцінки поточного стану сфери керування відходами.

Регіональні плани управління відходами охоплюють усі види відходів. Стосовно керування ТПВ у РПУВ мають бути такі ключові рішення, як:

- визначені межі кластерів керування відходами;
- визначені регіональні полігони ТПВ;
- визначені необхідні інфраструктурні об'єкти поводження з ТПВ (сміттесортувальні станції, об'єкти перероблення відходів, зокрема, з отриманням енергії тощо), створення і функціонування яких на території області дозволить зменшити обсяг захоронення ТПВ до встановлених значень;
- розроблені необхідні інституційні рішення;

– передбачена інформаційно-просвітницька діяльність тощо.

Під терміном «кластер управління відходами» розуміють локалізовану територію, охоплену спільною системою керування муніципальними відходами, що має взаємоузгоджену інфраструктуру керування відходами та обслуговується одним регіональним полігоном ТПВ.

Технологічні та організаційні рішення з збирання ТПВ та подальшого з ними поводження розробляються з урахуванням визначених меж кластерів. По суті, регіональним планом управління відходами закладається структура майбутньої системи керування цими відходами, яка повинна стало функціонувати у довгостроковій перспективі. Тому рішення, які закладаються до РПУВ, мають бути підкріплені техніко-економічним обґрунтуванням їхньої життєздатності та проаналізовані на предмет їхнього соціального сприйняття.

Отже, реалізація РПУВ здійснюється шляхом:

- безпосереднього виконання окремих запланованих заходів,
- долучення окремих заходів до місцевих програм і подальшого їхнього виконання, а також
- шляхом урахування запланованої діяльності в інших документах державного планування (містобудівній документації, стратегіях, програмах тощо).

Одним із ключових виконавців РПУВ є об'єднані територіальні громади, розташовані на території регіону. Кожна з громад має розуміти своє місце в загальній системі керування відходами регіону і планувати власну діяльність з урахуванням РПУВ. Передбачається, що одним із механізмів планування діяльності громад у сфері керування відходами можуть стати місцеві плани управління відходами (МПУВ). Вони мають стати наступним рівнем деталізації планування після РПУВ, щонайменше у сфері керування муніципальними відходами. На рівні кожної з громад мають бути визначені цілі й завдання стосовно реалізації РПУВ; локалізовані цільові показники та деталізовані технічні та технологічні рішення.

Свою чергою, деталізація технічних і технологічних рішень охоплює:

- розвиток послуг у сфері управління побутовими відходами;
- розвиток інфраструктури управління побутовими відходами;
- закриття сміттєзвалищ і полігонів ТПВ;
- інші питання.

На рівні громад здійснюється деталізація заходів, термінів їх реалізації, обсягів і джерел фінансування; розробляється система моніторингу відповідної діяльності. Однак, створення ефективних систем керування відходами на рівні громади, як правило, потребує розроблення і реалізації технічних і організаційних рішень, масштаб яких може виходити за межі окремих громад. Зокрема, це може стосуватися будівництва регіональних полігонів ТПВ та об'єктів оброблення відходів; розроблення логістики збирання і перевезення побутових відходів та інше. Тому реалізація окремих рішень РПУВ вимагатиме об'єднання ресурсів декількох територіальних громад і синхронізації їхніх дій.

В Україні діє закон «Про співробітництво територіальних громад», який передбачає 5 форм співробітництва, кожна з яких має свої особливості щодо застосування у сфері керування відходами:

- делегування одному із суб'єктів співробітництва іншими суб'єктами співробітництва виконання одного чи кількох завдань із передачею йому відповідних ресурсів;
- реалізація спільних проєктів, що передбачає координацію діяльності суб'єктів співробітництва та акумулювання ними на визначений період ресурсів з метою спільного здійснення відповідних заходів;
- спільне фінансування (утримання) суб'єктами співробітництва підприємств, установ та організацій комунальної форми власності – інфраструктурних об'єктів;
- утворення суб'єктами співробітництва спільних комунальних підприємств, установ і організацій – спільних інфраструктурних об'єктів;
- утворення суб'єктами співробітництва спільного органу управління для спільного виконання визначених законом повноважень.

У країнах, що розвиваються, система управління відходами переважно обмежується збиранням змішаних відходів та їхнім вивезенням на полігони. Тоді як у країнах, які пройшли певний шлях розвитку, що складає приблизно (20...40) років, система управління відходами є комплексною і охоплює набагато більше складових. Багаторічно перевірений закордонний досвід доводить, що доцільним є будівництво нових полігонів оптимальною потужністю у 100 тис. тонн ТПВ на рік. За меншої потужності будівництво і експлуатація полігона з належним його облаштуванням обійдеться дорожче (у перерахунку на грн/тонн захоронених ТПВ). Як правило, рекомендується залишити одне звалище у територіальній громаді замість декількох звалищ у кожному населеному пункті. Це дозволить, зокрема:

- зосередити зусилля на одному об'єкті,
- вести облік тих відходів, що захоронюються,
- встановити тариф на захоронення (якщо його не встановлено),
- оформити всю належну документацію на полігон тощо.

Пізніше у рамках реалізації регіональних планів управління відходами в Україні планується створення регіональних полігонів, причому, з розрахунку – один полігон на декілька ТГ, що дозволить вирішити проблему виникнення несанкціонованих звалищ у ТГ.

Окрім того, відповідно до чинного законодавства, запобігти утворенню відходів можна завдяки реалізації таких заходів, як:

- заохочення і підтримка сталого виробництва і споживання продукції;
- заохочення проєктування, виробництво і використання ресурсоефективної і більш довговічної продукції, у тому числі подовження строку її використання, а також продукції, придатної до повторного використання і модернізації;
- виділення з відходів вторинної сировини (може бути використана повторно);
- забезпечення доступності запасних частин, технічної інформації та/або інших інструментів, обладнання і програмного забезпечення, що дозволить

проводити ремонт і забезпечити повторне використання продукції без зниження рівня якості та безпечності функціонування;

- зменшення обсягів утворення відходів з урахуванням впровадження найкращих світових технологій і методів управління у процесі промислового виробництва;

- зменшення вмісту небезпечних компонентів у продукції відповідно до технічних регламентів;

- зменшення утворення відходів, непридатних до рециклінгу або інших операцій з відновлення відходів;

- встановлення продукції, яка є джерелом засмічення навколишнього середовища, та вжиття відповідних заходів для запобігання і зменшення утворення відходів такої продукції;

- проведення інформаційних кампаній для підвищення обізнаності громадськості з питань запобігання утворенню відходів і забрудненню навколишнього середовища;

- створення і забезпечення діяльності пунктів приймання продукції для ремонту та підготовки до повторного використання;

- зменшення обсягів утворення відходів харчових продуктів у торговельних мережах, закладах громадського харчування, домогосподарствах тощо.

Отже, на рівні держави реалізується політика, відповідно до якої "забруднювач має платити". Це означає, що утворювач або власник відходів покриває витрати на запобігання їх утворенню, а також на збирання, перевезення і оброблення відходів, включаючи витрати на створення і утримання об'єктів оброблення відходів. При цьому оброблення відходів здійснюється на найближчій споруді або установці з оброблення відходів, або в місці захоронення відходів, враховуючи їх екологічну та економічну ефективність, відповідно до регіональних і місцевих планів управління відходами (принцип територіальної наближеності). Необхідним також є формування конкурентного середовища у сфері управління відходами.

1.2. ФОРМУВАННЯ ТАРИФІВ НА ПОСЛУГИ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ (ТПВ)

Тарифи на послуги з управління ТПВ формуються залежно від:

– обсягу надання послуг (розраховується за нормами, затвердженими органами місцевого самоврядування (ОМС)). При цьому обсяг поводження (вивезення) визначається за кожним видом відходів (ТПВ, великогабаритні, ремонтні, рідкі);

– економічно обґрунтованих планових витрат, які необхідно понести підприємству для надання відповідної послуги (вивезення, перероблення та/або захоронення побутових відходів) належної якості та в необхідному обсязі.

Отже, загальний тариф на оплату послуг з управління ТПВ формується виконавцями послуг шляхом ділення суми вартостей окремих послуг вивезення, перероблення та/або захоронення ТПВ на річний обсяг вивезення цих відходів. При цьому для затвердження тарифу на певну послугу та/або загального тарифу на послуги з управління ТПВ виконавці послуг подають до ОМС заяву, а також розрахунки тарифів і необхідні підтверджуючі документи, що використовувалися при визначенні тарифу.

До ухвалення ОМС рішення про встановлення тарифів виконавець послуг має інформувати споживачів про намір зміни цін / тарифів на комунальні послуги з обґрунтуванням такої необхідності. Строки і спосіб такого інформування мешканців визначаються чинним законодавством.

Плата за послуги управління відходами за принципом «плати стільки, скільки викидаєш» базується на запровадженні плати за послуги залежно від того, скільки відходів продукується людиною та викидається нею в контейнери. Існують три різні системи впровадження даного принципу:

1. Система повної плати завчасно, що передбачає плату за пакет для відходів або чипа (етикетки), який буде прикріплено до пакета з відходами, або плати за контейнер певного об'єму для певних видів відходів.

Запроваджено також: використання різних видів мішків та/або контейнерів для різних видів відходів; окрема плата за збір змішаних відходів і органіки, в той час як відходи упаковки, папір, скло і метал збираються безкоштовно. Також для ідентифікації власника відходів можуть використовуватися чіпи на пакетах, електронні картки, які відкривають контейнери тощо. Деякі громади закривають на ключ контейнери для змішаних відходів і органіки, щоб не допускати викидання сміття жителями інших будинків.

2. Система часткової плати передбачає оплату стало визначеної муніципалітетом суми за збирання відходів у певному обсязі у вигляді місцевого податку з можливістю подальшої додаткової купівлі пакетів чи контейнерів у випадку перевищення дозволеного обсягу утворення відходів.

3. Система диференційованої плати полягає в наданні жителям можливості орендувати контейнери необхідного об'єму, тоді як ціна за оренду таких контейнерів відповідає обсягам відходів, що можуть туди поміститися.

Зазначені підходи виникли на противагу класичним підходам до оплати (стала ставка), які базуються на сталій сумі в платіжці за вивезення відходів чи сталій сумі «сміттового» податку, який не залежить від обсягу утворених людиною відходів. Однак, за такої системи немає економічних стимулів щодо зменшення обсягів утворених відходів, правильного їх сортування і збільшення обсягу перероблених відходів.

Своєю чергою, за умови запровадження принципу «плати стільки, скільки викидаєш» є можливість акумуляції і цільового спрямування коштів, що сплачуються жителями за поводження з відходами. Також цей принцип є справедливим по відношенню до різних верств населення з різним рівнем доходу і, відповідно, із різним обсягом утворення відходів.

У країнах ЄС останніми роками значно збільшилась кількість магазинів, де продають продукцію у тару споживача. Це може бути, наприклад, продукти харчування чи побутова хімія.

Належне управління органічними відходами полягає в їхньому компостуванні для отримання добрива – компосту. Окремий збір таких відходів є важливим, оскільки такі відходи можуть складати від 40 до 50 % від загального обсягу. Такі відходи, якщо вони потрапляють до змішаних відходів, можуть забруднювати їх, вторинну сировину тощо; при потраплянні на сміттєзвалища вони сприятимуть утворенню небезпечних фільтратів, які забруднюють ґрунтові води, ґрунти і поверхневі та підземні води.

Компостувати органічні відходи можна як індивідуально, так і на рівні територіальної громади. Тоді налагодження інфраструктури для компостування лягає на муніципалітет чи комунальне підприємство, яке має відповідні повноваження і функції. У результаті компостування окремо зібраних органічних відходів утворюється чистий компост, який можна реалізовувати населенню, удобрювати комунальні парки, сади, теплиці чи клумби. Вилучення із загального обсягу відходів органічної частини, своєю чергою, полегшить сортування і подальшу переробку таких відходів.

До січня 2027 року біовідходи, які піддаватимуться аеробному чи анаеробному зброджуванню, будуть вважатися такими, що були перероблені (recycled), якщо вони були окремо зібрані біля джерела їхнього утворення. У зв'язку із цим відокремлення органіки та її зброджування на заводах механіко-біологічної переробки не буде вважатися переробкою органіки.

У 2024 році Єврокомісія також встановила цілі для муніципальних біовідходів і біовідходів від бізнесу. За статистичними даними, до 2000 року 2,9 мільярда людей, які мешкають у містах (49 % населення Землі), продукували понад 3 млн тонн твердих відходів на день. До кінця 2025 року обсяг утворених відходів, за оцінками фахівців, збільшиться удвічі. Отже, у разі збереження поточної системи споживання і утворення відходів, то до 2050 року людству, яке до того часу зросте приблизно на 2 млрд осіб, необхідно буде підвищити виробництво продовольства майже на 60 %, що є дуже складним завданням.

Проте, світове населення зможе прогодувати себе і з меншою кількістю продовольства, ніж раніше, якщо перейде до стійкого сільського господарства, знизить обсяги відходів і припинить надмірне споживання. За підрахунками вчених, якщо темпи росту кількості побутових відходів не зменшити, то виробництво сміття в світі до 2100 року внаслідок зростання чисельності населення до 9,5 млрд осіб і підвищення рівня урбанізації до 80 % зросте приблизно в три рази порівняно з нинішнім рівнем і досягне 11 млн тонн в день.

1.3. ЗБІР І ТРАНСПОРТУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ І ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ ТА ЗАБРУДНЕНЬ

У більшості країн світу (США, Данія, інші країни Західної Європи) зберігається тенденція щодо організації централізованої обробки відходів на великих полігонах і підприємствах із заводськими технологіями переробки, знешкодження і утилізації вторинних продуктів, зокрема тепла, що відходить від процесів спалювання. Проте такі промислові технології з переробки відходів задля отримання тепла потребують чітко регламентованої системи збору і систематичної доставки побутових відходів на сміттєспалювальні заводи.

Основними технологіями, які найбільш широко застосовуються для переробки ТПВ, є:

- термічна обробка (в основному, спалювання),
- біотермічне аеробне компостування (з метою отримання біопалива);
- анаеробна ферментація (з отриманням біогазу);
- сортування відходів з вилученням цінних компонентів для вторинного використання; видаленням шкідливих компонентів; виділенням окремих фракцій, найбільш придатних технічно, екологічно і економічно для переробки тим чи іншим методом.

Як правило, до універсальних відходів відносять небезпечні відходи, які можна розподілити, наприклад, за такими категоріями, як:

- автомобільні продукти (гальмівна рідина, різноманітні антифризові рідини, акумуляторні батареї, палива – бензин, гас, дизельне паливо тощо);
- продукти для ремонту будинків (фарба, лак, скипидар, клей, азбест, використання останнього взагалі заборонено в нашій країні і країнах ЄС);
- продукти домашньої хімічистки (різні чистячі засоби);
- пестициди;
- різноманітні медичні відходи;
- пожежні вогнегасники, запальнички, димові сигналізації;
- фотографічні хімікати;
- вибухонебезпечні речовини (петарди, феєрверки), що містять Плюмбум, фреон, ртуть (термометри) та сполуки Меркурію;
- вироби та відходи електроніки;
- вироби з пластмаси, поліетилену тощо (пляшки, мішки).

Один з варіантів вирішення проблеми сміття, яким, як правило, користуються країни Західної Європи, це експорт побутового сміття в країни третього світу. Сьогодні гігантським «світовим звалищем» став Китай. За неофіційними даними, до 80 % експорту сміття з розвинених країн світу припадає на країни Азії, зокрема, 90 % з нього перевозиться до Китаю. Значна частина цього сміття, що містить більше 300 небезпечних для здоров'я речовин і компонентів, сортується і переробляється на невеликих заводах країни, які взагалі можуть не мати очисних споруд. При цьому дохід Китаю, отриманий за переробку сміття, складає близько 200 млрд. доларів на рік, тоді як збитки, нанесені навколишньому середовищу країни, практично не оцінюються.

Зрозуміло, що в Китаї досить розвинуте і власне промислове і агровиробництво, а, отже, в країні утворюються значні обсяги власних відходів. Їх зазвичай розподіляють на три великі категорії: муніципальні, промислові і окремо – небезпечні відходи. Так, до складу муніципальних відходів входять побутові, відомчі, комерційні відходи, вуличне сміття і необроблені виробничі

відходи. Дуже часто будівельні відходи з будівельних майданчиків або від знесення старих будинків також включають у загальний об'єм утворення ТПВ.

Повернемося до проблеми енергетичної переробки відходів. Першим етапом збирання і транспортування відходів є виявлення їх загальної кількості відходів і класифікація за якісними ознаками. Це, своєю чергою, дозволяє визначити потужність заводу, що проєктується; кількість і місця проміжних пунктів збору, а також кількість і тип необхідних транспортних засобів.

Отже, за якісними ознаками відходи, як правило, розподіляють на 6 основних груп, а саме:

- відпрацьовані мінеральні масла та інші нафтопродукти;
- забруднені органічні розчинники (спирти, альдегіди, кетони, складні ефіри (естери), прості ефіри, моторні палива та інші вуглеводні);
- відходи лаків і фарб, інші органічні хімічні відходи (залишки від перегонки нафтопродуктів, відходи дьогтю, бітуму, залишки пестицидів, відходи фармацевтичних виробництв тощо);
- рідкі хлоровані вуглеводні, що містять галогени (розчинники та їх суміші);
- неорганічні хімічні відходи в твердій формі або у водних розчинах (гартівні солі, відпрацьовані рідини з ванн виробництва гальванопокриттів, відпрацьовані кислоти з травильних ванн, рідкий осад, що містить гідрооксиди металів, відпрацьовані луги із знежирюючих і нейтралізуючих ванн і т. п.);
- тверді відходи (пакувальні матеріали, пластмаси, побічні хімічні продукти, ґрунти і пісок, забруднені нафтопродуктами).

У наш час у світовій практиці зазвичай використовують 4 основні принципові схеми доставки ТПВ і промислових відходів, які досить часто комбінуються між собою, доповнюючи одна одну.

За першою схемою збір відходів проводиться автомобільним транспортом, що доставляє їх безпосередньо на місця обробки або на перевантажувальні станції, де вони ущільнюються і перевантажуються на великовантажні автомобілі. При цьому перевага надається перевезенню

відходів у спеціальних контейнерах. За другою схемою завантаження здійснюється у залізничні цистерни, вагони, піввагони або на платформи; при цьому також увага приділяється контейнерному способу перевезення. Повна вартість перевезення залізницею залежить від розташування пунктів відправки і призначення, маршрутів перевезень, об'єму відходів та типу вагонів, контейнерів тощо. При цьому перевезення відходів у вагонах великої вантажопідйомності є істотно більш дешевим.

Третьою схемою передбачено вивіз відходів з міста водним транспортом. Наприклад, багато років така схема існує в Лондоні, де відходи, що збираються, завантажують на баржі і вивозять по річці Темзі. Зокрема, у такий спосіб видаляється близько 700 тис. тонн відходів щорічно. По воді транспортують відходи також в Антверпені, Женеві, Гамбурзі, Роттердамі та деяких інших містах. Досвід з використання водного транспорту для перевезення сміття є і в нашій країні.

Окрім залізничного і автомобільного транспорту, відходи можуть доставлятися на місце переробки контейнерним пневмотранспортом по трубах, прокладених на землі, під землею або під водою. Такий вид транспортування відходів конкурентоздатний з іншими видами за певних умов, хоча, в цілому, він значно поступається традиційним видам транспортування. Так, пневмотранспорт використовують переважно для видалення ТПВ, а для транспортування промислових відходів його використовують ще не в достатній мірі.

Спосіб збору і тимчасового зберігання відходів визначається здебільшого їх фізичним станом і класом небезпеки речовин, що є компонентами відходів. Тимчасове зберігання промислових відходів на територіях підприємств, як правило, здійснюється на стаціонарних складах. При цьому повинні дотримуватися загальні санітарно-гігієнічні вимоги до стану повітря робочої зони з урахуванням гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин.

У місцях зберігання відходів передбачається механізація завантаження відходів у спеціалізований автотранспорт. Для відкачування рідких і пастоподібних відходів з ємностей у спеціалізовані автоцистерни встановлюються насоси або передбачається проведення інших заходів (передавлювання, вакуумні системи і т. п.). На підприємствах, що продукують відходи, наказом керівника призначається особа, яка є відповідальною за збір, зберігання і відвантаження відходів на полігон. На кожну відвантажену партію відходів надається технічна характеристика щодо складу відходів, заходів безпеки при поводженні з ними, в тому числі й в разі аварійної ситуації.

Транспортування токсичних промислових відходів на місце централізованої обробки, як правило, здійснюється спеціальним автотранспортом. Допускається транспортування рідких паливних органічних відходів 3-го і 4-го класів небезпеки автотранспортом підприємств-постачальників за умови узгодження з установами санітарно-епідеміологічної служби і підприємством-переробником.

Організація збору і вивозу промислових відходів передбачає такі технологічні операції, як:

- накопичення відходів у контейнерах (цистернах, інших ємностях);
- вивіз контейнерів до місць знешкодження;
- розвантаження відходів;
- заміну контейнерів на чисті;
- доставку порожніх, чистих контейнерів до місць збору відходів;
- завантаження повних контейнерів.

Контейнери, призначені для перевезення твердих і пастоподібних промислових відходів, повинні бути металевою зварною конструкцією, за необхідності посиленою ребрами жорсткості. У верхній частині контейнера мають бути розташовані завантажувальні люки, які надійно закриваються і фіксуються в закритому положенні. На передній торцевій стінці контейнера повинен розташовуватися автозахватний пристрій. Внутрішню поверхню контейнера оброблюють спеціальним кремнійорганічним або кремнієвим

покриттям (часто виготовленим із застосуванням нанотехнологій), призначеним для антикорозійного захисту і зниження адгезії відходів до стінок контейнерів. Випробування показали хорошу біостійкість таких матеріалів, а також стійкість до рідин, що містять в своєму складі органічні жирні кислоти, луги та інші агресивні компоненти.

Система герметизації контейнера повинна мати надійний замикаючий пристрій, що виключає можливість його мимовільного відкриття. Контейнер повинен мати запобіжні клапани для усунення надмірного тиску в ньому.

У 20 столітті досить часто промислові відходи вивозили і складували на міських звалищах разом з ТПВ або на спеціалізованих звалищах промислових відходів. Наприклад, поблизу одного з міст нашої країни тривалий час функціонувало звалище для рідких органічних відходів місцевих підприємств. Це були спеціально вириті в лісі котловани, в які зливалися небезпечні рідкі відходи, незважаючи на їх леткість і небезпечність потрапляння шкідливих компонентів у повітряне середовище, до ґрунтів і ґрунтових вод. У міру накопичення в цих котлованах горючих речовин їх підпалювали, що, своєю чергою, призводило до виділення в атмосферу чорного токсичного диму. При цьому через забруднення атмосфери і ґрунту в радіусі сотень метрів від цих котлованів всі дерева загинули. У даний час такий метод складування і знешкодження відходів заборонений.

Отже, категорії відходів це розподілення відходів за видами та залежно від джерела походження, звідки впливають їх спільні характеристики. Типи відходів – підвиди категорій, що потенційно підлягають роздільному збиранню, наприклад, побутові відходи включають відходи від домогосподарств, зелені відходи, великогабаритні відходи, небезпечні побутові відходи; промислові (виробничі) – поділяються відповідно до галузей промисловості (відходи будівництва, відходи гальванічних виробництв тощо).

Кількість відходів це їх маса; для твердих побутових відходів одиницями виміру є кг/особу. Обсяг відходів це їх об'єм; одиниці виміру м³ або літр. Морфологічний склад це композиційний склад відходів (наприклад, папір,

пластик, скло, біовідходи тощо). Кожна фракція поділяється на підвид (папір газетний, архівний, журнальний, картон тощо). Хімічний склад це хімічні елементи та сполуки, що входять до складу відходів (Нітроген, Хлор, ртуть та сполуки Меркурію, вода, сухий залишок та ін.). Калорійність (теплотворна здатність) відходів це кількість виділеної енергії, зокрема, теплової, при спалюванні відходів. Вологість відходів – кількість вологи від загальної маси відходів.

Отже, визначення характеристик утворення відходів є передумовою планування і побудови ефективної системи управління відходами. Розрізняють такі види відходів, як:

- комунальні відходи (побутові відходи та відходи інфраструктури населеного пункту);
- небезпечні відходи (наприклад, відпрацьовані нафтопродукти);
- відходи виробництва/промисловості (відходи гірничодобувної промисловості);
- медичні відходи;
- відходи сільського господарства;
- відходи будівництва та демонтажу;
- відходи пакування/упаковки;
- відходи електричного та електронного обладнання;
- відпрацьовані батареї та акумулятори;
- зняті з експлуатації транспортні засоби;
- осади стічних вод від комунальних очисних споруд.

Небезпечність відходів визначається з урахуванням того, чи мають відходи одну або кілька небезпечних властивостей, наприклад, здатність до самозаймання, вибухонебезпечність, здатність інфікувати, корозійна здатність, токсичність або екотоксичність (здатність до біоакумулювання, що з часом справляє токсичний вплив на біотичні системи). Перелік цих властивостей затверджений на національному рівні; зараз діючим є Наказ № 165 від 16.10.2000 р. Міністерства екології та природних ресурсів України «Про

затвердження Переліку небезпечних властивостей та інструкцій щодо контролю за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх утилізацією/видаленням».

Для Європейського Союзу небезпечні властивості перелічені у Додатку III «Властивості відходів, що роблять їх небезпечними» Рамкової Директиви про відходи. Зазначені вище види відходів можуть відноситись до небезпечних, залежно від своїх характеристик. Так, відходи виробництва/промисловості, поділяють на 4 класи небезпечності:

1 клас – надзвичайно небезпечні відходи (наприклад, відпрацьовані люмінесцентні лампи),

2 клас – високонебезпечні відходи (наприклад, батареї акумуляторні свинцеві некондиційні),

3 клас – помірно небезпечні (масла і мастила моторні, лакофарбувальні відходи тощо),

4 клас – малонебезпечні (наприклад, автомобільні шини, відходи зварювальних електродів та ін.).

Медичні відходи також поділяють на 4 категорії. Перша категорія А – епідемічно безпечні медичні відходи; решта категорій вважаються небезпечними відходами:

- категорія В – епідемічно небезпечні медичні відходи;
- категорія С – токсикологічно небезпечні медичні відходи;
- категорія D – радіологічно небезпечні медичні відходи.

Відходи сільського господарства, які відносяться до небезпечних це різноманітні пестициди і агрохімікати, у яких, наприклад, закінчився термін придатності або які не були використанні в повній мірі, а також відпрацьоване моторне паливо і мастила.

1.4. ТИПОВИЙ МОРФОЛОГІЧНИЙ СКЛАД ТПВ В УКРАЇНІ

Біовідходи це відходи, що біологічно розкладаються, наприклад, садові та паркові відходи, харчові та кухонні відходи від домогосподарств, офісів, ресторанів, оптової торгівлі, їдалень, підприємств громадського харчування, роздрібних приміщень та подібні відходи з харчових підприємств. Харчові відходи, зокрема, це вся їжа, що стала відходами. Великогабаритні побутові відходи це тверді побутові відходи, розміри яких перевищують 50×50×50 см (наприклад, старі меблі, сантехнічні вироби, стовбури дерев та ін.).

Небезпечні відходи у складі побутових це відходи, що утворюються в процесі життєдіяльності людини і які мають такі властивості, які створюють або можуть створити значну небезпеку для навколишнього середовища та/або здоров'я людини і які потребують певних спеціальних методів і засобів управління ними. Наприклад, це люмінесцентні ртутні лампи, ртутні термометри, хімічні джерела струму, кислотні і лужні акумулятори, батарейки, конденсатори тощо, залишки побутових приладів, оргтехніки, що містять важкі метали, інші токсичні чи отруйні речовини тощо.

Відходи інфраструктури населеного пункту – відходи об'єктів благоустрою населених пунктів (парки, алеї), включаючи відходи від зелених насаджень. Так, відходи зеленого господарства – рослинні рештки, трава, листя, гілки дерев, що утворюються, наприклад, при догляді за зеленими насадженнями прибудинкових територій. Відходи від установ, магазинів, закладів харчування, офісів – відходи, які утворюються в комерційному секторі. Вони зазвичай мають однотиповий склад; наприклад, відходи із закладів харчування, в основному, складатимуться з біовідходів, а відходи з офісу – із сухої фракції.

Неперероблюваний залишок (несортований, некомпостований, піролізний, золошлаковий тощо) – залишки від процесу сортування, компостування, піролізу або спалювання твердих побутових відходів.

Підкреслимо, що до побутових відходів не належать відходи виробництва, сільського господарства, лісового господарства, рибальства, каналізаційних мереж та відходи очищення, включаючи осади стічних вод, а також транспортні засоби у яких закінчився термін експлуатації, відходи будівництва і демонтажу.

Відходи пакування (упаковки) це будь-яке пакування або пакувальний матеріал, що охоплені визначенням відходів, тобто будь-яка речовина або предмет, які їх власник викидає або має намір позбутися. Всі ці види відходів потребують збирання, сортування і відправлення на переробні підприємства (якщо, звісно, існують технології переробки відповідного виду пакування).

Значну частину пакування становить одноразове пакування, наприклад, пакети «маєчка», пластик від печива, цукерок, круп, вакуумне пакування для сирних і м'ясних продуктів. Такі види пластику майже не переробляються, тому домінує світова тенденція на обмеження використання одноразового пакування та спрямування зусиль на його багаторазове використання.

Найгостріше проблема відходів, зокрема, відходів пакування постає у країнах, де система управління відходами є вельми неефективною. Значна кількість відходів пакування, які з часом можуть потрапляти в океан, надходять з озер, річок та разом з стічними водами через водостічні мережі. Відповідно до Директиви № 94/62/ЄС Європейського Парламенту і Ради про пакування та відходи пакування не пізніше 31 грудня 2030 року мінімум 70 % від ваги всіх відходів пакування має бути перероблено. Так, заплановано переробляти до 55 % пластику, 85 % паперу та картону, 30 % деревини та ін. Зазначені цілі було оновлено у Директиві 2018/852/ЄС, яка змінила Директиву 94/62/ЄС.

Своєю чергою, цілі щодо переробки відходів в Україні встановлені Національною стратегією управління відходами до 2030 року, затвердженою Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. Цей документ передбачає поетапне збільшення рівня переробки відходів в країні до 50 % до 2030 року.

Відходи електричного та електронного обладнання це електричне і електронне обладнання, якого власник позбувається, має намір або

зобов'язаний позбутися, включаючи всі компоненти, вузли і витратні матеріали, що є складовими такого обладнання. Це, наприклад, прилади, що працюють за допомогою електроенергії або електромагнітного поля, строк експлуатації яких закінчився, або власник має намір їх позбутися шляхом утилізації чи видалення (мобільні телефони, холодильник, екрани та ін.).

Відпрацьовані батареї та акумулятори – батареї або акумулятори, яких власник позбувається, має намір або зобов'язаний позбутися, наприклад, автомобільні батареї або акумулятори, промислові, портативні («пальчикові» батарейки, батареї (акумулятори) для телефону та інших пристроїв).

Відходи виробництва (промислові відходи) це всеохоплюючий термін, що позначає відходи, що утворюються в результаті промислової діяльності, тобто матеріали, які вважаються такими, що більше не використовуються після завершення виробничого процесу (відходи гірничодобувної промисловості, чорної і кольорової металургії, машинобудівної і металообробної промисловості, енергетики; хімічної, нафтохімічної промисловості, харчової промисловості, легкої промисловості та ін.).

1.5. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ З МЕТОЮ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ

Біомасою називають все те, з чого складаються рослини і тварини, а також відходи їх життєдіяльності. Біомаса рослин на суші нашої планети, за оцінками фахівців, становить $2,4 \cdot 10^{12}$ тонн. Зокрема, тільки в океані щорічно утворюються $0,6 \cdot 10^{10}$ тонн біомаси.

Шляхом фотосинтезу виробляється 173 млрд тонн речовин (у розрахунку на суху масу), що приблизно у 20 разів перевищує енергію всіх корисних копалин, що видобуваються у світі. За даними ООН, від різних злакових рослин, вирощуваних на планеті, щорічно утворюється приблизно 1700 млн тонн соломи, велика частина якої не використовується в подальшому.

Не використовується, як правило, також до 120 млн тонн відходів після обробки цукрової тростини. Аналогічна картина спостерігається і із стеблиною бавовнику. Вельми великі відходи тваринництва і птахівництва.

Відомо, що із загальної кількості біомаси використовується людиною для їжі лише 0,5 %. Отже, біомаса є акумулятором енергії і може її «віддавати» під час відповідних біохімічних процесів. За типом енергетичних процесів, що пов'язані із переробкою біомаси, розрізняють такі способи їх переробки, як:

– пряме спалювання для безпосереднього одержання тепла. У такому разі серед основних вимог до біопалив можна назвати високу теплотворну здатність, низьку вологість і зольність;

– піроліз. Під час піролізу відбувається нагрівання біомаси до значних температур при повній або частковій відсутності кисню. Якщо піроліз проводиться з метою отримати лише горючий газ, то процес називають газифікацією біомаси. Цей горючий газ, який, в основному, складається з водню H_2 і чадного газу CO із невеликими домішками метану CH_4 , має теплоту згоряння приблизно $(4...8)$ МДж/м³;

– спиртова ферментація. Етиловий спирт або етанол (біоетанол) – легке, рідке паливо, яке можна використовувати замість бензину. Його можна одержувати як за допомогою хімічного синтезу, так і при спиртовому бродінні. Зокрема, теплотворна здатність бензину 11250 ккал/кг, тоді як у біоспирту вона становить на рівні 7150 ккал/кг, проте біоспирти є більш екологічними у використанні.

Спиртове бродіння (спиртова ферментація) це ферментативний біохімічний процес, при якому моносахариди (глюкоза і фруктоза) розкладаються під дією ферментів до етилового спирту і вуглекислого газу; процес супроводжується виділенням енергії. Цей метаболічний шлях катаболізму цукрів (вуглеводів) характерний для багатьох грибів, наприклад, різних видів дріжджів – *Saccharomyces cerevisiae*, *S. carlsbergensis*, *S. ellipsoideus*, водоростей, найпростіших та деяких бактерій (*Zygomonas mobilis*).

Спиртове бродіння розпочинається з гліколітичного розщеплення глюкози. Далі, під час утворення ацетальдегіду, необхідною складовою є фермент піруватдекарбоксилаза, який, у свою чергу, для нормального функціонування потребує присутності іонів Магнію Mg^{2+} . Наступною реакцією є відновлення ацетальдегіду до етилового спирту. Реакція відбувається за участі ферменту алкогольдегідрогенази, що містить в активному центрі іон Цинку Zn^{2+} , роль якого полягає у поляризації карбонільної групи субстрату, що значно полегшує приєднання гідриду.

Етанол, отриманий у процесі спиртового бродіння, може бути використаний як недороге і відновлювальне джерело енергії, причому, відносно екологічно безпечне. Як сировину для виробництва біоспиртів можна використовувати рослинний матеріал, багатий на сахарозу, крохмаль або целюлозу, наприклад, кукурудзу, пшеницю, цукровий буряк і тростину та їх відходи, солому, відходи деревообробної промисловості, побутові відходи рослинного походження тощо. Сировину спочатку хімічно обробляють з метою інтенсифікації гідролізу полісахаридів до мономерів, після чого до отриманої маси додають витривалі штами дріжджів.

Виробництво та використання гліцеролу (гліцерину). Під час Другої світової війни Німеччина мала велику потребу у гліцеролі для виготовлення вибухової речовини – нітрогліцеролу (нітрогліцерину). На той час було відомо, що гліцерол у невеликих кількостях утворюється під час спиртового бродіння за участі *S. cerevisiae*. Німецький вчений Карл Нойберг винайшов спосіб модифікувати цей процес таким чином, щоб вихід нітрогліцеролу значно підвищився. Для цього він додав у середовище із дріжджами 3,5 % натрій сульфіту Na_2SO_3 при кислотності виробничого середовища $pH = 7,0$. Гліцерол також є побічним продуктом при отриманні біодизелю з рослинної сировини, а також з відходів виробництва і споживання – відпрацьованих харчових олій, жирів, відходів харчової промисловості, деревообробки тощо.

Анаеробна переробка. Біомаса під впливом певних груп мікроорганізмів за відсутності кисню може розкладатися на метан CH_4 , вуглекислий газ CO_2 і

супутні гази. Ця суміш одержала назву біогаз, який має високу теплотворну здатність. При виробництві біогазу, крім біомаси рослинного походження, широко застосовують відходи тваринництва, птахівництва, фізіологічні відходи людини, промислові та міські відходи органічного походження.

У природних умовах розкладання біомаси відбувається під дією багатьох бактерій, анаеробних чи аеробних. При цьому мають бути наявні волога, тепло і відсутнє світло. Так, за наявності кисню (повітря) Карбон біомаси розкладається (окиснюється) до вуглекислого газу. Якщо біомаса перебуває в обмеженому об'ємі із недостатнім надходженням кисню із зовнішнього середовища, то за певних умов розвиваються анаеробні бактерії, під впливом яких Карбон біомаси розподіляється між повністю відновленим Карбоном – CH_4 і повністю окисненим – CO_2 .

Існує низка умов, що забезпечують ефективність дії анаеробних бактерій. До найбільш значних чинників належить підтримання постійної температури. При цьому, як правило, виділяють три характерні рівні температур, що відповідають певному виду анаеробних бактерій. Нижчий рівень температур, за якого відбувається психрофілічне бродіння, становить до $20\text{ }^\circ\text{C}$. Ці бактерії діють при температурі навколишнього середовища, найефективніше – у теплий період року. Так, за рахунок такого виду бродіння відбувається розкладання біомаси у трясовині боліт і утворення “болотного” газу (біогазу).

При середніх температурах в діапазоні $(30\dots40)\text{ }^\circ\text{C}$ розвивається зоофільна група бактерій. При цьому оптимальним вважається значення температури в межах $(32\dots34)\text{ }^\circ\text{C}$. Вищий рівень визначається значенням температур $(45\dots85)\text{ }^\circ\text{C}$; при цьому відбувається термофільне бродіння. Оптимальним вважають значення температури у межах $(52\dots55)\text{ }^\circ\text{C}$.

Термофільне і мезофільне бродіння не можуть відбуватися без додаткових затрат енергії на підтримання заданої температури процесу. Причому, анаеробні бактерії дуже чутливо реагують не тільки на величину температури, а навіть на її зміни. Зокрема, збільшення температури процесу призводить до збільшення виходу біогазу, а отже, і до зменшення часу повного

розкладання біомаси. Вважається, що збільшення температури процесу на кожні 5°C веде до подвоєння виходу біогазу (температурний коефіцієнт процесу бродіння).

Більшість метаноутворюючих бактерій добре розвивається у нейтральному середовищі із $\text{pH} = 6,5 \dots 7,5$. Окрім того, для цього процесу необхідним є певний вміст таких ХЕ, як Нітроген і Фосфор – близько 10 % і 2 % маси сухого зброджувального матеріалу, відповідно. При повному збродженні біомаси утворюється біогаз, що містить приблизно (50...75) % CH_4 ; (45...20) % CO_2 , 1 % H_2S і незначні кількості азоту, кисню, водню та чадного газу (карбон(II) оксиду).

У середньому вважається, що 1 м^3 біогазу при згорянні може надати (20...29) МДж енергії (тобто енергія, що міститься у 1 м^3 біогазу, еквівалентна енергії $0,6 \text{ м}^3$ природного газу, $0,74 \text{ л}$ нафти або $0,66 \text{ л}$ дизельного палива). Наприклад, з 1 м^3 біогазу за допомогою електричного генератора, що приводиться у дію газовим двигуном, можна отримати до $1,6 \text{ кВт-год}$ електроенергії.

Тривалість збродження гною та інших органічних відходів залежить від виду біомаси і температури збродження. Для гною великої рогатої худоби та курячого посліду тривалість процесу становить приблизно 20 діб, для свинячого гною – 10 діб. При цьому активність мікробної реакції значною мірою визначається співвідношенням Карбону і Нітрогену C/N . Отже, найбільш сприятливі умови для збродження створюються при співвідношенні $\text{C/N} = 10 \dots 16$.

Таким чином, за добу від однієї тварини можна одержати приблизно таку кількість біогазу:

- від великої рогатої худоби масою (500...600) кг – $1,5 \text{ м}^3$;
- від свині масою (80...100) кг – $0,2 \text{ м}^3$;
- від курки, крілю – $0,015 \text{ м}^3$.

1.6. УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА АВТОМОБІЛІВ, ПЕРЕРОБКА АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН І ВІДХОДІВ ГУМИ

Рециклінг є процесом повернення відходів, скидів і викидів у процеси техногенезу, а утилізація, наприклад, автотранспортних засобів (АТЗ) – комплекс робіт з приймання, зберігання, перевезення, демонтажу і розбирання АТЗ на складові і сортування з метою подальшої їх утилізації відповідно до вимог законодавства (зокрема, згідно з Законом України «Про оброблення транспортних засобів, знятих з обліку» від 04.07.2013 № 421-VII).

Відомо, що при виробництві автомобілів, запасних частин, конструкційних і експлуатаційних матеріалів в середньому витрачається приблизно до: 20 % чорних металів, вироблених у світі; 7 % свинцю Pb; 13 % нікелю Ni; 35 % цинку Zn і 50 % міді Cu і каучуку (натурального). За статистичними даними, для виготовлення 1 тонни деталей і складових автомобіля потрібно переробити до 150 тонн природної речовини. При цьому автомобілебудування споживає всього 10 % перероблених матеріалів, що означає, що ця галузь є дуже ресурсоемною, такою, що сильно забруднює навколишнє природне середовище.

Останнім часом у всьому світі переробці АТЗ, які відпрацювали свій строк, приділяється значна увага. Їх переробка має певні вимоги і положення, значна частина яких поширюється на виробників автомобілів. Так, виробники повинні виконувати встановлені обмеження щодо використання токсичних забруднювальних речовин; також вони зобов'язані видавати спеціальні каталоги з рециклінгу, керівництва зі зливання технічних рідин і демонтажу компонентів автомобілів, які відпрацювали свій строк. З 15 грудня 2008 року в країнах ЄС діє вимога, згідно з якою при схваленні проєкту нового типу автомобіля виробник повинен довести, що переробці підлягає не менше 95 % маси АТЗ, а коефіцієнт вторинної переробки становить мінімум 85 %.

Відпрацьовані АТЗ містять величезну кількість відходів. При їх обслуговуванні і утилізації в світі щороку утворюється 15,6 млн тонн відходів,

у тому числі: пластмаси – 3,8 млн тонн; шини – 1,3 млн тонн; інші неметалеві матеріали – 4,4 млн тонн; робочі рідини – 0,8 млн тонн; матеріали, які одержані при ремонті і технічному обслуговуванні АТЗ – 4,4 млн тонн.

Автомобіль, як і будь-який інший продукт, має своє недовге життя: експлуатується, відмовляє, ремонтується і знову експлуатується, але одного разу настає «смерть», коли АТЗ вже не підлягає ремонту (через «похилий» вік або після дорожньо-транспортних пригод). Отже, утилізація АТЗ, що відпрацювали свій термін, завжди є проблемою, особливо враховуючи, що з 90-х років 20 століття в Україну ввезено величезну кількість вживаних автомобілів іноземного виробництва. У багатьох країнах, де ці автомобілі вироблялися, в їх вартості було закладено і вартість утилізації АТЗ. При ввезенні таких автомобілів в Україну заплановані на утилізацію гроші, звісно, залишилися за кордоном, а ось небезпечне сміття стало значною проблемою саме для нашої країни.

При розробці системи управління певним продуктом та його обслуговуванням у часі необхідно розрізняти такі поняття, як «цикл життя» і «тривалість життя» продукту. З економічної точки зору, цикл життя продукту це відрізок часу з моменту його введення на ринок до моменту припинення його комерціалізації. У більшості публікацій цикл життя розглядається як:

- цикл життя потреби і попиту,
- цикл життя технології, що використовується для задоволення даної потреби,
- цикл життя конкретного товару, виготовленого із застосуванням певної технології.

Тривалість життя продукту це відрізок часу від початку виробництва цього продукту до моменту закінчення його використання останнім споживачем. Отже, автотранспортний засіб проходить період від початку його проектування до кінцевої утилізації продукту. Цей період функціонування АТЗ належить до поняття «тривалість життя» продукту і визначається такими основними фазами:

I – фаза розробки (t_0-t_1 – період проектування АТЗ; t_1-t_2 – період конструювання АТЗ);

II – фаза виробництва;

III – фаза експлуатації (t_3-t_4 – період виведення АТЗ на ринок; t_4-t_5 – період експлуатації АТЗ; t_5-t_6 – період утилізації АТЗ).

Сьогодні з метою аналізу комплексного впливу певної виробничої діяльності на стан навколишнього природного середовища застосовують методику повного життєвого циклу автомобіля, тобто починаючи з процесу видобутку сировини до кінцевої стадії – видалення відходів. Основна ідея використання такої методики полягає в максимально повному охопленні всіх стадій «життя» (існування) продукту, починаючи від пошуку сировини для його виготовлення і до виведення його з експлуатації та утилізації (рис. 1.1).

Як правило, ліквідація і утилізація є останнім етапом існування будь-якого технічного продукту, отриманого в результаті господарської діяльності. Раніше легкові автомобілі, які відслужили свій термін, видаляли на полігони, де вони потрапляли під прес після відділення від них деяких деталей, наприклад коліс. Отримані таким чином пресовані пакети переплавлялися при температурі ~ 2000 °С, що забезпечувало видалення гуми і штучних матеріалів. Проте отримана сталь відрізнялася випадковим хімічним складом і часто використовувалася лише в будівництві, а не у виробництві нових автомобілів.

За нової концепції вже на стадії проектування нової моделі автомобіля конструкторам необхідно брати до уваги вимоги рециклінгу, а саме:

- мінімізацію відходів (скорочення вмісту екологічно небезпечних матеріалів, виключення матеріалів, що не піддаються рециклінгу, полегшення маси автомобіля тощо);

- розширення можливостей повторного використання (наприклад, збільшення довговічності деяких вузлів і частин, спрощення демонтажу агрегатів і вузлів);

- використання матеріалів, що полегшують процес рециклінгу, зокрема, зменшення кількості використаних штучних матеріалів, обмеження

застосування матеріалів, що ускладнюють їх процес переробки чи утилізації, уніфікація вузлів і агрегатів АТЗ.

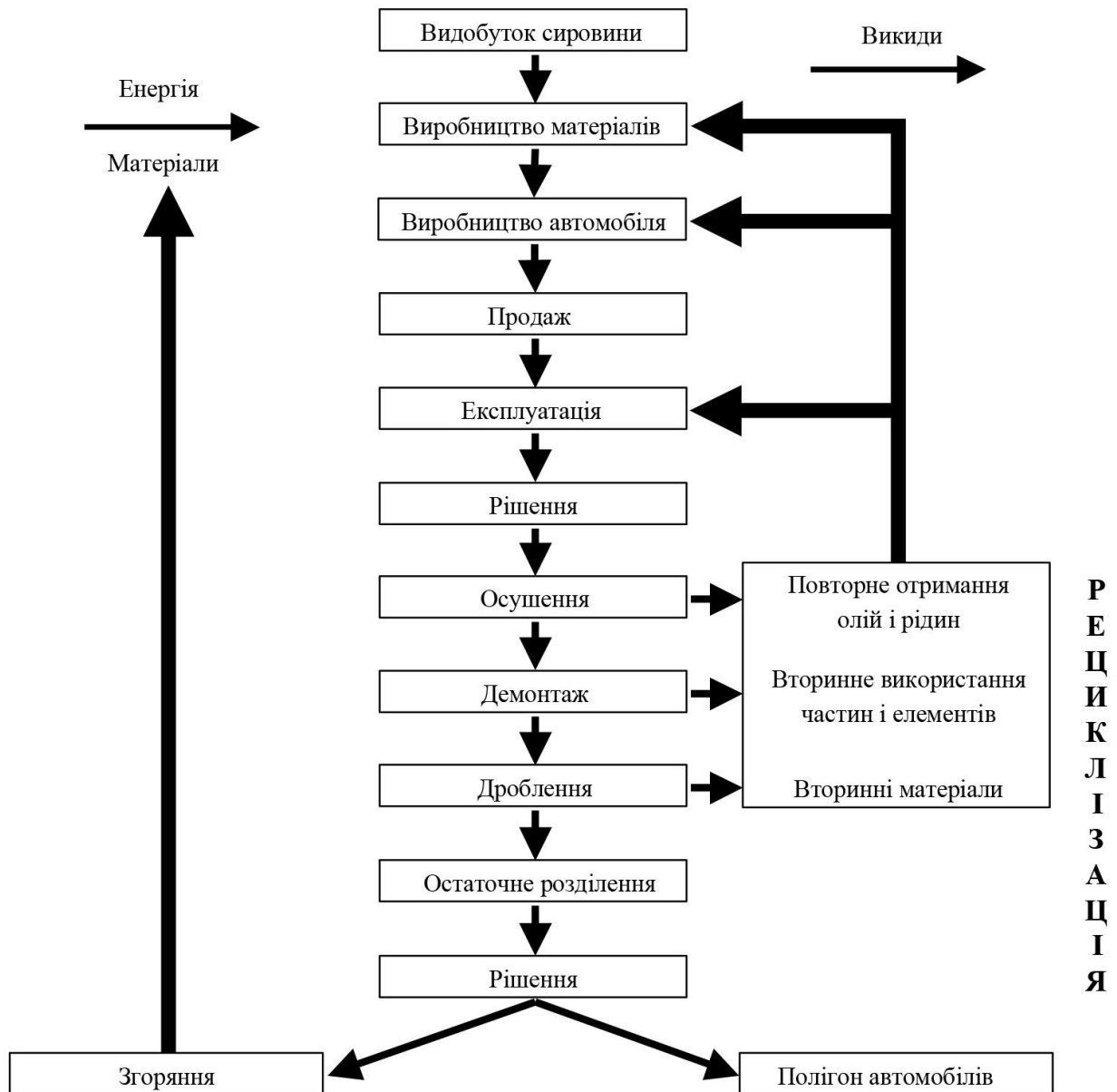


Рис. 1.1 Стадії повного життєвого циклу автомобіля [3].

В Україні також намагалися ввести аналогічну систему переробки старих АТЗ. Так, у 2013 році в Україні набув чинності закон «Про утилізацію транспортних засобів». Цей Закон визначав правові, організаційні та економічні

засади діяльності, пов'язаної з утилізацією транспортних засобів. Основні статті закону містили інформацію щодо:

- визначення суб'єктів господарювання, які мають право здійснювати діяльність з утилізації транспортних засобів;
- вимоги до пунктів прийому транспортних засобів;
- вимоги до пунктів розбирання транспортних засобів;
- державний реєстр суб'єктів господарювання, які здійснюють приймання та/або розбирання транспортних засобів, що утилізуються;
- вимоги до суб'єктів господарювання, які виробляють (виготовляють) транспортні засоби і беруть на себе зобов'язання забезпечити утилізацію АТЗ власного виробництва та порядок їх реєстрації;
- порядок передачі транспортного засобу, що утилізується, до пункту прийому;
- контроль і нагляд у сфері утилізації транспортних засобів;
- відповідальність за невиконання зобов'язань з утилізації транспортних засобів.

Згідно цього закону в Україні повинна була з'явитися мережа спеціальних утилізаційних центрів. Планувалося також, що держава відшкодуватиме вартість утилізації підприємствам, і для цього на всі нові автомобілі ввели утилізаційний збір. Але вже 2015 року новий податок скасували через тиск автомобілістів і бізнесу, а система утилізації АТЗ так і не запрацювала, хоча ліцензію на утилізацію відпрацьованих автомобілів отримали понад 280 підприємств України.

Окрім того, в Законі України «Про утилізацію транспортних засобів» не було прописано, які саме АТЗ підлягають утилізації, а також вимоги до їх віку, технічного стану тощо. Отже, виходило, що утилізація АТЗ – добровільна справа їх власників. Отже, українці не кинулися здавати свої автомобілі на переробку, а повноцінна мережа утилізаційних підприємств у країні так і не з'явилася.

Для передачі відпрацьованого АТЗ на переробку попередньо потрібно зняти його з обліку; при цьому законодавством не передбачено випадків обов'язкової утилізації автомобіля. Отже, власники АТЗ не мають стимулу, щоб позбавлятися старих машин. В інших країнах ситуація зовсім інша. Так, громадянину Франції, який не утилізує свій автомобіль, загрожує великий штраф і два роки ув'язнення. У Норвегії при покупці автомобіля сплачується авансовий платіж (приблизно 350 доларів), який можна повернути, здавши АТЗ на утилізацію.

У Німеччині автовиробник повинен використовувати не менше 95 % матеріалів, які піддаються переробці. Тоді як в нашій країні навіть найстаріший автомобіль здають частково на запасні частини, частково – на металобрухт або смітник, а з шин формують клумби поряд з будинками або навіть огорожують дитячі майданчики. Ще декілька років тому у містах спостерігалися непоодинокі випадки, коли у дворах багатоповерхівок і на газонах були припарковані покинуті автомобілі.

Окрім того, на думку експертів, навіть діючі утилізаційні центри в Україні не відповідають необхідним вимогам. Наприклад, компанія «Сучасний центр утилізації» у середньому утилізує 10 машин на рік, що обходиться власнику автомобіля приблизно в 8–10 тисяч гривень в залежності від його параметрів. Тобто вважається, що власник автомобіля повинен утилізувати АТЗ за свій рахунок, коли транспорт вийде з експлуатації у результаті зносу або ДТП. У свою чергу, такий підхід вимагає жорсткого контролю, оскільки існує ризик отримати несанкціоновані звалища і завалені брухтом лісосмуги.

Для стимулювання продажів нових автомобілів можливий підхід, коли власник АТЗ отримує компенсацію, наприклад, у вигляді знижки на нову машину українського виробництва.

В Україні, як правило, утилізують акумулятори, хоча і таких підприємств замало, оскільки є певні технологічні проблеми і проблеми з обладнанням та очисними спорудами для безпечної утилізації таких відходів. Отже, існуючі на

сьогодні технології утилізації відпрацьованих АТЗ ґрунтуються на трьох основних процесах рециклінгу:

- вузлів і агрегатів, які демонтуються з АТЗ і можуть бути використані в інших автомобілях для виконання тих самих функцій;
- матеріалів, які можна повторно використовувати в господарській діяльності (наприклад, металеві частини, мастильні матеріали, акумулятори, скло та ін.);
- енергії, яку можна отримати в результаті використання певних складових відпрацьованих АТЗ в якості палива і в різних технологічних процесах. Перш за все, це відноситься до автомобільних шин, тканин оббивки, інших гумових виробів тощо.

Так, у рециклінгу матеріалів необхідно виокремити три головні процеси:

- рециклінг металевих частин, виготовлених зі сталі, сплавів алюмінію, кольорових металів тощо, що не становлять особливої небезпеки для довкілля;
- рециклінг матеріалів, що становлять загрозу навколишньому природному середовищу (моторні мастила, гальмівні та охолоджуючі рідини, рідини амортизаторів тощо);
- рециклінг штучних матеріалів, в основному, безпечних для навколишнього середовища.

Що стосується процедури організації системи утилізації автомобілів, які відпрацювали свій термін, то в країнах ЄС вона стандартна та включає такі основні етапи:

- збір таких АТЗ з видачею їх власникам сертифікату про утилізацію;
- зливання всіх експлуатаційних (технічних) рідин;
- демонтаж екологічно небезпечних компонентів (їх перелік встановлений Директивами ЄС), а також комплектуючих, які можна використовувати для продажу як запасні частини;
- передача «залишків» автомобіля на шредерну (подрібнювальну) установку.

Своєю чергою, підприємства, що здійснюють демонтаж і утилізацію автомобілів, повинні мати:

- спеціальні ліцензії та обладнання;
- водонепроникні майданчики з резервуарами для роздільного збору і зберігання всіх зливних рідин;
- відстійники й очисні споруди;
- пристрої для обробки і очищення води відповідно до санітарних норм і норм з захисту навколишнього середовища;
- системи, що забезпечують пожежну безпеку місць зберігання використаних шин, полімерів та інших компонентів АТЗ.

У даний час в світі переробляється приблизно (75...80) % від маси всіх відпрацьованих автомобілів, причому, в основному, це їх металеві частини, що містять як сталь, так і кольорові метали. Проте, решта (20...25) % маси, що складається, в основному, з гетерогенних сумішей матеріалів (смола, гума, скло, текстиль тощо) практично не використовуються. При цьому з отриманої вторинної сировини виготовляють бампери для автомобілів, оббивку багажника, килимки та ін., а також деякі господарські товари, наприклад, дорожні огорожі, покриття для садових доріжок тощо.

У Міністерстві екології та природних ресурсів зазначають, що в Україні з 280 підприємств, які ще у 2015 році отримали ліцензію на утилізацію авто, реально переробляти АТЗ можуть лише 20. Тобто Україна має законодавство про утилізацію АТЗ, проте не має інструментів для його реалізації. У країні є декілька компаній, які надають комплексні послуги щодо поводження з відходами, у тому числі приймають на утилізацію автомобілі після ДТП, морально застарілі, броньовані, дипломатичні та/або конфісковані автомобілі. Навіть у столиці відсутня єдина керована система збирання, переробки і утилізації непридатних для користування АТЗ.

Отже, на сьогодні система «Авторециклінгу» в Україні реально не працює через відсутність дієвої нормативно-правової бази, також через відсутність необхідної інфраструктури системи авторециклінгу. Згідно

інформації Асоціації автовиробників України, зараз, щоб здати свій автомобіль на утилізацію, автовласнику потрібно заплатити за транспортування автомобіля більшу суму, ніж він отримає за металобрухт. Тому досить часто замість утилізації власники залишають свої старі автомобілі на вулицях, в лісопосадках, в інших непередбачених для цього місцях.

Металеві частини автомобіля порівняно легко можуть бути демонтовані, порізані й здані у приймальний пункт вторинної сировини як металобрухт. В Україні є також підприємства, які приймають старі автомобілі в зборі і розбирають їх на вторинну сировину, яку далі здають на переробні підприємства чи заготівельникам. Однак зношені і браковані деталі АТЗ здебільшого зберігаються в гаражах, на автостоянках, територіях підприємств автомобільного сервісу та у несанкціонованих місцях, утворюючи звалища відходів різного походження. Нерідко вони потрапляють навіть у контейнери побутових відходів, не зважаючи на те, що є небезпечним високотехнологічним сміттям.

Отже, невирішеність питань, пов'язаних із збиранням, зберіганням, переробкою і утилізацією непридатних для подальшої експлуатації АТЗ та їх частин призводить до багатьох екологічних і економічних проблем, серед яких варто виокремити такі:

- через продовження експлуатації старих і зношених автомобілів знижується пропускна здатність міських доріг, що, своєю чергою, спричинює виникнення заторів, аварійних ситуацій, дорожньо-транспортних пригод;

- залишені автомобілі створюють труднощі для прибирання міста, особливо в зимовий період, проведення робіт з благоустрою території, будівельних і ремонтних робіт;

- виникають перешкоди для здійснення повноважень спеціалізованих служб і органів (поліції, пожежної, газової та швидкої допомоги);

- створюються незручності для пішоходів, порушується естетичний вигляд міста;

– відбувається забруднення ґрунтів і водних об'єктів відходами автотранспорту, особливо відпрацьованими електролітами акумуляторів, моторними мастилами, охолоджуючими рідинами, мулами очисних споруд станцій технічного обслуговування автомобілів та мийок тощо;

– відбувається забруднення повітряного середовища викидами шкідливих речовин при несанкціонованому спалюванні автотопокришок (сажа, діоксини, поліароматичні вуглеводні, сполуки Арсену, Хрому, Кадмію, Цинку тощо).

Відбуваються також значні економічні втрати від невикористаних вторинних ресурсів – одержання вторинної сировини в процесі переробки автопокришок, утилізації свинцево-кислотних акумуляторів, відпрацьованих моторних мастил, полімерних і металевих виробів та інших матеріалів.

У країнах ЄС середній термін експлуатації автомобілів становить 10 років (за умови його відповідності нормам Євро 6). Потім автовласник повинен зняти АТЗ з реєстрації і утилізувати. Оскільки в Україні все ще працюють автомобілі, старші за 30 років, то, за оцінками фахівців, за необхідності обов'язкової утилізації таких АТЗ їх кількість складатиме приблизно 2,5 млн. одиниць. Тобто навряд чи вдасться створити необхідну кількість таких центрів утилізації у кожній області країни.

На сьогодні в Україні налічується близько 30 підприємств, що переробляють відходи гуми і зношені шини. Недозавантаженість потужностей пояснюється, як і у випадку з деякими іншими видами відходів (полімерами, люмінесцентними лампами тощо), неналагодженістю системи збору. Тобто більшість заготівельних підприємств, що мають відповідну ліцензію, ці відходи не збирають. Зношені шини це великогабаритні відходи, тому потрібні значні витрати на їх перевезення, що досить часто робить збір нерентабельним.

У процесі експлуатації гумові вироби (шини, транспортерні стрічки, ремені, віброізолятори тощо) працюють в умовах багаторазових деформацій. Число таких деформацій може досягати 15–20 мільйонів. Унаслідок цього може спостерігатись явище стомлення матеріалів. Стомлення – процес зміни властивостей матеріалів, що виникає під дією довготривалих або багаторазових

механічних навантажень, який у результаті призводить до руйнування матеріалу.

У стані спокою в гумі повільно відбуваються процеси старіння (озонно-світлового, теплового тощо). А у гумах, які знаходяться в напруженому стані, ці процеси відбуваються набагато швидше. Причина цьому – зниження енергії активації цих процесів під дією механічних навантажень. Вплив кисню повітря призводить до окиснювальної деструкції молекул і їх структурування. А присутність у експлуатаційному середовищі озону навіть у невеликих концентраціях спричинює розтріскування гум; причому, швидкість утворення тріщин зростає зі збільшенням деформації. Дія світла також негативно позначається на втомі і властивостях гум.

У присутності активних речовин, що запобігають старінню, вплив навколишнього середовища на втомну міцність вулканізаторів істотно знижується. Підвищення температури призводить до зниження міцності в результаті зменшення міжмолекулярного впливу. У каучуках, що кристалізуються, крім того, міцність падає в зв'язку зі змінами кристалічної фази, тоді як при їх модифікації міцність, навпаки, зростає.

При збільшенні швидкості деформації міцність гум підвищується. Це можна пояснити міжмолекулярною взаємодією, яка більш ефективно вирівнює місцеві напруги при великих швидкостях деформації, і зменшенням швидкості виникнення тріщин з часом аж до моменту утворення постійної кількості тріщин. Проте стійкість гум до утворення тріщин не гарантує стійкості до їх розростання, оскільки виникнення осередків руйнування гуми залежить переважно від її хімічної стійкості, а розростання тріщин пов'язано з її фізичними властивостями. Стомлення веде також до динамічної втоми гум. Це явище полягає у змінах структури і властивостей матеріалу, що спричинює погіршення експлуатаційних властивостей гумових виробів аж до їх повного руйнування. Зовнішнім проявом втоми є утворення тріщин на гумових виробах і їх швидке розростання. При цьому осередком руйнування є місце концентрації найбільших напруг.

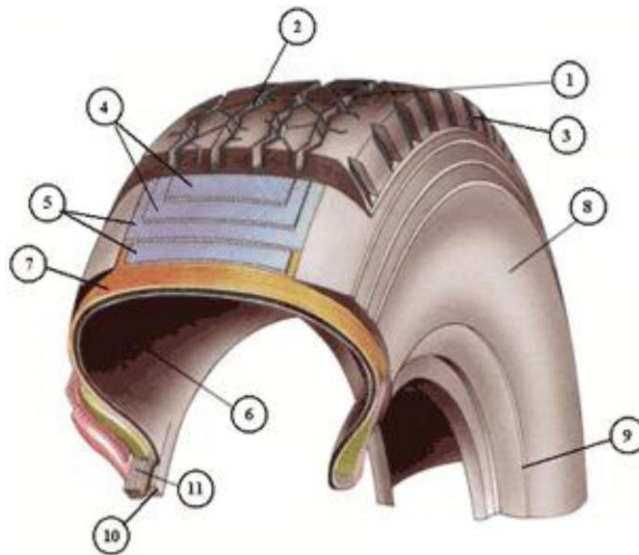
Таким чином, втома – часткове або повне руйнування гуми під дією довготривалих або багаторазових механічних навантажень. Динамічна втома гум тісно пов'язана з їх міцністю, хімічною стійкістю і стійкістю до старіння. Під динамічною втомною міцністю розуміється амплітудне значення напруги, при якій у даних умовах матеріал може забезпечити задану витривалість.

Своєю чергою, витривалість це здатність матеріалу протидіяти руйнуванням при динамічному навантаженні. Отже, зношені автомобільні шини представляють собою відходи, які займають багато фізичного простору, важко піддаються ущільненню, збору та утилізації. Безконтрольне зберігання шин на відкритій місцевості або в водотоках значно підвищує потенційну небезпеку від них для навколишнього середовища і здоров'я людей. Навіть санкціоновані способи зберігання шин, хоч і мають менші негативні наслідки, але, все одно, створюють ризики забруднення довкілля і не дозволяють охопити значні об'єми відходів гуми економічно вигідним способом.

За оцінками фахівців, щороку у світі накопичується більше 10 млн. тонн відпрацьованих шин, більшість з яких потрапляють на звалища чи розсіюються у навколишньому середовищі без належної утилізації і переробки. В Україні річний приріст зношених шин коливається в межах (250...300) тис. тонн, з яких близько 72 % складають шини з металічним кордом. Рівень утилізації шин у нашій країні, за різними оцінками, не перевищує і 10 %, тоді як рівень утилізації шин у більшості розвинутих країн світу становить (70...90) %.

Відомо, що основними матеріалами для виробництва автомобільних шин є гума, яка виготовляється з натуральних і синтетичних каучуків, і корду. Автомобільна шина, в середньому, містить такі основні компоненти: каучук натуральний ~ 14 % і каучук синтетичний ~ 27 %; Сульфур/сірка S та оксид Цинку ZnO ~ 3 %, сталь ~ 10 %, текстиль ~ 4 %, пом'якшуючі олії ~ 10 %, інші нафтохімічні складові ~ 4 %, сажа ~ 28 % та деякі допоміжні речовини. Своєю чергою, корд може бути виготовлений як з металевих ниток (металокорд), так і полімерних або текстильних ниток.

Шина складається з каркаса, шарів брекера, протектора, борту і бічної частині (рис. 1.2). Протектор призначений для забезпечення прийняттого коефіцієнта зчеплення шин з дорогою, а також для оберігання каркаса від пошкоджень. Протектор має характерний малюнок, який розрізняється залежно від призначення шини. Брекер знаходиться між каркасом і протектором. Його призначення – захист каркасу від ударів, шини і їздової камери – від механічних пошкоджень. Борт надає змогу покриттю герметично сідати на обід колеса, а бокова частина захищає шину від бічних пошкоджень. Схему хімічного процесу отримання гуми з каучуку (процес вулканізації) показано на рис. 1.3.



- 1 – протектор; 2 – канавка протектора; 3 – боковина; 4,5 – шар прогумованих ниток корду; 6 – корд; 7 – каркас; 8 – ширина профілю; 9 – брекер (пояс); 10 – борт;
11 – ущільнюючий гумовий шар.

Рис. 1.2 Складові автомобільної шини [27]:

Накопичення шин на звалищах призводить до забруднення ґрунтів багатьма шкідливими компонентами, в тому числі важкими металами. Наприклад, концентрації Цинку Zn, Кадмію Cd і Плюмбум Pb можуть перевищувати гранично допустимі у декілька разів. Атмосферне повітря забруднюється викидами, що містять леткі органічні сполуки, сполуки Сульфуру (карбон(IV) сульфід CS_2 , діоксид Сульфуру SO_2 , гідроген сульфід

H_2S), поліциклічні ароматичні вуглеводні (бенз(а)пірен, хризен, бенз(а)антрацен та ін.), легкі фракції ароматичних вуглеводнів (толуол, ксилол, бензол тощо), оксиди Карбону і Нітрогену, тверді дрібнодисперсні частинки пилу і сажі тощо. Унаслідок потенційних хімічних перетворень і небезпеки загоряння відходів на полігонах можливим є утворення 1,2-дихлоретану, попередників канцерогенів – аліфатичних амінів, канцерогенних речовин (формальдегід, феноли тощо). У повітряне середовище надходять також сполуки Хлору і Сульфуру.

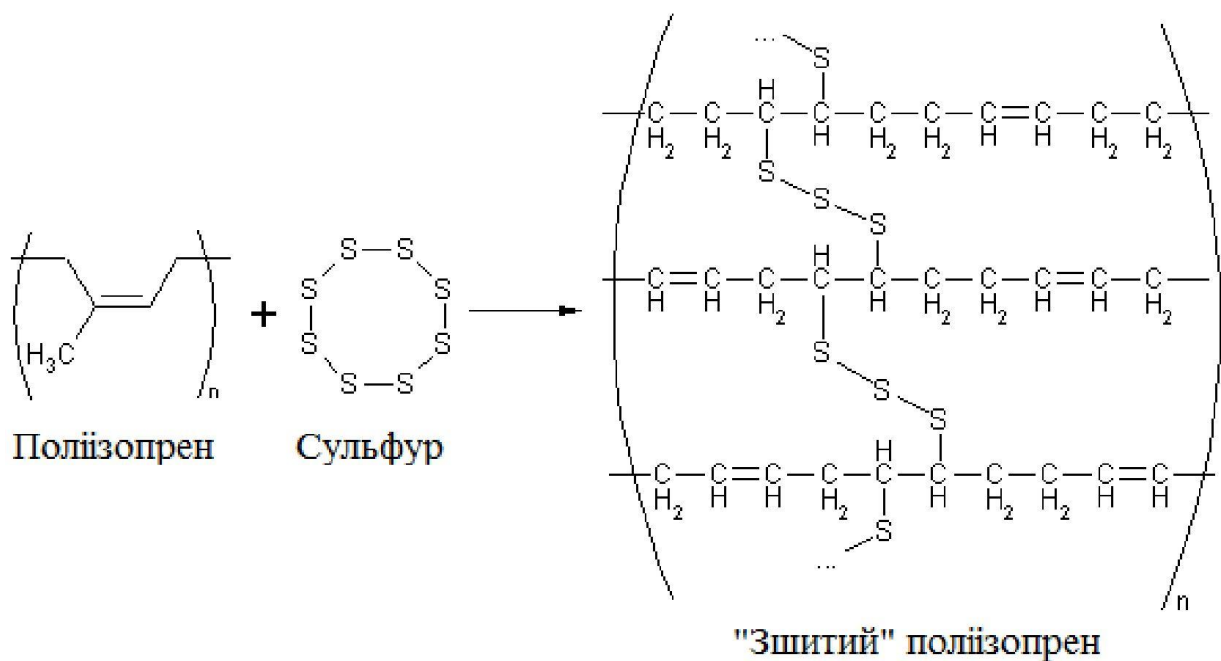


Рис. 1.3 Хімічна схема процесу вулканізації каучука.

У пустотах шин можуть накопчуватися атмосферні опади, створюючи водоносний горизонт техногенного походження у товщі звалищ. Ці води, просочуючись крізь ґрунти, забруднюють і ґрунтові води, і наземні водойми, розташовані неподалік.

Існує декілька способів і технологій переробки та утилізації автомобільних шин, серед яких найбільш розповсюдженими є, зокрема: перероблення їх у гумову крихту та/або у регенерат, піроліз, використання як альтернативного палива, відновлення шин та ін. В останні роки все більша

увага приділяється саме спалюванню зношених шин, але здійснюють це у цементних обертових печах, що виявилось достатньо економічно доцільним. При цьому вартість 1 тонни цементного клінкеру стає значно меншою, ніж за умови використання природного газу. Однак при спалюванні відходів (у тому числі й зношених шин) є небезпека емісії токсичних речовин, в основному, діоксинів і фуранів поряд з чадним газом і оксидами Нітрогену.

Термін «діоксини» поєднує 210 хімічних сполук; це група поліхлорованих сполук з близькою структурою та хімічними властивостями. До цієї групи належать, наприклад, трициклічні ароматичні сполуки – поліхлоровані дибензо-*n*-діоксини (ПХДД) і поліхлоровані дибензофурані (ПХДФ). ПХДД (I) (рис. 1.4) – трициклічні ароматичні сполуки, які складаються з двох бензольних кілець, з'єднаних атомами Оксигену; при цьому атоми Гідрогену можуть бути заміщені атомами Хлору, кількість може сягати 8. Загальна кількість можливих ізомерів ПХДД (I) становить 75.

ПХДФ (II) (рис. 1.5) – трициклічні ароматичні сполуки, які складаються з двох бензольних кілець, з'єднаних одним атомом Оксигену, атоми Гідрогену яких можуть бути заміщені на атоми Хлору, кількість яких сягає також 8. Загальна кількість можливих ізомерів – 135.

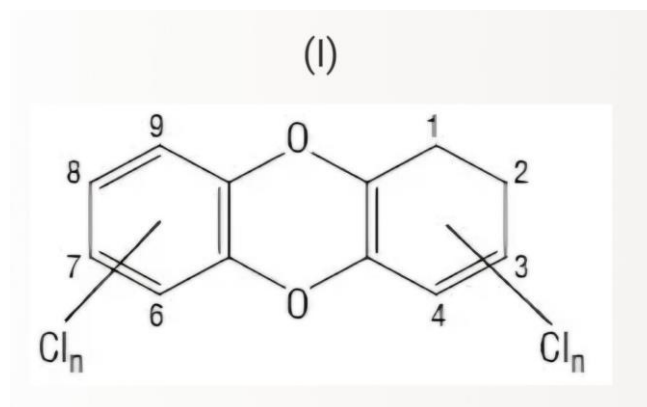


Рис. 1.4 Структурна схема (I) $C_{12}H_{(8-n)}Cl_nO_2$.

Найбільшу токсичність мають 17 ізомерів (конгенерів) ПХДД і ПХДФ, у яких замісники атомів Гідрогену, зв'язаних з атомами Карбону бензольних

кілець (атоми Хлору), разом з іншими можливими положеннями, повинні перебувати у 2,3,7,8-положеннях бензольних кілець. Отже, найвищу токсичність демонструє 2,3,7,8-тетрахлордибензо-*n*-діоксин (2,3,7,8-ТХДД). Його токсичність перевищує токсичність ціанідів і навіть стрихніну. Він є надзвичайно стійким в об'єктах навколишнього середовища, а також в організмі людини. Період його напіврозпаду в ґрунті складає 10–12 років. Розкладається він тільки при температурі (800...1000) °С, а також під дією сильних окисників. Розкладанню 2,3,7,8-ТХДД значно сприяє дія УФ-опромінювання.

Діоксини накопичуються в організмі людини переважно в жировій тканині, шкірі та печінці. Період напіввиведення $T_{1/2}$ діоксинів із організму людини становить приблизно 3–6 років.

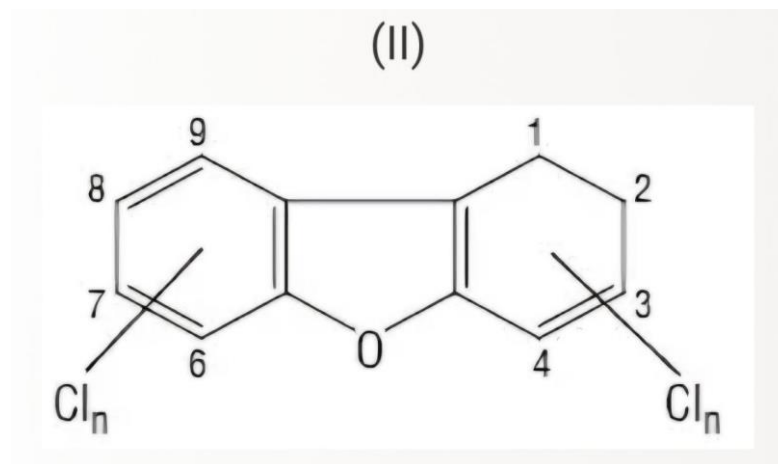


Рис. 1.5 Структурна схема (II) $C_{12}H_{(8-n)}Cl_nO$.

Під час горіння шин із них можуть виділятися вільна сірка, сполуки Сульфуру тощо, які далі будуть взаємодіяти з іншими компонентами сміття або складовими доквілля. Так, при невеликому нагріванні сумішей дрібнодисперсних сірки і заліза, сірки і цинку (особливо бурхливо реакція відбувається при підпаленні) починаються хімічні реакції:





При цьому утворюються сульфідні цих металів. За звичайних умов сірка взаємодіє навіть із ртуттю:



Отриманий у реакції (1.1) ферум(II) сульфід FeS здатний самозайматися на повітрі за звичайних температур, тоді як цинк сульфід ZnS у вологому повітрі окиснюється до цинк сульфату, а при нагріванні на повітрі утворює оксид Цинку ZnO і сірчистий газ SO₂ (досить часто є причиною утворення і випадіння кислотних дощів). Меркурій(II) сульфід HgS є сильним фунгіцидом і може застосовуватись для обробки будівельних конструкцій для профілактики грибкових заражень, тому його надходження у довкілля може спричинити негативні наслідки. При потраплянні до водного середовища сульфідні ZnS, FeS і HgS здатні вступати у хімічну взаємодію з розчинними солями Натрію Na, Калію K, Барію Ba тощо.

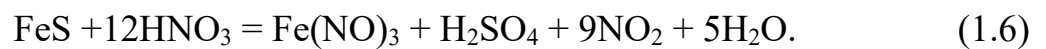
На несанкціонованих сміттєзвалищах, на яких відпрацьовані шини «зберігаються» разом з іншим сміттям, у великих кількостях зустрічаються нітрати амонію NH₄⁺ (входять до складу мінеральних добрив) і лужних металів, а також силікати Натрію (входять до складу скла і скляних виробів). Ці компоненти здатні утворювати розчинні сульфідні, які є небезпечними для здоров'я людей і довкілля. На прикладі взаємодії ферум(II) сульфідну з NaCl розглянемо один з таких хімічних процесів:



Натрій сульфід і його розчини, своєю чергою, створюють значну екологічну небезпеку, причому, як унаслідок безпосередньої дії, так і внаслідок впливу H₂S, який утворюється в процесі розкладу сульфідів. Так, натрій сульфід може відщеплювати сірководень у кишково-травному тракті. Тому при

роботі на сміттєзвалищах завжди є потенційна небезпека отруєння газоподібним H_2S (при концентрації вище 0,1 % об.).

Вищеназвані сульфідні можуть також зазнавати подальших хімічних перетворень з утворенням навіть більш небезпечних речовин. Так, сульфід Феруму (II) за звичайних умов здатний взаємодіяти з достатньо концентрованими розчинами хлоридної і нітратної кислот:



Кислоти, у тому числі й сильні, зустрічаються у навколишньому природному середовищі досить часто. Це може бути результатом викидів чи скидів підприємств, а також унаслідок випадіння кислотних дощів. При цьому вивільнюється сірководень, токсична речовина, а інший продукт взаємодії, наприклад, сульфід Цинку здатний окиснюватись при підвищенні температури:

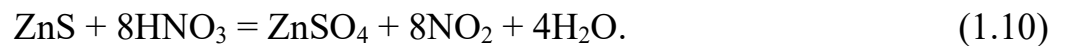


Ця реакція може відбуватись і в умовах загоряння шин на сміттєзвалищах і полігонах ТПВ. Отриманий у процесі (1.7) цинк оксид, своєю чергою, може взаємодіяти при нагріванні з вуглецем (вугіллям, графітом тощо) за реакцією:



Таким чином, як правило, утворюються небажані сполуки, які чинять шкідливий вплив на здоров'я людей і навколишнє середовище – діоксид Сульфуру SO_2 і чадний газ CO . Сульфід Цинку також здатний взаємодіяти з розбавленими неорганічними кислотами з утворенням H_2S і NO_2 :

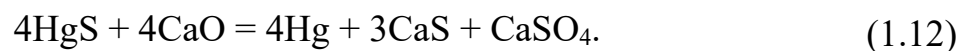




Меркурій(II) сульфід HgS легко утворюється вже за звичайних умов, а у подальшому здатний окиснюватися з утворенням діоксиду Сульфуру SO₂:



HgS також може вступати у реакцію з кальцій оксидом CaO, який входить до складу будівельних матеріалів, залишків мінеральних добрив та інших відходів, які у значній кількості зустрічаються на полігонах і сміттєзвалищах:



Як наслідок таких складних перетворень за участі різноманітних компонентів сміття утворюється металічна ртуть, яка належить до 1-го класу небезпеки і є надзвичайно токсичною.

Отже, доходимо висновку, що вторинне ресурсокористування в Україні перебуває на стадії активного формування і реформування. Фактично в країні спостерігається позитивна динаміка у сфері переробки відходів і використання їх як вторинної сировини для різноманітних виробничих процесів. Проте, на жаль, сьогодні внаслідок недостатнього врахування значення вторинного ресурсного потенціалу, недостатньої інформованості населення і виробничого сектору, відсутності належного маркетингу і недооцінювання соціальних (наприклад, створення додаткових робочих місць) та екологічних факторів, а також досить часто через безгосподарність значна частина відходів, що можуть бути використані як матеріальні та енергетичні ресурси, втрачається.

Певні складнощі виникають і через те, що сфера управління з відходами є інфраструктурною ланкою господарства певного регіону (це, наприклад, стосується полігонів, сміттєзвалищ, сміттєпереробних підприємств, сміттєсортувальних комплексів тощо), а продукти переробки відходів та/або продукти їх регенерації є частиною національної ресурсної бази і переходять у

виробничу сферу. За профілем діяльності підприємств, що працюють на ринку вторинних ресурсів, виокремлюють три основні категорії, а саме:

- заготівельні підприємства;
- переробні підприємства, серед яких, наприклад, можуть бути як самостійні переробні підприємства, так і переробні підприємства у складі певних галузевих комплексів;
- підприємства, що поєднують діяльність із заготівлі вторинної сировини з її переробкою.

Відповідно, заготівельні підприємства здійснюють діяльність із збирання і заготівлі різних видів відходів як вторинної сировини. На таких підприємствах сировина на вході і продукція на виході має однакову класифікацію. До цієї категорії відносять також підприємства, які здійснюють сортування твердих побутових відходів.

Переробні підприємства, що належать до самостійних, займаються переробкою певного виду відходів. Як правило, вони не здійснюють заготівлю самостійно; вони або купують сировину у заготівельних підприємств, або приймають відходи на утилізацію (у цьому випадку їм сплачують гроші). На таких підприємствах відходи переробляються в конкретний товарний продукт. Таким продуктом може бути і вторсировина (наприклад, регранулят пластику або гуми), так і готові вироби. Переробні підприємства у складі галузевих комплексів є їх невід’ємними технологічними підрозділами. На таких галузевих комплексах, як правило, отримана вторинна сировина і використовується. Такі технологічні схеми застосовуються, наприклад, у целюлозно-паперовому, скляному та металургійному виробництві. Підприємства, що поєднують діяльність із заготівлі та переробки частину заготовленої сировини здебільшого переробляють власними силами, а частину – реалізують іншим споживачам.

Отже, до основних способів поводження і утилізації автомобільних шин належать способи, наведені на рис. 1.6. Зокрема, до фізико-механічних способів переробки відходів гуми належать:

- дроблення;

- бародеструкційний метод;
- вибухо-циркуляційний спосіб;
- криогенний способи;
- спосіб «магнітного удару» та
- механічне розрізання.

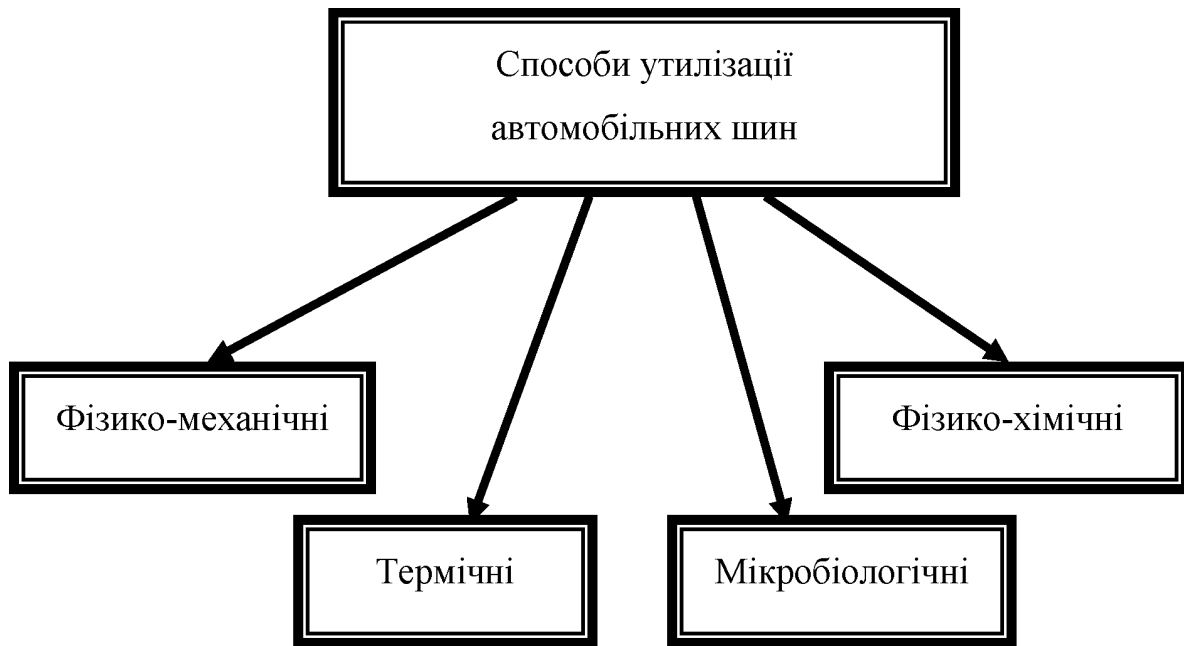


Рис. 1.6 Способи утилізації автомобільних шин [23].

Своєю чергою, до фізико-хімічних способів належать розчинення в органічному розчиннику та руйнування покриття озonom (технологія «озонового ножа»), тоді як до термічних способів належать спалювання, піроліз і газифікація.

Розглянемо детальніше деякі з *фізико-механічних способів переробки відпрацьованих автомобільних шин*.

1. Серед фізико-механічних способів переробки найбільш поширеною є *бародеструкційна технологія* переробки відходів гуми (рис. 1.7). Отримання гумового порошку із зношених шин за цією технологією здійснюють шляхом їх постадійного подрібнення, фракціонування, магнітної сепарації і виділення текстильного корду. Технологія базується на явищі «псевдозрідження» гуми

при дії високого тиску і її «витікання» через отвори спеціальної камери. Отже, попередньо автомобільні шини за допомогою тиску продавлюють через отвори решітки з утворенням суміші гумових джгутів розмірами (20...80) мм, металобрикетів, текстильного і металевий корду. Із суміші за допомогою магнітної сепарації виділяють металобрикети і металевий корд. Залишкова маса подається в роторну дробарку, де гума подрібнюється з утворенням гумового порошку розміром до 10 мм; з нього також виділяють текстильний корд.

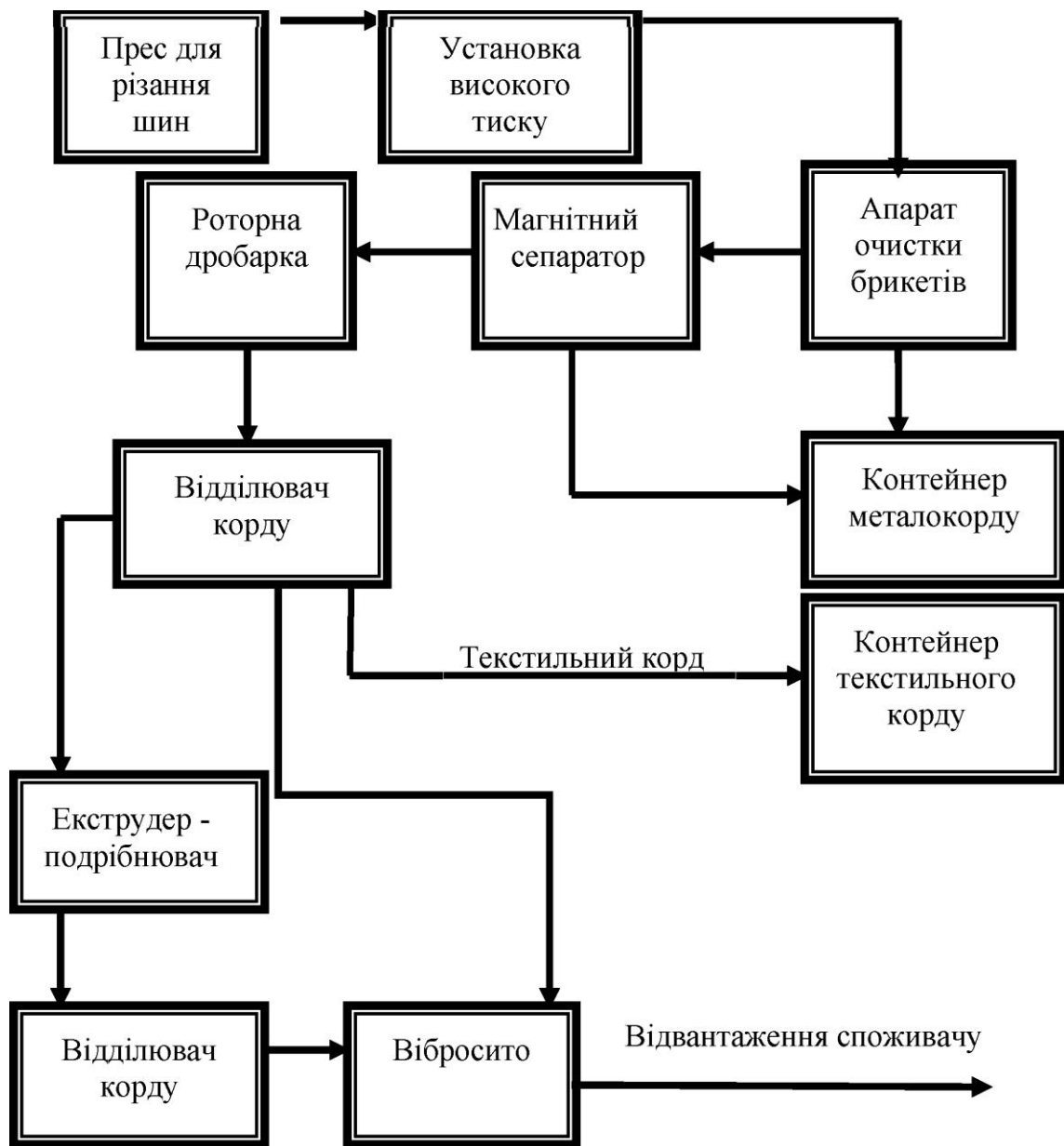


Рис. 1.7 Схема бародеструкційної технології переробки відпрацьованих автомобільних шин [23].

Одночасно з виділенням текстильного корду здійснюється розподіл гумового порошку на дрібну фракцію менше 3 мм і крупну – від 3 до 10 мм. У разі, якщо гума крихта фракцією більше 3 мм цікавить споживача як товарна продукція, вона фасується в паперові мішки і реалізується; якщо ні, то ця фракція потрапляє в екструдер-подрібнювач. Велику фракцію доподрібнюють, і з отриманого гумового порошку видаляють залишки металевих або текстильних кордів. Отже, технологічна лінія для отримання гумового порошку із зношених автомобільних шин включає (див. рис. 1.7):

- дробарку,
- перший магнітний сепаратор,
- тонкодисперсний подрібнювач і
- транспортні зв'язки між пристроями, які формують лінію.

Лінія забезпечена бародеструкційною установкою для руйнування автомобільних шин на гумові джгути і металобрикети. Вона також має другий магнітний сепаратор, а також перше і друге барабанне обладнання для видалення текстильного корду і фракціонування гумового порошку.

2. *Спосіб «Магнітного удару».* Технологія «Магнітного удару» полягає у тому, що спеціально створена високовольтна імпульсна установка (~ 4 кВт) за допомогою так званого «магнітного удару» відокремлює металокорд від гуми. При цьому метал нібито «відскакує» від гуми так само, як краплі води від розпеченої сковорідки. Отже, як наслідок, після такого «удару» металокорд повністю відокремлюється, а далі реалізуються технологічні процеси з подрібнення гуми. Таким чином, вдається не лише повністю переробити гуму на вторинну сировину, а й значно зменшити зношувальність задіяного в цьому процесі механічного устаткування, а також істотно знизити енергоспоживання. За підрахунками фахівців, такий переробний завод може випускати приблизно (400...1800) кг модифікованої гумової крихти за годину; витрати електроенергії при цьому становлять всього (0,3...0,5) кВт·год. Підраховано також, що впровадження такої технології може окупитися впродовж півтора року.

Вторинну сировину – метал і гуму – можна далі використовувати за призначенням навіть без будь-якої подальшої обробки; тобто гумова крихта практично повністю здатна замінити каучук у різноманітних технологічних процесах. Проте, ця технологія на сьогодні вважається перспективною, «реальною фантастикою», оскільки в повній мірі жодній з переробних фірм у світі не вдалося досягти необхідного рівня і якості перероблення гуми на вторинну сировину за цим способом.

3. *Спосіб дроблення* є найпростішим і полягає в тому, що за допомогою дробарок відпрацьовані автомобільні шини подрібнюють на дрібні частки і в кінцевому етапі фасують у мішки. Далі ця вторинна сировина потрапляє до різних виробництв будівельної промисловості, де використовується за відповідним призначенням. Отже, технологія подрібнення покришок забезпечує можливість отримання різних фракцій гуми, наприклад, кришку, гранули та клапти. При цьому сам процес переробки покришок шляхом подрібнення є нетоксичним; окрім того, внаслідок цього немає, наприклад, неприємного запаху та/або значних викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Гумову вторинну сировину, як правило, використовують для виготовлення рогожі, різноманітних килимів для дитячих і спортивних майданчиків, для виробництва інших виробів тощо. Оскільки продукти подрібнення шин непридатні для життя шкідників, то гумову вторинну сировину використовують також для мульчування рослин у садах і вазонах. Мульча з продуктів переробки відпрацьованих автомобільних покришок є навіть більш ефективною порівняно з отриманою з деревини, оскільки її, по-перше, не зносить вітром (вона майже в 5 разів важча за звичайну), вона не ущільнюється і може використовуватись за призначенням тривалий час.

4. *Механічне розрізання відпрацьованих автомобільних покришок.* Необхідність механічного розрізання відпрацьованих шин виникає вже на стадії їх транспортування від місця накопичення до місця переробки. Кількість спеціалізованих переробних підприємств в Україні вельми обмежена, а автопідприємства, на яких, в основному, і накопичуються відпрацьовані

шини, часто знаходяться в різних місцях навіть у межах одного регіону; тому виникає необхідність транспортування відпрацьованих шин на значні відстані. При цьому треба враховувати, що великий об'єм у конструкції шин займає напівзакрита поверхня, заповнена повітрям, через що транспортування покришок виявляється вкрай нерентабельним.

Отже, питання зниження витрат на транспортування відпрацьованих автомобільних шин набуває все більшої актуальності. Тому виникла необхідність у попередньому механічному розрізанні шин (потребує вельми незначних енерговитрат), при якому від шин відрізають бічні сторони (боковини) і смуги протекторної частини, що дозволяє в ті самі транспортні ємності вкладати в (3,0...3,5) рази більше гумової сировини за масою, ніж при вкладанні цілих нерозрізаних шин. За такого підходу транспортні витрати вдалося значно зменшити.

Розглянемо найбільш характерні приклади виробів, які можуть складатись з переробленої сировини. Це може бути, наприклад, бар'єрне дорожнє огороження автомагістралей (рис. 1.8), що складається із вертикальних стійок і закріпленої до них поздовжньої балки, виконаної з розгорнутих у смуги протекторних частин шин, вирізаних з відпрацьованих шин вантажних АТЗ, які містять металевий корд, повернуті тильною стороною назовні і нерухомо закріплені одна до одної.

Таке бар'єрне дорожнє огороження за рахунок високої здатності матеріалу шин до деформацій і поглинання енергії удару забезпечує надійний захист і запобігання травматизму водія і пасажирів АТЗ при наїзді на огороження. Крім того, його легко можна покрити антифрикційним покриттям, пофарбувати в бажаний колір; воно не піддається атмосферній корозії, а тому є досить надійним і довговічним. На сучасному етапі у більшості бар'єрних огорожень автомагістралей поздовжні балки виконані з металевого хвильового профілю. Тому заміна дорогих металоємних елементів конструкцій бар'єрних огорожень на елементи з дешевої вторинної гумокордної сировини

надає змогу значно скоротити витрати на облаштування автомагістралей і одержати суттєву економію в масштабі країни.

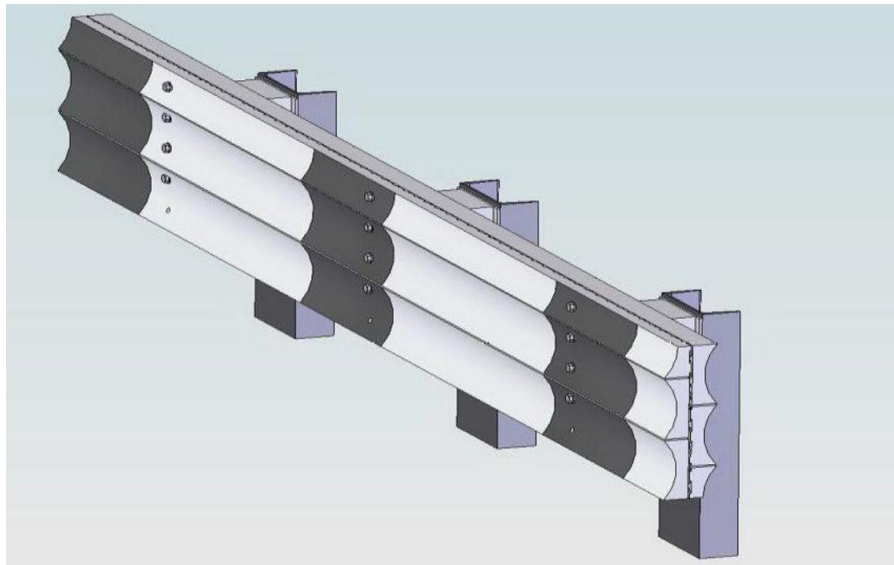


Рис. 1.8 Бар'єрне дорожнє огороження автомагістралей [5].

5. *Вибухо-циркуляційний спосіб переробки* покришок у порівнянні з іншими базується на принциповій заміні способу руйнування з традиційного механічного на вибуховий з циркуляцією продуктів вибуху. Без сумніву, ця перспективна технологія дозволяє здійснити прорив у сфері переробки покришок, проте вона не є екологічно дружньою.

6. *Кріогенний спосіб* переробки відпрацьованих автомобільних шин полягає в тому, що шини спочатку заморожують, а вже потім руйнують. За рахунок замороження процес руйнування і відокремлення металокорду значно спрощується. Ця технологія розповсюджена, в основному, в США, а добутий у такий спосіб порошок гуми має назву кріогуми.

З екологічної точки зору серед фізико-механічних способів переробки і утилізації відпрацьованих автомобільних шин найбільшої шкоди навколишньому середовищі завдає саме вибухо-циркуляційний. Адже при даному способі використовується вибух, який супроводжується виділенням значної кількості енергії і викидами шкідливих продуктів, які при взаємодії з

киснем повітря можуть спричинити масштабну пожежу. При інших способах переробки у навколишнє середовище потрапляють значні обсяги дрібнодисперсного гумового пилу, який також становить загрозу навколишньому природному середовищу і здоров'ю людей.

Розглянемо далі *термічні способи утилізації шин*. Серед цих способів сьогодні найчастіше використовуються процеси спалювання і піроліз. Спалювання – один з найбільш відомих термічних способів переробки автомобільних шин (рис. 1.9), він полягає в високотемпературному окисненні гуми або інших відходів, що здійснюється, як правило, у барабанних печах цементних заводів. Після спалювання шин отримане тепло можна також використовувати для нагрівання води в котлах, для опалення приміщень та/або для виробництва електроенергії. Проте такий спосіб переробки відходів вважається енергетично малоефективним, оскільки при виготовленні однієї покришки витрачається енергія, що міститься в 35 л нафти, тоді як при спалюванні гумових відходів виділяється енергія, що еквівалентна всього 8 л нафти. Крім того, в навколишнє середовище при спалюванні потрапляє величезна кількість забруднювачів і парникових газів, а саме: чадний і вуглекислий газ, оксиди Нітрогену і Сульфуру, біфеніл, антрацен, флуорентан, пірен, бенз(а)пірен, діоксини, фурани, альдегіди і кетони.

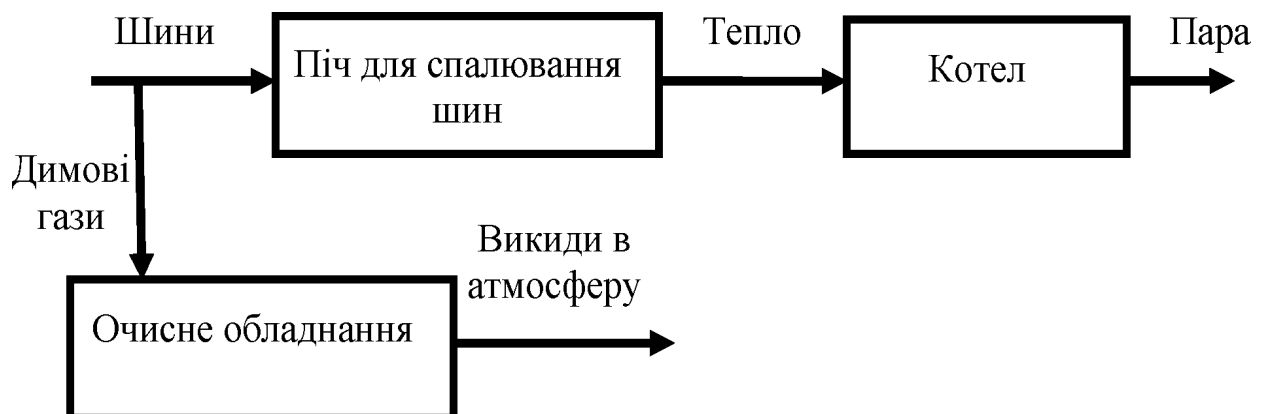


Рис. 1.9 Схема для спалювання шин [6].

Для утилізації автомобільних шин в Україні більш перспективним вважається використання *низькотемпературного піролізу* (процес термічного розкладання органічних речовин без доступу або при нестачі повітря, при якому в органічній сировині протікають глибокі деструктивні зміни). Отже, в установках підпору повітря (УПП) спочатку автомобільні шини піддають подрібненню; далі подрібнені шматки шин подаються в робочу камеру реактора, де відбувається їх осушення, видалення залишків повітря і водяної пари, нагрівання без доступу повітря до температури приблизно (350...500) °С у вуглеводневому середовищі.

Таким чином, за технологією УПП із 1 тонни гумових відходів можна отримати таку кількість корисних продуктів:

- рідка фракція вуглеводневої сировини – приблизно (450...500) кг (вуглеводні насиченого та ненасиченого ряду C_5-C_{30});
- тверда фракція вуглеводневої сировини – (350...410) кг (пірокарбон);
- газова фракція вуглеводневої сировини – (140...150) кг (газова складова: метан, чадний газ CO і вуглекислий газ CO₂).

Отже, перевагами застосування такої технології є її універсальність, простота апаратного оформлення, можливість переробки шин с текстильним, віскозним або металічним кордом, енергетична автономність процесу (оскільки всі елементи обладнання обігрівуються газами, що утворюються в процесі самого піролізу), і достатня екологічна чистота процесу (всі побічні продукти, як правило, використовуються в замкненому технологічному ланцюзі). Отже, в результаті переробки гумових і полімерних відходів піролізом утворюється вторинна продукція, яку можна використовувати, наприклад, як енергетичну сировину в побутових і промислових умовах.

Інший термічний спосіб (газифікація) призначений для переробки відпрацьованих автомобільних шин шляхом штучного перетворення твердих органічних матеріалів на гази з отриманням електроенергії або тепла. Цей спосіб є також ефективним при отриманні піролізного газу. Так, з 1 кг гумових

відходів утворюється приблизно 0,6 кг піролізного газу. Щодо екологічного тиску на навколишнє середовище, то при утилізації шин в такий спосіб у повітряне середовище викидаються такі токсиканти, як гідроген сульфід H_2S та гідроген хлорид HCl , які можна нейтралізувати за допомогою очисних споруд.

Таким чином, при використанні термічних способів переробки органічних відходів і відходів гуми завдається значна шкода навколишньому природному середовищу, зокрема:

- при спалюванні основними емітентами є діоксид Сульфуру, біфеніл, антрацен, флуорентан, пірен, бенз(а)пірен, діоксини і фурани;
- при піролізі – H_2S , SO_2 , SO_3 та CO_2 (парниковий газ);
- при газифікації – пари H_2S , HCl , оксиди Нітрогену, чадний газ і сажа.

До *фізико-хімічних* способів переробки відпрацьованих шин належать наступні способи.

1. *Розчинення в органічному розчиннику* – процес термозрідження відходів в органічному розчиннику при температурі приблизно $(280...435) ^\circ C$ і тиску не менше 6,1 МПа, а також відділення рідкої фракції, що має температуру кипіння вище $220 ^\circ C$. При цьому рідку фракцію з температурою кипіння до $220 ^\circ C$ піддають каталітичному риформінгу, після чого частину рідкої фракції використовують як цільовий продукт, а частину – як розчинник для нової порції відходів.

Спосіб розчинення відходів в органічному розчиннику вважається новим і досить перспективним, проте він ще не має промислового застосування. Серед його переваг варто відзначити такі, як відсутність відходів, високу ліквідність продуктів переробки і низькі витрати на придбання органічних розчинників.

2. *Руйнування покриття озоном* (технологія «Озонового ножа») – базується на руйнуванні гумових відходів фоновим озоном, який міститься в атмосфері. Продуктом переробки шин з використанням цієї технології є досить чистий (без сторонніх домішок) хімічно активний подрібнений порошок, який використовується у виробництві нових гумових виробів, створенні композиційних матеріалів на основі полімерів, а також при виробництві

термопластичних гум. Серед переваг технології "Озонового ножа" у порівнянні, наприклад, з технологією механічного подрібнення та сепарації можна назвати такі:

- енергозбереження (за цією технологією енергетичні витрати менші приблизно у 5–10 разів);
- зменшення кількості стадій процесу переробки відходів, що значно зменшує необхідні виробничі площі і кількість зайнятого персоналу (приблизно в 1,5–2 рази);
- відсутність зносу елементів основного обладнання, а внаслідок цього – і зменшення експлуатаційних витрат;
- висока якість кінцевого продукту (менша кількість сторонніх домішок),
- універсальність технології, можливість її застосування для переробки інших гумових виробів (конвеєрних стрічок, трубопроводів високого тиску гідросистем тощо);
- низька собівартість переробки (приблизно в 2–2,5 рази нижча);
- зменшення шкідливих викидів в атмосферу, оскільки переробка гумових відходів ведеться за кімнатних температур.

3. Більш глибоку переробку відпрацьованих автомобільних шин забезпечує *технологія гідротермічного розкладу гуми* при температурі приблизно (400...500) °С і надлишковому тиску водяної пари (50...100) Па. Тривалість переробки шин за цією технологією становить (2...2,5) години, а необхідна температура забезпечується парою, нагрітою приблизно до 700 °С; витрата пари при цьому коливається від 100 до 500 кг/год.

У комплекс з переробки покришок за технологією гідротермічного розкладу входять ножиці для покришок великих розмірів і установка-реактор, яка встановлюється на відкритому майданчику. Реактор працює за неперервним циклом; максимальна продуктивність установки становить приблизно 5 тонн покришок за добу; а кількість обслуговуючого персоналу – всього 2 робітника.

Отже, продуктами глибокої переробки відпрацьованих автомобільних шин є, зокрема:

- рідке паливо, близьке за властивостями до мазуту М-100 (густина палива становить 985 кг/м^3 , в'язкість – $6,97 \text{ сСт}$, теплота згоряння – $49,5 \text{ МДж/кг}$, вміст Сульфуру не перевищує $0,4 \%$). Максимальна продуктивність установки становить приблизно 2 тонни рідкого палива на добу; вихід рідкого палива складає до 40% від маси завантаженої гуми;

- порошковий вуглецевий наповнювач, близький за властивостями до технічного вуглецю. Використовується для виготовлення пігментних барвників, сорбентів, замінників активованого вугілля, а також як наповнювач під час виготовлення нових гумовотехнічних виробів. Максимальна продуктивність установки за цим компонентом становить приблизно 1,5 тонни порошкового наповнювача за добу; вихід наповнювача складає $(35...55) \%$ від маси завантаженої гуми;

- металокорд. Максимальна продуктивність установки за металокордом становить приблизно 0,5 тонн за добу;

- піролізний газ; продуктивність установки – приблизно 1 тонна на добу. При цьому половина отриманого піролізного газу використовується для нагрівання пари, а решта – викидається в атмосферу.

Отже, з екологічної точки зору спосіб руйнування і переробки відпрацьованих автомобільних шин озонем є дещо кращим, ніж вищенаведені термічні способи, оскільки викиди дрібнодисперсного пилу за технологією «Озонового ножа» значно менші.

Відомими способами утилізації відпрацьованих шин є *мікробіологічні* способи, а саме – деструкція суцільнолитих шин *мікроскопічними грибами*.

Своєю чергою, відпрацьовані автомобільні покришки можна використовувати і як *альтернативне паливо*. Так, учені однієї з Одеських компаній створили паро-термічний реактор, за допомогою якого можна змінити структуру гуми і отримати синтетичну нафту, а також газову фазу і металевий корд. При цьому отримане тепло можна використати для опалення, наприклад,

лікарень, дитячих садочків та шкіл взимку. Одеські вчені запропонували також виробляти паливо з органічних відходів, якими переповнені місцеві сміттєзвалища. Так, за добу можна отримати 200 м³ газу, 5 тонн пічного пального і 3,5 тонни вугілля. Це надає змогу забезпечити часткову енергетичну незалежність області та вирішити проблему переробки і утилізації відпрацьованих автомобільних покришок. Останнє є особливо важливим, оскільки обсяги таких відходів збільшуються вельми швидко, а зберігання шин на полігонах і звалищах наносить величезну шкоду навколишньому середовищу.

Застосування відпрацьованих автомобільних шини у цементному виробництві. Висока енергоємність виробництва портландцементного клінкеру, а також постійне зростання цін на традиційне викопне паливо призводять до того, що енергетичне використання палив, отриманих з горючих промислових і комунальних відходів, стає одним із головних напрямів підвищення ефективності виробництва цементу. Відомо, що вартість теплової енергії становить більш як 40 % вартості готового портландцементу, а електричної – більш як 25 %. Отже, на виробництво однієї тонни портландцементу витрачається близько (60...130) кг природного палива, і утворюється при цьому від 879 до 680 кг вуглекислого газу.

На сучасних цементних заводах як альтернативне паливо у цементних печах використовують здебільшого такі види палив, як відпрацьовані шини, відходи харчової промисловості (м'ясо, кісткова мука, жири та олії), пластмаси, просочену тирсу, деревину, папір, картон і відходи пакування, осадки стічних вод і паперових волокон, сільськогосподарські та органічні відходи, нафтові сланці, вугільні шлами, залишки дистиляції, відпрацьовані мастила і шлами нафтопереробки, а також відпрацьовані органічні розчинники.

Проте основною задачею цементного заводу є не спалювання відходів, а виробництво високоякісного цементу. З цієї причини поряд з відходами, які можливо і доцільно спалювати в цементних печах, є перелік відходів, використання яких є небажаним. Це, наприклад, радіоактивні відходи, відходи

електроніки, вибухонебезпечні речовини, неорганічні кислоти, азбестовмісні відходи, відходи, що містять велику кількість солей ціаністої кислоти, інфіковані медичні відходи, хімічна і біологічна зброя, призначена для знищення, батареї і акумулятори, невідсортовані комунальні відходи та інші відходи невідомого складу.

Обертова цементна піч на сьогодні є однією з найкращих установок для відносно безпечного спалювання і утилізації відходів, у якій можна знешкоджувати навіть найбільш стійкі до розпаду органічні сполуки. Температура процесу спалювання у печах сягає 2000 °С, тому використання альтернативних палив у цементній промисловості є особливо корисним:

- у цементній печі відбувається виділення енергії, що міститься в альтернативному паливі, яка може бути повністю використана для виробництва клінкеру;
- заощаджується природне паливо;
- у глобальному масштабі зменшується емісія парникових газів в атмосферу (відходи, невикористані у цементній промисловості, були б спалені в іншому місці або вивезені на полігони ТПВ, що призвело б до забруднення практично всіх компонентів довкілля);
- спалювання альтернативного палива в цементних печах є процесом безвідходним; зола від спалювання входить у склад портландцементного клінкеру.

Отже, використання альтернативних палив на основі горючих відходів у цементній промисловості надає значний позитивний економічний ефект – вартість 1 ГДж енергії альтернативних палив з урахуванням транспортних витрат, як правило, у (4...5) разів менша від вартості природного палива і суттєво не впливає на екологічний баланс у цементному виробництві (рис. 1.10).

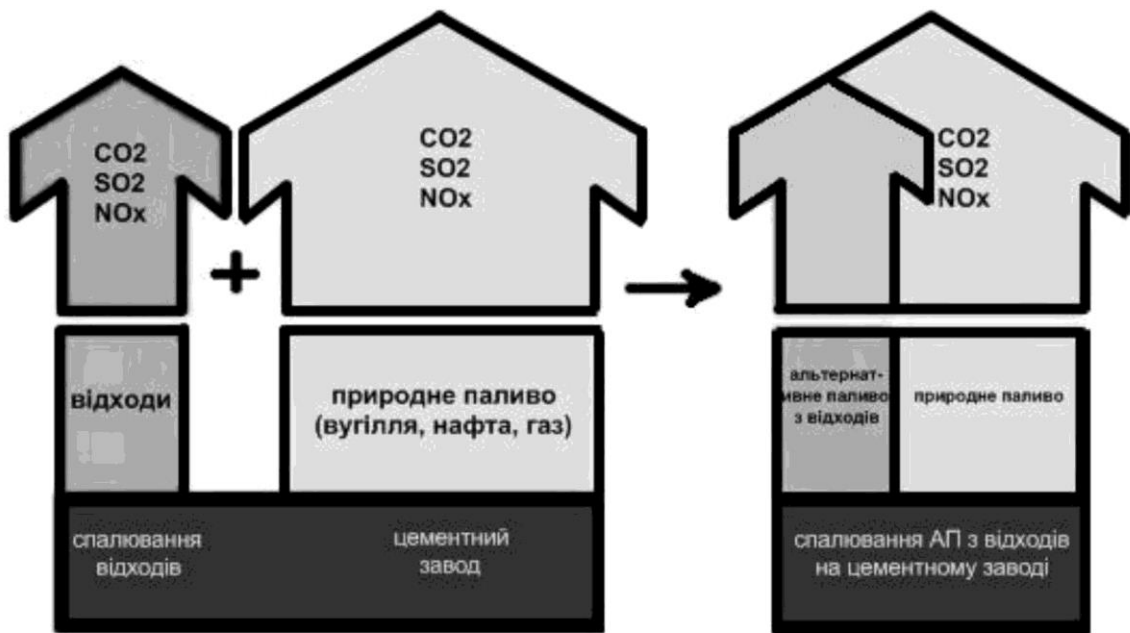


Рис. 1.10 Екологічний баланс спалювання відходів на сміттєспалювальному заводі та їх використання як альтернативного палива в цементних печах.

1.7. ВПЛИВ ВІЙСЬКОВО-ПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ (ВПК) НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ. СУЧАСНІ МЕТОДИ І ТЕХНОЛОГІЇ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ ВІЙНИ

Військова діяльність є надзвичайно екологічно небезпечним видом діяльності людини, оскільки ВПК і Збройні Сили України мають величезну кількість потенційно небезпечних в екологічному відношенні військових об'єктів. Це, зокрема, сховища рідинних і твердих радіоактивних відходів, сховища і склади боєприпасів, озброєння, парк військової техніки, паливо-мастильних матеріалів (ПММ) тощо. На цих об'єктах унаслідок природних і техногенних катастроф, ведення бойових дій, інших небезпечних явищ можуть відбуватися аварії, що приводять до забруднення всіх компонентів навколишнього середовища – атмосферного повітря, ґрунту, поверхневих і ґрунтових вод, рослинного і тваринного світу.

Проте шкідливий вплив на навколишнє природне середовище чинять не тільки екологічно небезпечні військові об'єкти, але і всі інші об'єкти, на яких експлуатується, зберігається і проводиться утилізація чи переробка озброєння, військової техніки тощо, а також здійснюється бойова підготовка військ, організується життя і побут особового складу військових частин. У зв'язку з цим до військової діяльності навіть у мирний час висуваються підвищені вимоги із забезпечення екологічної безпеки. Зокрема, на служби екологічної безпеки військових частин покладено такі обов'язки, як:

- ведення обліку та організація контролю за зберіганням, використанням, транспортуванням джерел іонізуючого випромінювання, токсичних речовин відповідно до встановлених норм і правил;

- планування і контроль реалізації заходів щодо скорочення викидів (скидів) шкідливих речовин у навколишнє природне середовище в усіх видах діяльності військ;

- складання річного і перспективного планів контролю екологічної безпеки на підлеглих військових об'єктах та їх виконання (контроль за виконанням);

- забезпечення своєчасного оформлення дозволів на спеціальне водокористування, гранично допустимі норми викидів (скидів), розміщення (складування) шкідливих речовин;

- контроль за організацією екологічно правильної експлуатації і технічним обслуговуванням військової техніки, озброєння, транспортних засобів, комунальних і побутових об'єктів тощо;

- організація заходів з ліквідації наслідків забруднення навколишнього природного середовища в місцях дислокації військових частин;

- організація проведення інвентаризації джерел забруднення, профілактики і ремонту обладнання (систем) збору, очищення і знешкодження викидів (скидів) забруднювальних речовин у навколишнє середовище навколо військової частини;

- подання до служби екологічної безпеки статистичних даних щодо охорони природного середовища і раціонального використання природних ресурсів у військовій частині;

- проведення просвітницької і навчально-виховної роботи з особовим складом з питань охорони навколишнього середовища і раціонального використання природних ресурсів, забезпечення виконання вимог екологічної безпеки тощо;

- своєчасне виявлення фактів порушення природоохоронного законодавства України.

Отже, вимоги екологічної безпеки повинні дотримуватись і у місцях дислокації військових частин, і під час проведення військових навчань, маневрів, переміщення військ і військової техніки. Усі вимоги екологічної безпеки, що встановлені для розміщення, проєктування, будівництва, реконструкції, введення в дію та експлуатації об'єктів щодо обмеження негативного впливу на довкілля хімічних, фізичних і біологічних чинників, а також інші вимоги, передбачені законодавством України, повною мірою поширюються і на військові та оборонні об'єкти, а також на об'єкти органів МВС і СБУ.

Найбільш актуальними проблемами екологічної безпеки військ в умовах мирного часу є проблема *ліквідації шахтних пускових установок*. Так, в Україні до цього часу знаходяться декілька колишніх ракетних майданчиків з розміщеними на них шахтними пусковими установками ракетних комплексів. Отже, екологічний стан територій колишніх ракетних майданчиків викликає стурбованість і занепокоєння у громадськості. Так, у 2003 році було виконано певний обсяг робіт щодо екологічного обстеження території одного з цих небезпечних об'єктів. Наступним кроком мала бути розробка робочого проєкту щодо ліквідації зазначеного об'єкту, але на сьогодні всі роботи, пов'язані із виконанням природовідновлювальних робіт на колишніх ракетних майданчиках призупинено через відсутність фінансування.

Іншою серйозною проблемою є проблема *експлуатації складів і баз паливно-мастильних матеріалів*. Переважну більшість резервуарного парку баз і складів пального було побудовано і введено у експлуатацію у 40-х–60-х роках минулого сторіччя, тобто вони вже відслужили більше як подвійний термін нормативної експлуатації, а тому підлягають дефектоскопії, ремонту і реконструкції. Проте через брак коштів вимоги щодо проведення технічної інвентаризації технологічного обладнання баз і складів ПММ виконано неповністю, що сприяє подальшому забрудненню ґрунтів і підземних вод нафтопродуктами та іншими небезпечними речовинами.

Проблема *утримання радіоактивних відходів*. Свого часу на території України було утворено «могильники» радіоактивних відходів, 4 з яких залишаються на балансі МВС ЗСУ. В Україні існують також серйозні екологічні проблеми, пов'язані з *експлуатацією автомобільного транспорту, суден ВМС* тощо. Кораблі і судна ВМС України, на жаль, практично не мають систем очищення і знезараження господарсько-побутових та ляльних вод (ляльна (підсланева) вода – вода, яка міститься на судах чи кораблях і у якій присутні домішки нафтопродуктів; вона накопичується у лялях – машинних відділеннях на борту). Тому ці води являють собою джерела постійного забруднення акваторії моря, чим завдається значна шкода навколишньому природному середовищу.

До числа головних забруднювачів повітряного басейну входять також котельні й різноманітні транспортні засоби, які щорічно викидають в атмосферу тисячі тонн токсикантів. Старіння автомобільного парку, незадовільна якість пального, відсутність коштів на переобладнання котелень призводять до значного забруднення атмосферного повітря, а також придорожніх територій і підземних та поверхневих вод.

Проблема *експлуатації комунальних споруд, баз та складів*. У Збройних Силах України в експлуатації знаходиться значна кількість каналізаційних мереж, каналізаційних насосних станцій, комплексів очисних споруд, які досить часто є морально і фізично застарілими, а тому становлять потенційну

небезпеку для навколишнього природного середовища і здоров'я людей. Аналогічна ситуація складається і з іншими типами об'єктів (арсеналами, базами і складами боєприпасів, військовими полігонами, складами зберігання компонентів ракетного палива тощо), які потребують, перш за все, проведення природовідновлювальних заходів з метою забезпечення виконання вимог екологічної безпеки. Отже, як можна побачити, багато екологічних проблем супроводжуються або навіть спричиняються саме недостатнім фінансуванням заходів з охорони навколишнього природного середовища.

Ще одним невирішеним питанням є недостатнє та/або нерегулярне фінансування статей кошторису Міністерства оборони України, спрямованих на поточне утримання об'єктів – потенційних забруднювачів навколишнього природного середовища. У МВС ЗСУ експлуатується значна кількість об'єктів, які є потенційними забруднювачами навколишнього природного середовища і потребують утримання у екологічно безпечному стані, оформлення відповідних дозволів, лімітів тощо. Це, в першу чергу, каналізаційні очисні споруди, каналізаційні насосні станції, котельні, різноманітні виробництва, об'єкти водопостачання, автотранспорт, автопарки, пункти миття техніки, акумуляторні, склади ПММ, місця зберігання технічних рідин, місця зберігання джерел іонізуючого випромінювання, місця складування побутових та інших відходів тощо.

Таким чином, стан екологічної безпеки певної військової частини оцінюється за такими критеріями:

– «задовільно», якщо екологічне забезпечення повсякденної діяльності організовано і здійснюється в повному обсязі відповідно до вимог природоохоронного законодавства України, гарантовано забезпечується екологічна безпека діяльності особового складу під час експлуатації озброєння, військової техніки тощо;

– «незадовільно», якщо під час здійснення екологічного забезпечення повсякденної діяльності порушені вимоги нормативних документів, не забезпечується екологічна безпека діяльності особового складу або

експлуатація озброєння і військової техніки здійснюється з порушенням вимог природоохоронних норм, не вжито заходів щодо усунення раніше зазначених органами екологічної служби порушень природоохоронного законодавства України.

Порядок поводження з відходами у військових частинах. Згадаємо, відходи виробництва це залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів тощо, що утворилися під час виробництва і частково або повністю втратили свої споживчі якості; відходи споживання – вживана продукція або супутні з нею вироби, непридатні для подальшого використання за прямим призначенням, а також списані у встановленому порядку машини, вироби, інструмент.

Відходи радіоактивні – радіоактивні хімічні елементи, які утворюються під час роботи ядерних реакторів або експлуатації ядерного озброєння. Відомо, що для роботи однієї атомної електростанції (АЕС) необхідно близько 10 підприємств з добування, переробки і поховання радіоактивних речовин. Тому можна з впевненістю сказати, що в цілому експлуатація АЕС не є в повній мірі екологічно безпечною, особливо якщо врахувати затрати на поховання радіоактивних відходів, а також суми збитків оточуючому природному середовищу і здоров'ю людей унаслідок можливих аварій.

Під час управління з відходами у МВС ЗСУ керуються такими нормативно-правовими актами: законами України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про поводження з радіоактивними відходами», «Про металобрухт», «Про управління відходами», кодексом України «Про надра», Водним кодексом України та іншими нормативними документами. Важливим сучасним напрямом екологізації переробки відходів є їх утилізація, (повторне використання відходів), або їх регенерація. Отже, отримані відходи повинні або відразу повертатися у технологічний процес, або надходити на переробку з отриманням вторинної сировини. Це, своєю чергою, дає можливість не тільки відчутно зменшити забруднення природного середовища, а й істотно скоротити витрати на основне виробництво.

Регенерація – (від латин. «відновлення, відродження») повернення відпрацьованому продукту початкових якостей; відпрацьований продукт при цьому має назву «регенерат». Серед принципових напрямів регенерації різноманітних відходів варто виокремити три різновиди.

Перший напрямок полягає в поверненні відходів у той самий виробничий процес, з якого вони були отримані. Отже, така регенерація можлива у випадку, коли відходи за своїми властивостями мало відрізняються від властивостей сировинних матеріалів. Іноді відходи вдається повернути у виробничий процес навіть без попередньої підготовки, але частіше приходиться проводити їх спеціальну обробку.

Другий напрямок регенерації відходів це використання їх в інших виробничих процесах. Так, якщо вилучення корисних компонентів ускладнено, то первинні відходи переробляють багаторазово, поки не будуть вилучені всі необхідні цінні компоненти. Для цього приходиться організовувати навіть декілька додаткових процесів. Однак, у цих нових технологічних процесах також утворюються відходи (вторинні продукти), тому необхідно вирішувати комплексне питання щодо і їх регенерації та мінімізації їх обсягу.

Третій напрямок регенерації відходів це використання їх (після вилучення всіх потрібних компонентів) у вигляді сировини для інших виробництв із метою одержання продуктів тривалого використання.

Серед основних вимог щодо обладнання у військових частинах місць організованого звалища сміття варто назвати такі:

- місце організованого звалища сміття повинно бути обладнане бетонованими чи асфальтованими майданчиками з контейнерами, огорожею та відповідними показниками, площа яких повинна складати не менше, ніж 50 м²;
- відстань від краю сміттевого баку до краю майданчика повинна бути не менше одного метра;
- контейнери (баки) повинні заповнюватись не більш, ніж на 90 % обсягу;
- термін зберігання сміття в баках – не більше трьох діб;

- контейнери і майданчики повинні систематично очищуватися, промиватися і дезінфікуватися (не рідше 1 разу на місяць);
- відстань сміттєзбірників від будівель повинна становити не менше, ніж 15 м;
- у військових частинах за місце організованого звалища сміття несе відповідальність визначений командир підрозділу;
- 1 раз на рік начальником служби радіаційного, хімічного, біологічного захисту та/або начальником служби екологічної безпеки повинно проводитись продовження терміну дії договору на вивезення сміття з території військової частини. У гарнізонах, де відсутня можливість вивезення твердих відходів із сміттєзбірників на міські, районні та селищні звалища, створюються закріплені за гарнізонами звалища сміття. Їх віддаленість від військових містечок і населених пунктів повинна становити не менше, ніж 3 км за напрямом пануючих для даної місцевості вітрів з підвітряного боку.

Місця для гарнізонних звалищ узгоджуються з місцевими органами влади та санепідемстанцією. Акт вибору місця організованого звалища сміття затверджує начальник гарнізону. Отже, гарнізонні звалища сміття повинні забезпечувати:

- збір та ізоляцію відходів у визначених місцях і попередження контактів особового складу з ними;
- створення умов, які сприяють знищенню хвороботворних мікробів і попереджують розмноження комах, мух тощо;
- обмеження можливості доступу гризунів, мух, комах та ін. до сміття;
- усунення неприємних запахів.

Влаштування та експлуатація звалищ організується силами і засобами військових частин гарнізону. Діяльність підприємств ВПК, як і інших підприємств, що здійснюється з порушенням вимог законодавства про охорону навколишнього природного середовища, може бути обмежена на певний період, зокрема, до виконання необхідних природоохоронних заходів. При цьому встановлюються зменшені обсяги викидів і скидів забруднювальних

речовин і розміщення відходів загалом по підприємству (військовій частині) чи окремих його цехах і одиницях обладнання.

Діяльність підприємств ВПК може бути також тимчасово заборонена (зупинена) до виконання необхідних природоохоронних заходів. При цьому повністю зупиняється експлуатація підприємства (об'єкту військової частини) чи окремих його ділянок до усунення виявлених недоліків. Експлуатація підприємства або окремих його цехів, обладнання тощо може бути повністю припинена. Під час тимчасової заборони (повного припинення) діяльності підприємству забороняються всі викиди і скиди забруднювальних речовин, а також розміщення відходів. Проте не допускаються термінова тимчасова заборона або припинення діяльності підприємства, якщо це може призвести до виникнення аварійної або надзвичайної ситуації.

1.8 ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТА УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ УНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВОЇ І ТЕРОРИСТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Екологічна війна (екоцид) – навмисна дія на існуючі екологічні системи Землі або навколишній космічний простір з метою їх руйнування. На жаль, у сучасному світі способи ведення екологічних війн еволюціонують, включаючи застосування все нових і нових видів зброї, наприклад:

- зараження поверхневих, підземних вод високотоксичними, стійкими хімічними або радіоактивними речовинами (гідросферна зброя);
- створення цунамі для затоплення прибережних районів і знищення військово-морських баз (ураганна зброя);
- створення штучних землетрусів, стимулювання танення льодовиків, сходу сольових потоків (сейсмічна зброя, геологічна зброя);
- знищення рослинності і родючості шару ґрунту за допомогою хімічних речовин, пожеж, бомбометання, бульдозерів та іншої техніки; стимулювання ерозії ґрунтів; руйнування ландшафтів (літосферна зброя);

– засоби передбачуваного впливу на екосистеми, спрямовані на зниження економічного потенціалу противника шляхом підриву продовольчої бази в мирний час, а також створення несприятливих метеорологічних умов під час ведення бойових дій (геофізична зброя);

– розсіювання туману; вплив на тропічні циклони; ініціювання утворення дощів (у тому числі кислотних), що призводять до затоплення територій; руйнування іригаційних споруд; сприяння виходу з ладу окремих елементів бойової техніки. Для цього застосовується, наприклад, розсіювання в повітрі твердої вуглекислоти, аргентум йодиду та інших реагентів (метеорологічна зброя);

– сукупність засобів впливу на атмосферу з метою зміни характерних режимів пори року на великих площах; розсіювання дощових хмар, що призводить до засухи на певній території; зміна напрямків морських течій, які формують клімат у заданому регіоні планети (кліматична зброя);

– сукупність засобів для руйнування озонового шару, розміщеного в атмосфері на висотах (10...15) км, що може призвести до підвищення впливу на екосистеми жорсткого ультрафіолетового сонячного випромінювання (озонова зброя).

– механічні руйнування, наприклад, шляхом стиснення газової суміші або електромагнітного прискорення певного об'єкта (кінетична зброя); спрямованої передачі енергії з метою ураження об'єктів (променева зброя); застосування потоків електромагнітного випромінювання, що призводять до шкідливого біологічного впливу на функціонування життєво важливих систем організму людини (радіочастотна зброя); використання випромінювання лазера для знищення людей і військової техніки (лазерна зброя).

Таким чином, екологічна зброя – сучасна зброя масового ураження, знищуюча без розбору цивільні та військові об'єкти, екологічні системи у гідросфері, літосфері тощо. Особливою небезпекою екологічної зброї є те, що вона у випадку використання може застосовуватися приховано і мати непередбачені наслідки для усієї планети в цілому на досить тривалий час.

Хімічна зброя це хімічні небезпечні речовини і засоби їх застосування; один з видів зброї масового ураження. До неї належать, зокрема, засоби бойового застосування, вражаючі властивості яких базуються на токсичному впливі хімічних небезпечних речовин на організм людини. Застосування цих речовин надає змогу знищувати не тільки живу силу противника, а й руйнувати екологічні системи на великих територіях.

Загальновідомо, що значні екологічні проблеми виникають при ліквідації (знищенні) хімічних озброєнь, термін зберігання яких закінчився, а також під час розробки, випробувань і зберіганні нових хімічних небезпечних речовин. Отже, до бойових токсикантів належать не тільки хімічні небезпечні речовини, а й різноманітні токсини і фітотоксиканти. При цьому хімічні небезпечні речовини складають основу хімічної зброї; це токсичні хімічні сполуки, які завдяки певним фізико-хімічним властивостям і високій біологічній активності здатні уражати живу силу противника та/або знижувати її боєздатність у бойових умовах. Токсини – хімічні речовини надзвичайної біологічної активності і виняткової селективності рослинного, тваринного або мікробного походження, які здатні у разі їх застосування уражати організм людини.

Фітотоксиканти – хімічні сполуки, які у разі застосування в певній (досить великій) кількості здатні спричинювати загибель рослинності. Під час попередніх військових конфліктів вже мало місце застосування таких хімічних боєприпасів, складовими яких були, наприклад, синильна кислота, діфенілціанарсін, діфенілхлорарсін у суміші з оксидами Нітрогену та іншими компонентами. Використовувались також і гербіциди, зокрема, солі 2,4,5-трихлорфеноксинаоцтової кислоти та їхні суміші з іншими небезпечними речовинами. Так, аналогічні рецептурні суміші широко застосовувалися у 20-му столітті для знищення, наприклад, посівів продовольчих культур, знищення рослинності вздовж доріг, каналів, ліній електропередач тощо для полегшення ведення повітряної розвідки, фотографування місцевості та інших цілей. Особливо небезпечним є застосування рецептур, що містять у своєму складі діоксини.

Біологічна зброя це спеціальні боєприпаси і бойові прилади, що заповнені біологічними (бактеріологічними) засобами та засоби їх доставки. Вважається, що біологічна (бактеріологічна) зброя є незрівнянно небезпечнішою і більш вражаючою навіть за хімічну зброю. Так, вражаюча токсодоза біологічних засобів складає приблизно (10...12) мг на кг маси людини, тому її застосування може призвести до важких і неконтрольованих наслідків. Незважаючи на це, є всі підстави говорити, що багато країн світу продовжують діяльність з розробки біологічної зброї. І особливу небезпеку в цьому контексті має використання біологічної зброї терористичними угрупованнями.

Отже, як біологічні засоби для розробки різних видів зброї можуть бути використані, наприклад:

1) з метою ураження людей:

– збудники вірусних захворювань (жовта лихоманка, натуральна віспа, венесуельський енцефаломієліт коней);

– збудники чуми, бруцельозу, сибірської виразки, туляремії, холери;

– збудники грибкових захворювань (кокцидіодомікоз, покардіоз, гістоплазмоз);

– збудники риккетсиозів (сипний тиф, плямиста лихоманка Скелястих гір, Ку-лихоманка);

2) з метою ураження тварин (збудники чуми великої рогатої худоби, чуми свиней, ящура, сибірської виразки, африканської лихоманки свиней тощо);

3) з метою знищення рослин:

– збудники фітофторозу картоплі, іржі хлібних злаків, пізнього зів'янення кукурудзи, інших культур;

– гербіциди, фітотоксиканти, дефоліанти, інші хімічні речовини.

– комахи-шкідники сільськогосподарських рослин.

Особливістю біологічної зброї є наявність певного латентного (прихованого) періоду дії, протягом якого уражені особи залишаються працездатними, здатні виконувати свої обов'язки, тоді як потім раптом занедужують. Латентний період дії може бути вельми різним для різних

збудників. Так, наприклад, під час зараження чумою і холерою латентний період може бути до 6 діб; для сипного тифу – до 14 діб.

Для доставки біологічних засобів використовуються ті самі носії, що і для ядерної та хімічної зброї. Біологічні рецептури можуть бути застосовані і диверсійним шляхом, наприклад, для зараження приземного шару повітря на певній території. Під час вибуху боєприпасів утворюється хмара аерозолі, компоненти якої заражають місцевість. Можливим є застосування таких засобів і за допомогою зараження хвороботворними мікробами кліщів, комах, гризунів тощо, особливо якщо вони є нехарактерними для даної місцевості.

Радіологічна зброя – використання радіоактивних відходів у складі звичайних боєприпасів, наприклад, у складі крилатих ракет, авіаційних бомб та ін. Тобто радіологічна зброя являє собою спеціально виготовлену радіоактивну начинку звичайних бомб або резервуарів, звідки вона розсіюється на місцевості після вибуху. При цьому штучні радіонукліди здатні існувати у навколишньому природному середовищі тривалий час, мігрувати з вітрами, дощами, підземними водами тощо, накопичуватися в живих організмах.

Під час деяких локальних військових конфліктів було випробувано боєприпаси, що містили збіднений уран, який виявився ефективним матеріалом для виготовлення бронебійних снарядів. Як правило, в таких боєприпасах знаходиться Уран-238 у кількості до 99,6 % за масою. Застосування цього металу пов'язано з його особливими фізичними властивостями – здатністю до самозаймання і горіння в результаті зіткнення з бронею та її пробиття.

Водночас, дрібні уламки уранового сердечника снаряда розповсюджуються територією і сприяють випалюванню горючих матеріалів або детонації боєприпасів усередині об'єкта, який уражується. Крім того, під час влучання у військові об'єкти таких уранових снарядів уран перетворюється у тонкий пил, який, знаходячись тривалий час на ураженій місцевості, негативно впливає на здоров'я людей і навколишнє природне середовище. Медики впевнені, що потрапляння уранового пилу до органів дихання,

травлення і на шкіряні покрови організму призводить до розвитку онкологічних захворювань, причому, як військовослужбовців, так і мирного населення.

Термін, упродовж якого радіоактивність Урану-238 зменшиться вдвічі (термін напіврозпаду), становить $4,51 \cdot 10^9$ років. При цьому практично до 70 % усієї маси збідненого урану, що міститься в снаряді, вигорає і перетворюється під час вибуху на аерозоль радіоактивних оксидів Урану (U_3O_8 , UO_2) із частками розміром від 0,5 до 5 мкм. Отже, такі аерозолі здатні тривалий час знаходитися в повітрі, поступово осідаючи на поверхню землі, мігруючи в ґрунти, поверхневі і ґрунтові води.

Застосування боєприпасів зі збідненим ураном досі досконало не вивчено, особливо з точки зору довгострокових наслідків для здоров'я людей і навколишнього середовища. При цьому основна небезпека від збідненого урану виникає у випадку його потрапляння в організм людини у вигляді дрібнодисперсних пилових часток, які можуть залишатися в легеневих тканинах, особливо в лімфатичних вузлах, до кількох років.

Уран, що потрапив до шлунково-кишкового тракту, погано всмоктується. І оскільки збіднений уран є переважно α -випромінювачем, а α -частинки легко затримуються навіть незначними перешкодами (наприклад, аркушем паперу), то небезпечним є саме його осідання в тканинах організму, де від α -випромінювання немає ніякого захисту. Також неможна забувати, що уран є важким металом, накопичення якого в організмі може призводити до порушення роботи нирок, печінки та інших органів за рахунок взаємодії з органічними складовими організму (наприклад, білками) і утворення міцних органо-мінеральних комплексів.

Серед озброєння, яке активно застосовується у військових конфліктах, ракети різного типу (ракети, що випускаються реактивними системами залпового вогню (РСЗВ), великі крилаті ракети дальніх дистанцій та ін. Такі ракети, крім небезпеки від оснащеної вибухівкою бойової частини, ще несуть значну екологічну небезпеку від застосування токсичного палива. Виготовляються ракети з твердопаливними двигунами і з двигунами, що

працюють на рідкому паливі. При цьому ракети на твердому паливі можуть зберігатися тривалий час, але їхні двигуни мають нижчу продуктивність, ніж рідкопаливні.

Таким чином, на територію нашої країни потрапляють тисячі кілограмів хімічних речовин, які і при повному їх згорянні, і при потрапленні решток у навколишнє середовище створюють значний ризик забруднення і є вельми токсичними для живих організмів. Ще одним фактором небезпеки є залишки ракетного у сфері запобігання утворенню та управління відходами є: палива від збитих ракет, що залишаються у місцях падіння. Навіть вдихання випаровувань рідкого ракетного палива може бути смертельно небезпечним.

Тверде паливо завдяки агрегатному стану вважається менш токсичним для навколишнього середовища і здоров'я людей, проте припинити його горіння дуже важко, і небезпечними є вже продукти горіння такого палива. Так, при спалюванні або знищенні ракетних палив відбувається емісія дуже небезпечних компонентів, серед яких, наприклад, чадний газ CO, пари синильної кислоти HCN, оксиди Нітрогену NO, NO₂ тощо.

1.9. ПРОБЛЕМИ ПЕРЕРОБКИ І ЗНЕШКОДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ, ПІДГОТОВКА ДО ПЕРЕРОБКИ

В Україні внаслідок значної індустріалізації країни накопичилися і утворюються у наш час величезні обсяги небезпечних промислових відходів. Навіть у довоєнний час в країні утворювалось більше 1,5 млрд тонн промислових відходів щорічно, з яких приблизно (8...8,5) млн. тонн належали до 1–3 класів небезпеки. При цьому загальний обсяг накопичених промислових відходів вже давно перевищив 25 млрд тонн.

Проблема погіршується ще й тим, що малі та середні підприємства, не маючи належної технологічної бази і очисних споруд, утворюють небезпечні

відходи у значних кількостях. При цьому вони не здатні проводити їх повну і якісну переробку та/або знешкодження. Необхідним є розглядати перспективи видалення і переробки відходів, що багато років накопичувалися у відвалах, териконах, шламо- і хвостосховищах, інших звалищах, а також на полігонах і накопичувачах відходів (металургійні шлаки, шлами виробництв, забруднена земля, відходи, що утворилися внаслідок бойових дій). У багатьох випадках відходи можуть містити у своєму складі чорні, кольорові та інші метали тощо, а також нерудну сировину. Накопичувачі таких видів відходів розглядаються навіть як специфічні техногенні родовища.

Гальванічні відходи складають значну частку відходів 1-3 класів небезпеки. Але водночас такі відходи часто відносять до цінних вторинних матеріальних ресурсів. При цьому переробка цієї категорії відходів, на жаль, стримується відсутністю економічно вигідних і ефективних, а також екологічно дружніх технологій. Проблемою є також і сумісне їх розміщенням разом з іншими видами відходів у місцях їх видалення.

Значну кількість відходів, що утворюються на підприємствах, складають: пил з систем газоочищення; шлам з очисних споруд; відходи, що містять нафтопродукти; кубові залишки; паперові і гумові відходи; ртутні лампи і лампи розжарювання; будівельні відходи тощо. На рис. 1.11 показано основні джерела утворення твердих небезпечних промислових відходів.

Отже, у сфері управління небезпечними промисловими відходами необхідно:

- обмежити утворення небезпечних відходів, наприклад, удосконаленням технологічних процесів, обладнання, у тому числі й очисних споруд, а також за рахунок підвищення ефективності використання природних ресурсів;
- розробити і впровадити інноваційні технології, що забезпечать мінімізацію утворення таких відходів;
- забезпечити переробку і регенерацію відходів (заходи, спрямовані на повернення відходів у технологічний процес).

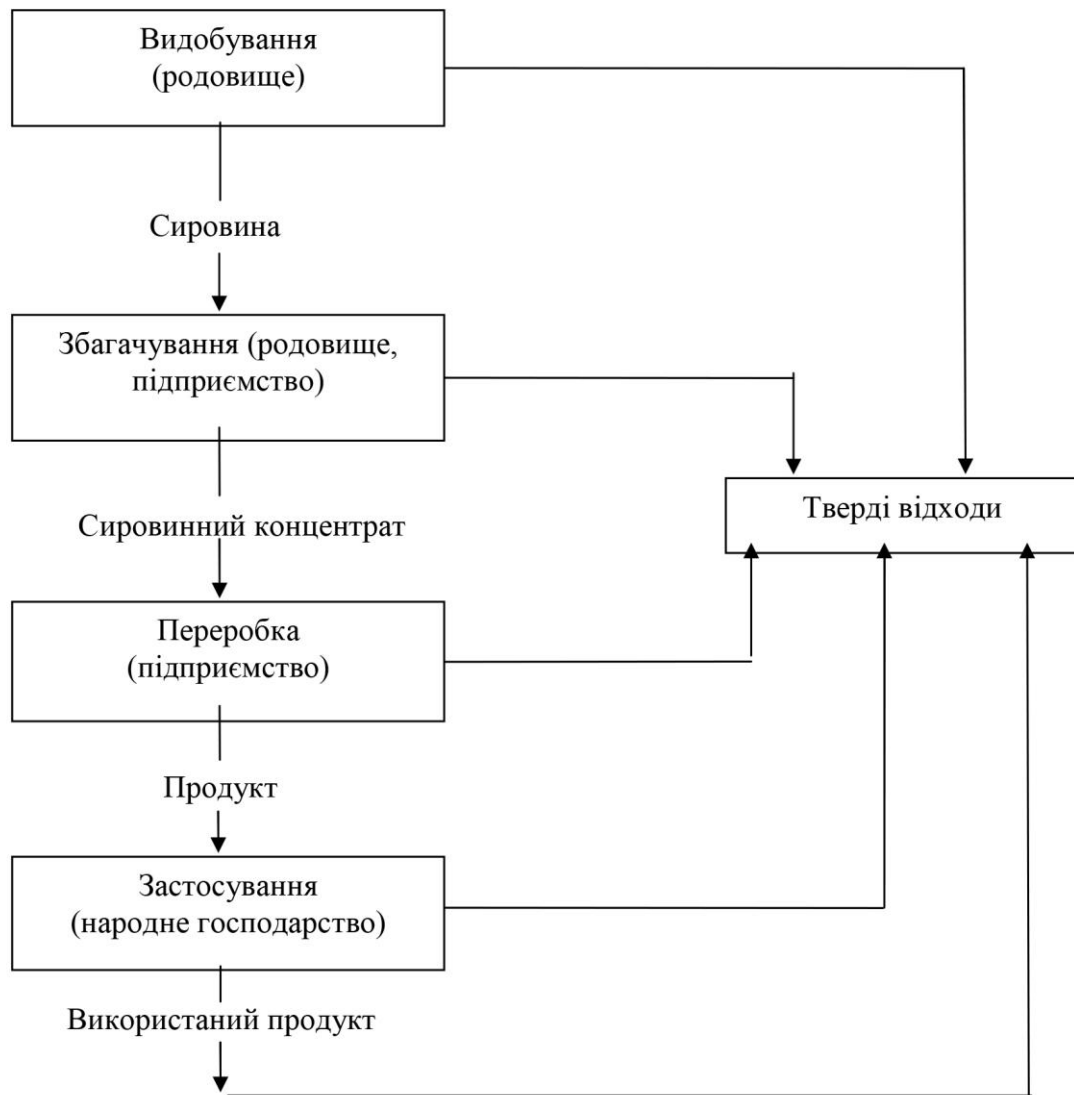


Рис. 1.11 Джерела утворення твердих небезпечних відходів [24].

Цілей мінімізації обсягів утворення і зменшення токсичності відходів можна досягти не тільки завдяки реконструкції існуючих виробництв, а і шляхом спорудження нових промислових ділянок з переробки утворюваних відходів безпосередньо на підприємствах. Велике значення при цьому має впровадження таких схем організації виробництва, де відходи одних підприємств стають сировиною для інших.

Як було показано раніше, для переробки і знешкодження небезпечних промислових відходів найбільш поширені такі способи їх попередньої підготовки, як: подрібнення розмірів шматків (укрупнення розмірів частинок),

класифікація і сортування, збагачення (за необхідності), термічна обробка, вилуговування та зневоднення або заводнення (рис. 1.12).

Для подрібнення, як правило, використовують дробарки різних типів, а помел матеріалів здійснюють, в основному, мокрим або сухим способами за допомогою млинів різного типу. Укрупнення розмірів частинок здійснюють, в основному, брикетуванням, гранулюванням, таблетуванням, та/або високотемпературною агломерацією. Класифікацію і сортування за фракціями здійснюють, наприклад, просіюванням і грохотуванням або гідравлічною і повітряною сепарацією.

Найпоширенішими способами збагачення є флотація, а також гравітаційний, електричний та магнітний методи. Так, гравітаційний спосіб заснований на відмінності щільності і швидкості осідання (седиментації) частинок збагачуваного матеріалу в рідкому або повітряному середовищах. Спосіб флотації – на різній змочуваності поверхонь частинок водою. При цьому до води додають спеціальні речовини – флокулянти, які значно підсилюють відмінність у змочуваності частинок. В якості флокулянтів використовують зазвичай різні мастила, жирні кислоти (органічні кислоти з великою кількістю

атомів Карбону у своєму складі) та їхні солі, меркаптани R-S-H (тіоли, органічні похідні гідроген сульфїду), аміни та інші сполуки.

Ефективність розділення за методом флотації залежить від насичення води повітрям, бульбашки якого «прилипають» до поверхні зерен тих мінералів, які погано змочуються водою. Отже, ці частинки стають легшими, виносяться на поверхню, при цьому відділяючись від часток, які добре змочуються водою. І залежно від характеру насичення води повітрям розрізняють барботажну (пінну), напірну, біологічну, хімічну та електричну флотації.

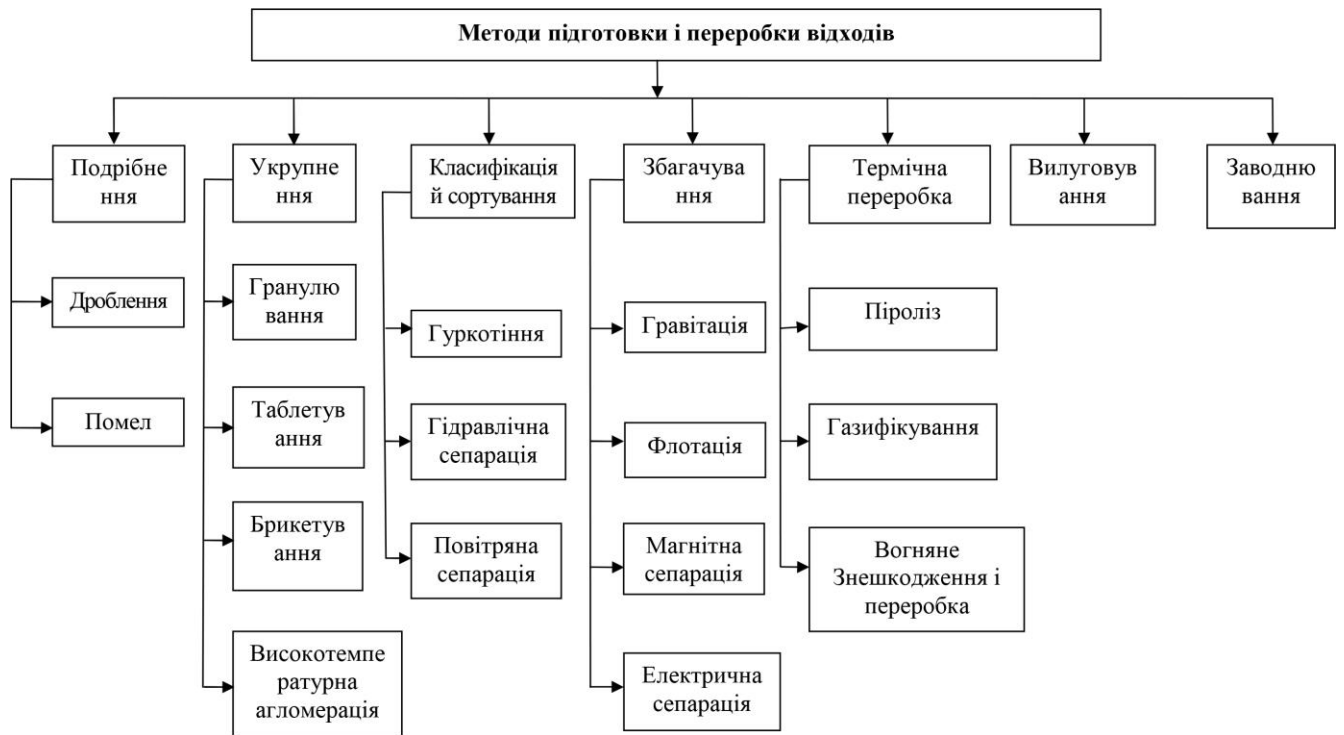


Рис. 1.12 Методи підготовки і переробки небезпечних відходів [1].

Магнітний спосіб збагачення застосовують здебільшого у випадку, коли відходи містять металеві включення і різняться за магнітними властивостями, а електричний спосіб заснований на відмінності електрофізичних властивостей матеріалів, що розділяються.

До термічних способів переробки і знешкодження відходів належать піроліз, газифікація і вогняний спосіб. Піроліз – процес розкладання органічних сполук за високих температур за відсутності або нестачі кисню (повітря). За цим методом все ще переробляються відходи пластмас, гуми, шлами нафтопереробки та ін. Унаслідок піролізу органічних речовин утворюється піролізний газ (суміш водню H_2 , метану CH_4 і чадного газу CO), а також смоли і твердий кубовий залишок. Головною його перевагою є те, що він, як правило, не містить сполук Сульфуру і може бути отриманий унаслідок переробки відходів.

Отже, залежно від температури розрізняють такі види піролізу:

– низькотемпературний (450–550 °С), за якого спостерігається максимальний вихід смол і твердого залишку, але мінімальний вихід

піролізного газу;

– середньотемпературний (до 800 °С), за якого дещо збільшується вихід піролізного газу (хоча зменшується його теплота згоряння), а вихід смол і твердого залишку скорочується;

– високотемпературний (900–1050 °С), за якого сильно зменшується вихід рідких продуктів і твердого залишку, а збільшується вихід піролізного газу, але з невисокою теплотою згоряння. Існують і інші методи високотемпературного піролізу (до 1700 °С).

Інший спосіб – газифікація – термохімічний високотемпературний процес взаємодії органічних сполук зі повітрям, водяною парою, діоксидом Карбону CO_2 та/або їх сумішами, унаслідок чого ці сполуки перетворюються на горючий газ. Вогняний спосіб полягає у спалюванні горючих відходів і вогняній обробці негорючих складових відходів (переплавлення металобрухту, металургійних шлаків, спікання гальванічних шлаків тощо).

Вилуговування засноване на вилученні цінних компонентів з відходів завдяки їх вибіркового розчинення в певному розчиннику (вилучення цінних металів із шлаків, переробка відходів гірничодобувної промисловості тощо). Розрізняють просте розчинення і вилуговування, яке супроводжується хімічною взаємодією, а швидкість вилуговування залежить від концентрації речовин-реагентів, температури, розмірів поверхні поділу фаз, наявності та інтенсивності перемішування тощо.

Механічному зневодненню піддають, наприклад, осади стічних вод, гальванічні шлами та інші відходи, насичені водою. Для поліпшення водовіддачі застосовують попередню обробку відходів (реагентними або безреагентними способами). Наприклад, як реагенти можна застосовувати вапно, солі Феруму та/або Алюмінію. Безреагентна обробка, своєю чергою, передбачає теплову обробку, заморожування і відтаювання або введення, наприклад, тирси до складу відходів іта ін.

Теплова обробка передбачає нагрівання відходів до (170...200) °С; при цьому більша частина органічної речовини розкладається, а осад стає більш

щільним і краще віддає воду. Основними способами механічного зневоднення є фільтрування, центрифугування і пропускання пульпи через гідроциклон.

Серед способів розміщення твердих промислових відходів найбільш відомі гідравлічний і сухий способи. Гідравлічний спосіб застосовують, як правило, для відходів, які утворюються при мокрому способі збагачення (пил, зола ТЕС, що затримують мокрим способом, шлами, сильно насичені водою). Пульпу певної консистенції (суспензія, що є сумішшю твердих дисперсних частинок і води; консистенція пульпи це співвідношення маси твердих частинок і рідини (Т : Р)) транспортують трубопроводами, а далі випускають до сховища..

Сховища відходів це хвосточисламосховища, гідровідвали, шламонакопичувачі та ін. Вони можуть бути, наприклад, заплавними, балочними, косогірними, рівнинними чи улоговинними. Будь-яке сховище зазвичай містить у своєму складі огорожувальну дамбу, надводний і підводний пляжі, ставок-відстійник, пульповоди (трубопроводи), водоскидні колодязі, водоспускні колектори, дренажну канаву і насосні станції. На надводному пляжі здійснюється фракціонування дрібних частинок відходів (внаслідок різниці за розміром і густиною). Зокрема, біля випуску пульпи зазвичай відкладаються більш крупні й, відповідно, важчі частинки, а до ставка вже потрапляють дрібніші й більш легкі частинки. У ставку реагентним або безреагентним способами відбувається освітлення стічної води, яку, як правило, повторно використовують у системі водопостачання підприємства.

Загальновідомо, що сховища відходів займають і забруднюють величезні території, причому, нерідко забрудненню підлягають і сільськогосподарські землі. Відбувається пиління з поверхонь надводних пляжів, іноді спостерігається підтоплення прилеглих територій і забруднення підземних вод.

Сухий спосіб розміщення відходів залежить від виду транспорту, який використовується. Найчастіше для цього застосовують автомобільний транспорт, хоча на підприємствах гірничодобувної промисловості використовують і залізничний транспорт, а також відвалоутворення відходів

здійснюють вагонетками (скипами), що перекидаються, канатними підвісними дорогами, конвеєрним транспортом тощо). Відсипання відвалів за допомогою вагонеток проводиться відкочуванням їх похилим рейковим шляхом (кут підйому вагонеток і крутизна укосу становить близько 20°). У міру відсипання відвалу похилі шляхи нарощують; їх називають конічними відвалами або териконами. Такі відвали зазвичай обмежують продуктивність відсипання і застосовуються при невеликій відстані транспортування (рис. 1.13). Висота відвалів становить (15...30) м.

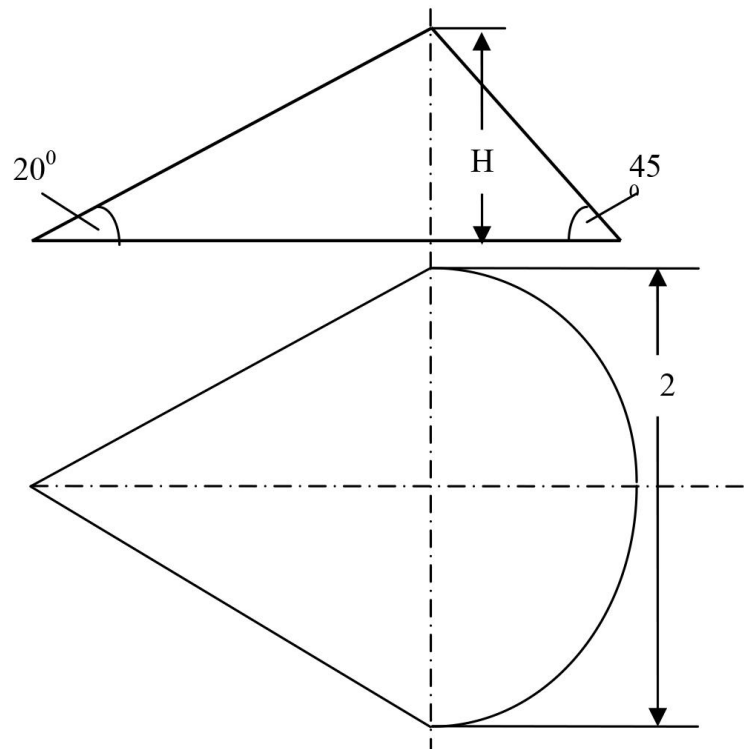


Рис. 1.13 Схема терикону [6].

Отже, відвали можуть бути як конусними (формуються при одній кінцевій щоглі (щогла (мачта) – високий стовп, прямовисна (вертикальна) або похила конструкція, звичайно підтримувана розтяжками), так і штабельними (формуються за допомогою декількох щогл), а також однопроменевими і багатопроменевими. При відсипанні відвалів на повну висоту без пошарового ущільнення відбувається сегрегація матеріалу – розділення за розмірами частинок матеріалу по висоті відвалу. Так, у верхній частині відкладаються

дрібніші й легші фракції матеріалу, а у нижній частині – накопичуються більші й важчі фракції. Відвальний метод розміщення відходів вимагає значних первинних капітальних витрат на спорудження щогл.

1.10. УТИЛІЗАЦІЯ І ЗНЕШКОДЖЕННЯ ВІДХОДІВ ГАЛЬВАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

Усі відходи гальванічних виробництв, як правило, є дуже небезпечними, але містять певну кількість цінних складових, тому їх відносять до цінних вторинних ресурсів. При цьому більшість відходів гальванічних виробництв належать до речовин 1–3 класів небезпеки. Проте утилізація і ефективна переробка цієї категорії відходів значно гальмується через відсутність економічно вигідних і екологічно дружніх технологій. Важливим є і те, що ці відходи потрапляють на переробку не окремо, а в комплексі з іншими відходами, як правило, у місцях їх видалення.

Унаслідок перебігу корозійних процесів з часом змінюються структура і стан поверхні металу, відбувається його часткове або навіть повне руйнування. Корозійні процеси є основною причиною аварійних зупинок трубопроводів, виходу з ладу промислового обладнання, очисних споруд тощо. Зрозуміло, що це призводить до значних економічних втрат, які, як правило, супроводжуються багатьма негативними наслідками, в тому числі й для навколишнього середовища та здоров'я людей.

Так, безпека експлуатації трубопроводів при будь-якому способі їх прокладання (наземному, підземному, підводному тощо) завжди передбачає їх безаварійну роботу на всьому періоді експлуатації. Проте навіть для найбільш стійких до корозії сплавів завжди існує корозійна небезпека при експлуатації обладнання в агресивних середовищах, наприклад, на вологому повітрі, у водоймі (морській воді), вологому кислому ґрунті тощо. Більш того, газо-,

нафто- і водопроводи підлягають одночасному впливу не тільки зовнішніх, а і внутрішніх чинників.

Сталь – сплав заліза з вуглецем, що містить до 2 % вуглецю. При звичайній температурі сталь складається з часток фериту (твердий розчин проникнення вуглецю та легуючих домішок у α -залізо) і цементиту Fe_3C , які утворюють окремі зерна або суміш, яку називають перлітом. Як легуючі компоненти до сталей у кількості до 30 % вводять домішки алюмінію, ванадію, вольфраму, кремнію, марганцю, міді, молібдену, нікелю, титану, хрому та деякі інші компоненти. З високолегованих сталей у будівництві застосовують здебільшого високостійкі до корозії хромонікелеві нержавіючі сталі, до складу яких входять (17...20) % хрому, (8...11) % нікелю і (0,1...0,2) % вуглецю.

Окиснення (корозії) сталі і чавуну, на відміну від окиснення чистого заліза, супроводжує процес зневуглицювання (розкладання часток цементиту Fe_3C), швидкість якого значно зростає з підвищенням температури. Зневуглицювання сталі відбувається також і при її контакті з газовим середовищем, яке містить вуглекислий газ CO_2 , кисень O_2 , водяну пару тощо, що різко знижує міцність сталі. А за присутності в газовому середовищі водню H_2 спостерігається ще й «воднева крихкість» металу. Для підвищення стійкості сталей до впливу зазначених домішок до їх складу вводять такі легуючі компоненти, як хром, алюміній, марганець і вольфрам; а підвищення вмісту вуглецю у сталі надає змогу сповільнити процес зневуглицювання.

Для захисту металевих конструкцій від корозії у неелектролітних середовищах використовують, як правило, корозієстійкі високохромисті сталі; ефективним є також нанесення захисних покриттів разом з очищенням матеріалу від домішок і води. Електрохімічна корозія металів відбувається у розчинах електролітів – речовинах, що здатні дисоціювати на іони і проводити за рахунок цього електричний струм. До таких електрохімічних середовищ належать, зокрема, звичайна атмосфера (атмосферна корозія); підземне середовище (підземна корозія); середовище, в якому діють блукаючі струмені

(наприклад, трамвайні шляхи або обладнання в метро); водне середовище (річкові, морська, стічні води, технологічні рідини тощо).

Механізм електрохімічної корозії (руйнування матеріалу відбувається за рахунок утворення так званих електрохімічних гальванічних пар) подібний до механізму роботи гальванічного елемента (ГЕ). Отже, під час електрохімічної корозії одночасно протікають дві електродні напівреакції – анодна (окиснення) і катодна (відновлення). Основними чинниками, що впливають на швидкість атмосферної корозії трубопроводів при їх наземному прокладанні, є ступінь зволоженості поверхонь металів та їх забрудненість різноманітними домішками, температура, а також наявність у повітряному середовищі солей, зокрема, натрій хлориду NaCl , а також газоподібних речовин – оксидів Сульфуру, Карбону, Нітрогену тощо.

Отже, практично при всіх способах прокладання, крім наземного, трубопроводи обов'язково потребують захисту від корозії, причому, як захисними покриттями (це так званий «пасивний захист»), так і спеціальними засобами електрохімічного захисту (активний захист). Наприклад, при наземному спорудженні трубопроводів їх захищають від атмосферної корозії металевими і неметалевими покриттями відповідно до нормативних документів на ці покриття.

У більшості випадків електрохімічні корозійні пари утворюються внаслідок окиснення металу і відновлення іонів Гідрогену або атомів Оксигену в електролітному водному (або вологому) середовищі. У такому випадку в ролі катодів виступатимуть струмопровідні домішки в металах, що мають більш позитивний електродний потенціал порівняно з основним металом. Реальна можливість протікання процесів електрохімічної корозії пов'язана з тим, що всі технічні метали і сплави є неоднорідними як за структурою, так і за складом. Як зазначалось, основним компонентом сталей є ферит ($\alpha\text{-Fe}$), проте завжди присутні й включення цементиту Fe_3C і графіту C , які мають більш позитивні значення електродних потенціалів порівняно з феритом. Така неоднорідність металу при його контакті з розчинами електролітів призводить до виникнення

на поверхні численних гальванічних короткозамкнених елементів (гальванічних пар), у яких анодами служать феритні ділянки, а катодами – включення цементиту і графіту.

Атмосферна корозія є найбільш поширеним видом електрохімічної корозії, оскільки майже 80 % конструкцій і споруд експлуатуються в атмосферних умовах. Залежно від відносної вологості повітря (W), розрізняють такі види «корозійної атмосфери», як: суха ($W < 60 \%$); нормальна ($W = (61...75) \%$) та волога ($W > 75 \%$). Таким чином, основними методами захисту металів і сплавів від атмосферної електрохімічної корозії є нанесення на їхню поверхню спеціальних покриттів у вигляді плівок металу або інших речовин – органічних та/або неорганічних.

З металевих покриттів для захисту конструкцій і обладнання у слабо- і середньоагресивних середовищах найбільше поширення набули цинкові і алюмінієві покриття, оскільки у цих металів електродний потенціал значно менший за електродний потенціал заліза (сталі). В цьому разі захисні плівки, будучи анодами, надійно будуть захищати сталь від електрохімічної корозії.

При експлуатації трубопроводів підземного залягання можлива ґрунтова корозія металів (сплавів), яка може протікати як з доступом, так і без доступу повітря. Крім того, за такої конструкції трубопровід може піддаватися і електрокорозії під дією блукаючих струмів, а також біокорозії.

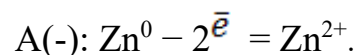
Особливістю ґрунтів є їх структурна і хіміко-мінералогічна неоднорідність, оскільки у структурному відношенні вони представлені твердою, рідкою і газоподібною фазами одночасно. Тому корозійнонебезпечними об'єктами у ґрунтах є не тільки нафто-, газо- і водопроводи, а й каналізаційні та теплові мережі, заглиблені резервуари, ємкості, опори, інші споруди і конструкції, особливо ті, для виготовлення яких застосовувалися маловуглецеві і низьколеговані сталі.

Ґрунтовий електроліт і ґрунтові (поверхневі) води можуть мати різну мінералізацію. Але загальновизнаним фактором, що визначає корозійну активність ґрунтів, є їх кислотність (водневий показник рН) і вміст хлорид-

іонів Cl^- , сульфат-іонів SO_4^{2-} , а також карбонатної (вугільної) кислоти H_2CO_3 . Для заліза і сталей мінімальна агресивність ґрунтів спостерігається при $\text{pH} = 12\text{--}14$, для алюмінію – $\text{pH} = 6\text{--}7$, цинку – $\text{pH} = 11,0\text{--}11,5$. Максимальною є агресивність ґрунтів зі зниженим значенням кислотності $\text{pH} \approx 3$, що особливо характерно для болотистих і торф'яних ґрунтів.

Із зовнішніх факторів впливу на корозійну стійкість металів варто зазначити вплив температурного режиму, оскільки підвищення температури ґрунтового електроліту значно прискорює електрохімічні процеси, а промерзання ґрунту дещо сповільнює їх, проте не припиняє зовсім.

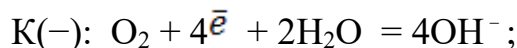
Механізм електрохімічної корозії металів і сплавів нагадує механізм роботи звичайного ГЕ, але електролітним середовищем у цьому випадку є природні об'єкти (повітряне середовище, ґрунтові води тощо), а не спеціально підібрані електроліти точно визначеної концентрації. Зрозуміло, що виникнення таких ГЕ є небажаним явищем, оскільки призводить до втрати нативних властивостей металів, погіршення показників міцності, іржавіння поверхонь тощо. Наприклад, якщо маємо оцинковане залізо, то внаслідок електрохімічної корозії руйнуватися буде цинк (цинкове покриття) як метал, що має менший стандартний електродний потенціал φ^0 (Додаток А):



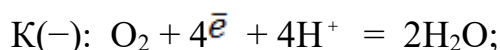
Отже, цинкове покриття і для сталі, і для заліза є анодним покриттям, яке захищатиме цільовий метал навіть при порушенні цілісності покриття.

У цьому випадку на катоді (тобто на залізі) із електроліту корозійного середовища має відновлюватись електрохімічна система з найбільшим потенціалом. Це може бути, наприклад, кисень повітря або розчинений у воді кисень, а також іони Гідрогену H^+ кислот, лугів або води. Отже, спрощено найпоширенішими окисниками у водних (вологих) середовищах є Оксиген та іон Гідрогену H^+ . Для вищенаведеного прикладу електрохімічної корозії катодні процеси можуть бути записані такими напіврівняннями:

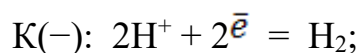
а) у нейтральному і лужному вологому середовищі, що містить повітря або кисень (аероване середовище):



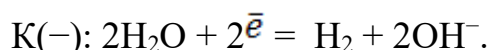
б) у кислому середовищі, що містить повітря (аероване кисле середовище):



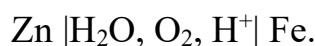
в) у кислому середовищі за відсутності кисню чи повітря (деаероване кисле середовище):



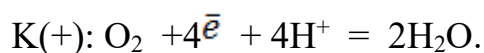
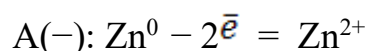
г) у нейтральному та лужному середовищах за відсутності кисню чи повітря (деаероване середовище):



Наприклад, повна схема корозійного гальванічного елементу (корозійної гальванічної пари) для оцинкованого заліза у кислому середовищі, що містить кисень або повітря, має такий вигляд:



При цьому воду у схемі можна не записувати, оскільки іони Гідрогену H^+ існують саме у водному середовищі. Рівняння первинних електродних процесів у цьому випадку будуть мати такий вигляд:

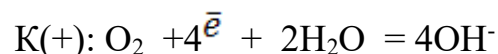
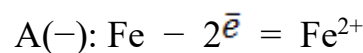
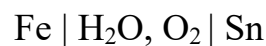


Отже, у розглянутому прикладі електрохімічної корозії кородувати (руйнуватися) буде цинкове покриття, а залізо (сталь) залишиться захищеним.

Унаслідок вторинних процесів, які перебігають у системі, іони Цинку Zn^{2+} утворюють сіль з відповідними кислотними залишками, які містяться у електролітному середовищі (або гідроксид Цинку у сильно лужному середовищі). Але у випадку, якщо б покриттям для сталі було, наприклад, олово (луджене залізо), то корозійні процеси будуть відбуватися вже за участю заліза (сталі), причому, руйнування металу відбудеться навіть більш активно, ніж у чистому залізі (сталі) без покриття оловом. Це зумовлено тим, що стандартний електродний потенціал заліза значно менший за стандартний електродний потенціал олова:

$$\varphi_{Fe^{2+}/Fe}^0 = -0,44 \text{ В}; \quad \varphi_{Sn^{2+}/Sn}^0 = -0,14 \text{ В (див. Додаток А)}.$$

Отже, залізо у парі з оловом буде анодом (буде окиснюватися), а тому буде кородувати за схемою:



На практиці для захисту матеріалу трубопроводів, обладнання, очисних споруд тощо від хімічної та електрохімічної корозії використовують різні види ізоляційних покриттів: різноманітні ґрунтівки, мастики бітумно-гумові і бітумно-полімерні, обгортання полімерною липкою стрічкою в один, два або три шари, обмотку із склохолстину та ін.

Процес електрохімічної корозії металевих конструкцій можна попередити також шляхом забезпечення спеціальних пристроїв електрозахисту. Такий електрохімічний захист базується на керуванні струмами, що виникають при

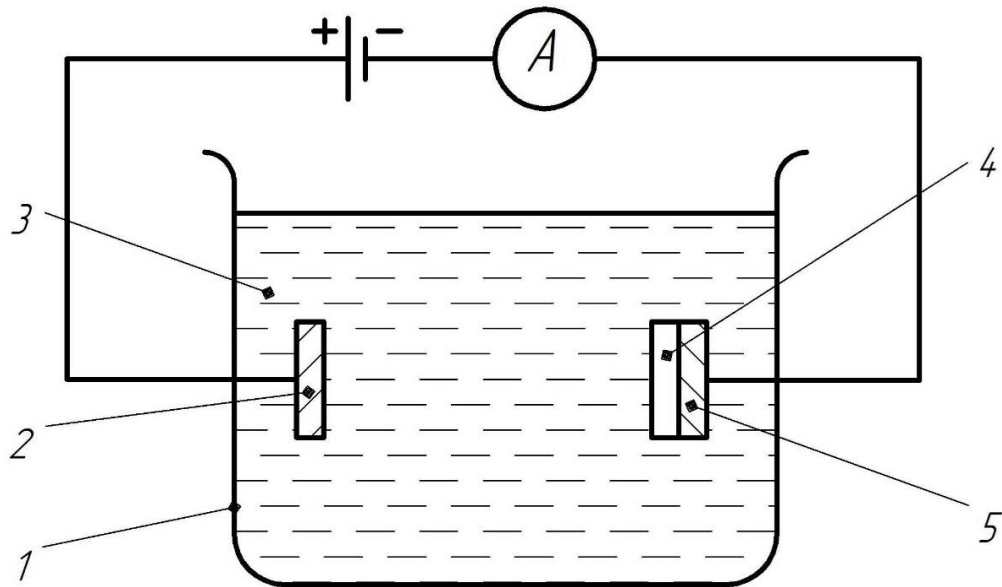
електрохімічній або електричній корозії металів. У цьому разі за допомогою додаткових джерел струму компенсують струм електрохімічних процесів, що виникає внаслідок корозії. Електродний потенціал, при якому припиняється корозія металу, називають захисним, оскільки в цьому разі різниця потенціалів між катодом і анодом (сумарна електрорушійна сила створеного ГЕ) дорівнюватиме нулю ($E = 0$).

Підсумуємо. Для захисту металів і сплавів від електрохімічної корозії, як правило, застосовують два основні способи: катодний і протекторний (анодний) захист. Катодний захист передбачає наявність спеціального джерела постійного струму. До негативного полюсу джерела струму підключають конструкцію, яку потрібно захистити, і вона стає катодом по відношенню до додаткового електроду, який і буде руйнуватися, захищаючи конструкцію від корозії. При цьому як додатковий електрод (анод) застосовують, наприклад, старі металеві рейки, труби, пластини та ін., які з часом замінюють у міру їх руйнування.

Принцип протекторного захисту базується на тому, що матеріал електрода-протектора має більш негативний (значно менший) електродний потенціал, а тому виконує роль анода у гальванічній парі з конструкцією, яку він захищає. Протектор виготовляють, як правило, з цинку, алюмінію або магнієвого сплаву у вигляді пластин або циліндрів і з'єднують з конструкцією, яку захищають, ізольованим проводом. На цьому ж принципі засновано використання спеціальних протекторних фарб, що містять зерна більш активного металу.

Розглянемо осадження шару металу на поверхні металевого виробу в електролітичній ванні (рис. 1.14). Гальванічні покриття це шари металів, які наносять за допомогою електричного струму на поверхню виробів, деталей тощо для підвищення їх корозійної стійкості, зносостійкості, поліпшення декоративного вигляду тощо. Для створення гальванічного покриття на поверхні металу необхідно у водний (найчастіше) розчин солі металу помістити металічну пластину і виріб, на який буде наноситися покриття. До пластини і виробу підводять постійний електричний струм. При цьому пластина стане

анодом (у цьому випадку – позитивно заряджений електрод, на якому відбуватимуться процеси окиснення), а виріб – катодом (негативно заряджений електрод, на якому відбуватимуться процеси відновлення, а саме – осадження покриття).



1 – ванна; 2 – анод; 3 – електроліт; 4 – осаджувана плівка; 5 – катод

Рис. 1.14 Конструктивна схема електролітичної ванни [12].

З'ясуємо суть окисно-відновних процесів, що відбуваються в електролізері. Так, у водних розчинах молекули більшості солей, кислот і лугів (сильних електролітів) дисоційовані на іони. Причому, сильні електроліти у водних розчинах дисоційовані повністю, а слабкі – частково. Отже, розчинення і електролітична дисоціація речовин-електролітів у водному середовищі є першою стадією технологічного процесу електрохімічного осадження металів і утворення металевих покриттів.

Друга стадія процесу полягає в тому, що під впливом електричного струму відбувається перенесення утворених іонів з розчину електроліту до електродів. А на третій стадії одночасно відбуваються обидва види перетворень (напівреакцій) – на аноді звільняються електрони (відбувається процес окиснення), а на катоді електрони приєднуються (відбувається процес

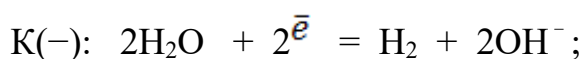
відновлення). Четверта і остання стадія процесу – дифузія адсорбованих атомів по поверхні електроду до місця росту плівки і втілення їх у кристалічну ґратку металу.

Таким чином, утворення шару гальванічного покриття (по суті процес електролізу) це сукупність окисно-відновних процесів, які відбуваються на електродах (катоді та аноді) при проходженні постійного електричного струму крізь розчин (або розплав) електроліту.

Розглянемо деякі особливості *катодних процесів* при електролізі. Під час отримання гальванічного покриття виріб, який є катодом, приєднаний до негативного полюсу джерела постійного електричного струму. При цьому потенційно відновлюватися у водному середовищі можуть як позитивно заряджені йони (катіони) металу Me^{n+} , так і йони Гідрогену (протони) H^+ (з кислоти – у кислому середовищі) або йони Гідрогену води ($H^+ - OH^-$) (у нейтральному та лужному середовищах).

Враховуючи, що електродний потенціал ϕ водневого електроду лінійно залежить від кислотності середовища і перенапруги виділення водню та може змінюватись у межах від -1,6 В до -0,41 В, можна дійти таких висновків:

– якщо електродний потенціал ϕ металу менший за -1,6 В, то на катоді будуть відновлюватися тільки катіони Гідрогену води ($H^+ - OH^-$) згідно рівняння напівреакції:

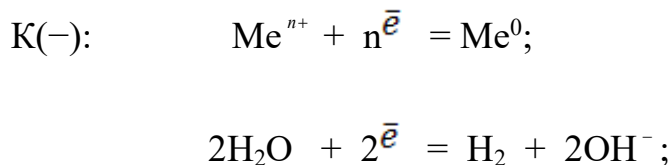


при цьому середовище буде лужним ($pH > 7$).

– якщо електродний потенціал ϕ металу більший за -0,41 В, то на катоді будуть відновлюватися тільки йони металу згідно рівняння:



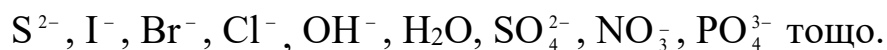
– якщо електродний потенціал ϕ металу знаходиться в межах від -1,6 В до -0,41 В, то відновлюються одночасно іони металу та іон Гідрогену з води:



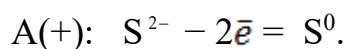
при цьому середовище буде також лужним ($\text{pH} > 7$).

Отже, змінюючи умови технологічного процесу електролізу (концентрацію розчину солі металу, кислотність середовища, густину струму або матеріал електроду), можна досягти того, що відновлюватися на катоді буде тільки цільовий метал (тобто утворюватиметься бажане металеве покриття).

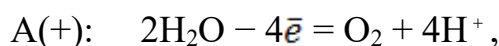
На анодах (зокрема, інертних) окиснюються негативно заряджені іони (аніони), а саме: кислотні залишки і атоми Оксигену води. Або у разі розчинного (активного) аноду руйнується матеріал (метал) аноду (це так званий розчинний анод). Отже, процес окиснення має відбуватися при мінімальному значенні електродного потенціалу анода. Тоді можна скористатися *емпіричним правилом «простого аніону»*, яке надає послідовність окиснення аніонів на аноді: чим простіше за складом аніон, тим менший електродний потенціал він має і тим легше буде окиснюватися:



Напрямок зростання електродних потенціалів ϕ у наведеному ряді – зліва направо. Тобто, якщо у водному розчині є «прості» аніони, то саме вони будуть окиснюватися у першу чергу. Наприклад:

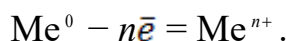


Але якщо їх у розчині немає, то окиснюється Оксиген води за рівнянням напівреакції:



і розчин буде кислим ($pH < 7$).

Проте, якщо анод виготовлений з металу (активний, розчинний анод), який має потенціал менший за потенціал окиснення Оксигену води ($\varphi < 0,82 \text{ В}$), то відбуватиметься окиснення металу (тобто матеріалу анода):



Осадження металів на катоді чи розчинення їх на аноді відбувається у відповідності до *закону Фарадея*: кількість речовини, яка виділилася на катоді чи розчинилася на аноді, прямо пропорційна кількості електрики, що пройшла через розчин ($Q = I \tau$). Отже, кількісно масу речовини, що виділяється (перетворюється) під час електролізу, можна розрахувати за об'єднаним законом Фарадея:

$$m(x) = \frac{M(x)I\tau}{nF}, \quad (1.13)$$

де $m(x)$ – маса речовини, що утворилась (виділилася) при електролізі на певному електроді (аноді чи катоді), г;

$M(x)$ – молярна маса 1 еквівалента речовини, що зазнала перетворення, г/моль;

I – сила струму, А;

τ – час проведення електролізу, с;

n – кількість електронів, що беруть участь в електродному процесі;

F – стала Фарадея ($\approx 96500 \text{ А}\cdot\text{с}$ або Кл/моль).

Таким чином, середню товщину покриття, що утворюється (осаджується) на поверхні цільового металу, можна розрахувати, знаючи силу струму, час нанесення покриття, площу поверхні, яка обробляється, а також хімічний еквівалент металу, який використовується для нанесення покриття. Існує ще один чинник, який вельми сильно впливає на результати розрахунку товщини покриття – це коефіцієнт корисної дії (ККД) катода під час електроосадження. Наприклад, для міді значення ККД наближається до 100 %, якщо осадження здійснюється з кислотного розчину купрум(II) сульфату. Однак для іншого розчину чи металу ККД може бути значно меншим і сягати, наприклад, для хрому всього (8...18) %.

Окрім того, товщина осаду значно залежить від відстані між анодом і катодом. Здатність розчину електроліту при нанесенні гальванічних покриттів долати цю залежність називається його розсіювальною здатністю (або макророзсіювальною здатністю). Наприклад, мідь є металом із гарною розсіювальною здатністю, тоді як хром – метал з поганою розсіювальною здатністю.

На цю властивість (розсіювальну здатність) може вплинути навіть склад самої гальванічної ванни і режим її роботи, а через обмежену розсіювальну здатність на товщину осаду впливатиме також і форма поверхні виробу, який обробляється. Так, товщина осаду (покриття), як правило, збільшується на гострих краях і виступах деталі і незначно зменшується в заглибленнях і впадинах.

На початковій стадії утворення покриття у його кристалічній структурі можуть утворитися певні дефекти (наприклад, пори). За умови, що робочі параметри процесу електроосадження забезпечують оптимальні умови для зростання осаду (покриття), ці дефекти, як правило, усуваються при збільшенні товщини осаду. Пори зазвичай зникають, якщо товщина покриття сягає кількох мікрометрів.

У багатьох технологічних процесах нанесення гальванічного покриття на катоді, крім металу, виділяється також і водень. Це є причиною того, що

практично виділена кількість металу покриття є завжди меншою, ніж його маса, розрахована теоретично за об'єднаним законом Фарадея. Це зменшення виходу характеризують за допомогою показника, який має назву «вихід за струмом».

Гальванічні покриття можуть формуватися з чистих металів або їх сумішей, сплавів і металів, що змішані з неметалевими речовинами (так звані композиційні електрохімічні покриття). Отже, за допомогою електрохімічного осадження, як правило, наносять покриття цинку, нікелю, олова, міді, хрому та інших металів (сплавів) для отримання декоративних, зносостійких, корозійностійких поверхонь, а також для відновлення деталей машин, механізмів, що підлягають тертю. Наприклад, покриття міді використовують для створення декоративних покриттів, струмопровідних шарів, мідної фольги, а також для створення проміжного м'якого прошарку на поверхнях деталей, які зварюються методом дифузійного зварювання у вакуумі.

Електроліти, які зазвичай використовують для осаджування міді, можна розділити на два основні класи: кислі і комплексні, в яких мідь знаходиться у вигляді негативно чи позитивно заряджених комплексних іонів. Проте, у кислих електролітах неможливо осаджувати мідь на ті метали, які є більш електронегативними порівняно з нею.

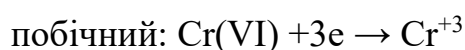
Розглянемо склад сірчаноокислого електроліту і технологічні умови проведення гальванічного процесу міднення (нанесення покриття міді на поверхню металу):

- купрум(II) сульфат (мідний купорос) – (200...250) г/л;
- кислота сульфатна (50...70) г/л;
- температура (15...25) °С;
- густина струму (0,1...0,3) А/мм²;
- швидкість осадження (0,2...0,6) мкм/хв.

Покриття з хрому застосовують для декоративних покриттів, підвищення твердості (міцності) і жаростійкості поверхні металу, а також для утворення поверхонь, які добре відбивають світло. Хромові покриття є зазвичай пористими, тому під ними на чорних металах згодом створюються умови для

перебігу корозійних процесів. У такому разі для підвищення антикорозійної стійкості металевих виробів застосовують багатошарове покриття, наприклад, мідь-нікель-хром або нікель-мідь-нікель-хром.

При цьому склад електролітного розчину для хромування металів залежить від властивостей плівки хрому, яку потрібно одержати. Отже, електролітами для хромування (залежно від виду і бажаного кольору покриття) можуть бути хромовий ангідрид Cr^{+6}O_3 , сульфатна H_2SO_4 та оцтова CH_3COOH кислоти, кальцій ацетат $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ або натрій гідроксид NaOH . Основні та побічні катодні і анодні напівреакції спрощено мають такий вигляд:



Якість хромового покриття при цьому вельми сильно залежить від температури електролітного середовища. Так, робоча температура електроліту для хромового декоративного покриття становить $(35\dots40)^\circ\text{C}$, причому, якщо температура робочого процесу становить $(30\dots55)^\circ\text{C}$, то поверхня покриття стає блискучою. При температурі нижче 30°C хромове покриття набуває матового відтінку, а при температурі вище $(55\dots80)^\circ\text{C}$ – молочного. У хромових гальванічних ваннах анодами, як правило, служить свинець або сплав свинцю $\sim 93\%$ і сурми $\sim 7\%$. Після нанесення покриття всі деталі піддають контролю для визначення його товщини і рівномірності нанесення; проводиться також огляд зовнішнього вигляду покриття виробу. Якщо встановлено, що покриття неякісне, то його видаляють (як правило, змивають) і наносять заново.

Видалення неякісного хромового покриття здійснюють або хімічним, або електрохімічним способами. Хімічний метод полягає в розчиненні покриття у $(5\dots20)\%$ -му розчині гідроген хлориду HCl (соляна кислота) при температурі

від 20 до 70 °С. При видалення хромового покриття з поверхні сталі необхідно обов'язково вводити у розчин НСІ специфічні інгібітори (сповільнювачі процесу), оскільки внаслідок небажаної хімічної взаємодії можливим є розтравлювання і наводнювання сталі.

Швидкість розчинення хрому у розчині соляної кислоти НСІ залежить від її концентрації і температури процесу та коливається у межах (100...200) мкм/год. Після видалення хрому з поверхні сталевих деталей необхідно проводити зневоднювання виробу упродовж (2...2,5) год при температурі приблизно (200...250) °С.

Електрохімічний спосіб видалення хрому з поверхні сталевих виробів є більш безпечним у порівнянні з хімічним. Він є особливо ефективним при знятті товстих хромових покриттів саме з сталевих деталей. Розчин для зняття покриття містить приблизно (100...150) г/л натрій гідроксиду NaOH або калій гідроксиду KOH. Обробку проводять зазвичай на аноді, використовуючи як катоди сталеві пластини. Температура процесу складає близько (20...35) °С, а анодна густина струму – (5...20) А/дм². Небезпечною обставиною такого технологічного процесу є наявність у розчині хлоридів, здатних спричинювати розтравлювання і потемніння сталі, а також корозію матеріалу і обладнання. Зняття хрому з сталевих деталей можна зробити і у відпрацьованому електроліті хромування при анодній густині струму приблизно (15...20) А/дм².

Особливістю багатьох гальванічних процесів є побічний процес виділення водню на катоді. Молекули водню, отримані відновленням іонів Гідрогену (з кислоти) або Гідрогену з води, можуть виділятися в газоподібному стані. При цьому як водень, так і Гідроген в атомарному стані можуть дифундувати у покриття та/або навіть у основний метал. Окрім того, виділення на катоді бульбашок водню може спричинити утворення порожнин, нерівних осадів та/або осадів із кристалічними дефектами. З метою усунення цього недоліку потрібно видаляти водень з поверхні катода, наприклад, перемішуванням розчину.

Якщо водень, який виділяється на катоді, поглинається покриттям або основним металом, це може зумовити «водневе крихке руйнування». Це явище спостерігається здебільшого при покритті високоміцних сталей цинком або кадмієм. У таких випадках термічна обробка матеріалу після нанесення покриття надає змогу видаляти водень і одночасно запобігати утворенню тріщин і порожнин. Перспективним напрямом розвитку технологій нанесення гальванічних покриттів є композиційні електрохімічні покриття, які складаються з металевої матриці і тонкодисперсних частинок іншої фази, розподілених в її об'ємі. Розмір таких частинок становить приблизно (0,01...50) мкм, а об'ємна частка – (1...50) %.

Відомо, що гальванічне виробництво посідає одне з перших місць серед виробництв, що забруднюють навколишнє природне середовище. При цьому токсичність металів покриття значною мірою залежить від того, у вигляді яких хімічних сполук вони знаходяться. Наприклад, сполуки Хрому Cr(VI) належать до найбільш небезпечних, отруйних речовин і мають сильну окиснювальну здатність. Вони впливають на живі організми і чинять кумулятивну мутагенну, канцерогенну, алергенну й загальнотоксичну дії. Отже, відходи гальванічних виробництв залежно від джерел утворення розподіляють на такі види:

- 1) відпрацьовані концентровані технологічні розчини, наприклад:
 - відпрацьовані електроліти нанесення покриттів (у таких розчинах електролітів поступово накопичуються залишки металів, механічні домішки, які здатні значно погіршити якість покриття);
 - розчини зняття покриттів;
 - лужні і кислі травильні розчини та ін.;
- 2) промивні води та
- 3) гальванічні шлами.

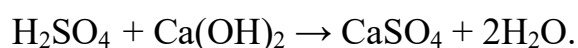
Окремо можна зазначити відпрацьовані або змінні електроди.

Зазначимо, що для багатьох економічно розвинутих країн, особливо бідних на власні природні ресурси, такі відходи розглядаються як одне з основних джерел кольорових металів.

Вода в цехах для гальванопокриттів витрачається на приготування електролітів і травильних розчинів, промивку деталей, а також на охолодження гальванічних ванн і джерел струму. За вмістом домішок стічні води гальванічних підприємств можна розподілити на такі:

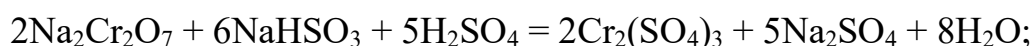
- лужні (розчини, що утворюються після знежирення виробів);
- кислотні (технологічні рідини після травлення виробів, кислотного міднення, нікелювання, цинкування тощо);
- хромові (розчини після процесів хромування і пасивації);
- фторидні (розчини, що утворюються після процесів травлення і лудіння).

Відпрацьовані розчини, які мають цінні компоненти, як правило, повертаються у технологічний процес (регенерація). При неможливості повторного використання їх знезаражують окремо або сумісно з промивними стічними водами. Кислі і лужні стічні води очищають переведенням іонів, що містяться в них, у малорозчинні та/або малодисоційовані сполуки, як правило, хімічним способом (процес нейтралізації). Кислі розчини нейтралізують 10 %-м розчином натрій гідроксиду NaOH або вапняним молоком Ca(OH)₂ за схемою:

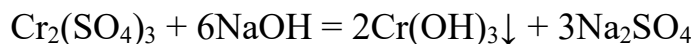


Лужні розчини зазвичай нейтралізують кислотами. Хромові стічні води очищують або реагентним (хімічним) способом, або із застосуванням методу електрокоагуляції. Хімічне очищення хромових стічних вод проводять, як правило, у дві стадії:

I стадія: Cr(VI) відновлюють до Cr⁺³ натрій гідросульфідом NaHSO₃:



II стадія: переведення іонів Cr⁺³ у малорозчинну сполуку дією розчином натрій гідроксиду NaOH:



Таким чином, основним і перспективним напрямком переробки відпрацьованих електролітів гальванічних виробництв, що містять, наприклад, цінні кольорові метали або інші корисні речовини, є їх регенерація з метою відновлення працездатності і повторного використання. Іншим напрямком залишається вилучення з цих відходів кольорових металів.

Методи очищення і регенерації відпрацьованих електролітів гальванічних виробництв передбачають зміну і коригування їх складу приблизно 1 раз на 3 місяці, а повну заміну електроліту – один раз упродовж 2-х–3-х років. Якщо на підприємстві проблеми переробки і утилізації відходів не вирішені, їх направляють на очисні споруди для подальшої нейтралізації.

Процес нанесення гальванічних покриттів складається з трьох основних технологічних операцій: підготовки деталей до нанесення гальванічного покриття, власне нанесення покриття і обробка деталей після нанесення покриття.

Розглянемо *підготовку деталей до нанесення гальванічного покриття*. Зчеплення шару покриття з металом виробу чи деталі здебільшого обумовлене силами міжмолекулярної взаємодії. Тому робочі поверхні, що підлягають покриттю (відновленню), необхідно обробляти до певної шорсткості, оскільки метал осаджується на катоді, який обов'язково має бути очищеним від домішок, чужорідних частинок, жирових і окисних плівок тощо. Тільки за таких умов покриття міцно зчеплюється з основним металом і не відшаровується від деталі чи виробу навіть під час руйнування.

Таким чином, підготовка деталей до нанесення гальванічного покриття включає такі технологічні операції, як:

- механічна обробка робочих поверхонь, що підлягають відновленню (покриттю);
- очищення робочих поверхонь від чужорідних частинок, жирових забруднень і оксидів;

- попереднє знежирення;
- монтаж деталей на спеціальний підвісний пристрій;
- ізоляція поверхонь деталі, виробу, що не підлягають покриттю;
- остаточне знежирення деталей (виробів) з подальшим промиванням у воді;
- травлення (активація).

Очищення і попереднє знежирення робочих поверхонь деталей від жирових забруднень і оксидів проводять, як правило, промиванням органічними розчинниками (бензином, гасом, уайт-спіритом та ін.). Для захисту поверхонь деталей, що не підлягають відновленню, застосовують, зокрема:

- цапонлак у суміші з нітроемаллю у відношенні 1:2 (його наносять у декілька шарів при пошаровому сушінні на повітрі);
- чохла з поліхлорвінілового пластикату товщиною (0,3...0,5) мм;
- різні футляри, втулки, екрани, виготовлені з неелектропровідних кислотостійких матеріалів (ебоніт, текстоліт, вініпласт та ін.).

Пластикат (джеон, кохінор, велвік, люколен) – м'який термопластичний матеріал на основі полівінілхлориду, який містить пластифікатор (до 1 мас. частини на 1 мас. частину полімеру), термо- і світлостабілізатори, антиоксиданти, змазки, барвники і пігменти, іноді спеціальні наповнювачі (каолін, аеросил, крейду та ін.). Під час остаточного знежирення з поверхні деталі (виробу) повністю видаляються жирові забруднення. Технологічний процес базується на тому, що всі жири під дією розчину гарячого лугу руйнуються і перетворюються на мила (процес омилення жирів). А мило, як правило, це натрієві солі вищих карбонових кислот, далі вже легко змивається гарячою водою з поверхні металу.

Мінеральні неомилювані жири, наприклад, масла, під дією лугу утворюють емульсії. При цьому суцільна масляна плівка розривається, і масло (олія) збирається в окремі краплини, які відділяються від поверхні деталей і залишаються в розчині у дрібнодисперсному стані. Для полегшення процесу

емульгування до розчину лугу вводять спеціальні речовини-емульгатори. Це, зокрема, рідке (розчинне) скло, поверхнево-активні речовини різної природи та ін.

Знежирення у розчинах лугів проводять хімічним або електрохімічним методами. Під час застосування хімічного методу деталі занурюють в гарячий розчин лугу і витримують у ньому певний час. Тривалість процесу становить приблизно (5...60) хв залежно від температури розчину і ступеня забруднення деталей (виробів). Для знежирення сталей і чавуну, як правило, застосовують розчин, що містить до 50 г/л натрій гідроксиду, (15...35) г/л суміші натрій ортофосфату Na_3PO_4 і кальцінованої соди Na_2CO_3 , а також (3...5) г/л рідкого скла (натрій метасилікату Na_2SiO_3). Приблизне значення показника кислотності (рН розчину) для чорних металів становить 12.

До різновиду хімічного знежирювання належить знежирення віденським вапном – сумішшю оксидів Кальцію і Магнію з додаванням 3 % кальцінованої соди Na_2CO_3 та (1...1,5) % натрій гідроксиду. Цю суміш розводять водою до кашоподібного стану, наносять на поверхню і протирають деталь (виріб) волосяною щіткою. Ця операція є досить трудомісткою, однак вона дає непогані результати, особливо в умовах невеликих підприємств.

Сутність електрохімічного знежирення полягає в тому, що вироби, занурені у розчин лугу, підключають до кола електричного струму як катод або як анод. На поверхні електродів бурхливо виділяються бульбашки газу (водень – на катоді або кисень – на аноді). Ці гази значно полегшують емульгування жирів і масел, механічно розривають і видаляють жирові плівки, прискорюючи тим самим процес емульгування у декілька разів.

Швидкість емульгування практично не залежить від концентрації і температури розчину, якщо вона знаходиться в межах (60...80) °С, а здебільшого визначається щільністю струму, що проходить через розчин і складає (3...10) А/дм². При цьому чим більше на поверхні металу жирових забруднень, тим більшою має бути величина щільності струму. Отже, для знежирення поверхні чорних металів рекомендовано застосовувати розчин, що

містить по (20...40) г/л натрій гідроксиду NaOH, натрій ортофосфату Na_3PO_4 і кальцінованої соди Na_2CO_3 з додаванням (3...5) г/л рідкого скла (натрій метасилікату Na_2SiO_3).

Електрохімічне знежирення можна проводити як на катоді, так і на аноді. Проте на катоді виділяється вдвічі більше газу, ніж на аноді, тому продуктивність знежирення на катоді є дещо вищою порівняно з знежиренням поверхні металу на аноді. Однак під час знежирення на катоді поверхня деталі може наводнюватися, а водень – проникати всередину металу. Як наслідок, збільшується крихкість металу, значно зменшується його втомна міцність, порушується зчеплення покриття з поверхнею деталі, що може спричинити його відшарування.

Щоб запобігти зазначеним технологічним ускладненням, необхідно застосовувати анодне знежирення тривалістю приблизно (3...10) хв. або так звану комбіновану обробку – спочатку знежирювати на катоді протягом (4...5) хв., а потім за допомогою перехідного рубильника перемикати деталь на анод і знежирювати її поверхню вже на аноді протягом (1...2) хв. Як електроди можна застосовувати сталеві пластини з відстанню між ними приблизно (20...150) мм.

Після знежирення деталі ретельно промивають спочатку гарячою водою при температурі приблизно (70...80) °С, а потім холодною водою. Якщо вода рівномірно розтікається і змочує всю поверхню деталі, а не збирається окремими краплями, то якість обробки деталі є високою. Далі за допомогою травлення ліквідують наявні на поверхні оксидні плівки, виводять дефектний шар з поверхні, яку покривають, виявляють кристалічну структуру і підвищують активність металу.

Травлення також здійснюють або хімічним, або електрохімічним методами. Хімічне травлення чорних металів проводять у (15...25) %-му водному розчині сульфатної кислоти H_2SO_4 або в (10...20) %-му розчині хлоридної (соляної) кислоти HCl (або в їх сумішах). Під час травлення в розчині сульфатної кислоти його нагрівають до температури приблизно

(50...60) °C. Тривалість процесу становить 30 і більше хвилин; вона залежить від стану поверхні деталі (виробу), концентрації і температури розчину.

На ремонтних підприємствах хімічне травлення часто застосовують при підготовці металовиробів та інших дрібних деталей до оцинковування та/або очищення дротів, якими наплавляють, від іржі. Щоб прискорити технологічний процес і підвищити міцність зчеплення гальванічного покриття з деталлю (виробом), застосовують електрохімічне травлення. Його ще називають активацією або анодною обробкою.

Швидкість електрохімічного травлення в порівнянні з хімічним методом збільшується в кілька разів, а витрати розчинів кислот при цьому значно зменшуються. Для травлення чорних металів найчастіше використовують розчин сульфатної кислоти або розчини солей відповідних металів. Для цього деталей завішують на анодну або катодну штанги гальванічної ванни і підключають її або як анод, або як катод в електричне коло. Найбільш поширеними у сучасному виробництві є анодне травлення шляхом електрохімічного розчинення металу, хімічного розчинення і механічного відривання оксидів від його поверхні, наприклад, киснем, що виділяється на аноді. У ремонтному виробництві таке травлення застосовують здебільшого під час відновлення зношених робочих поверхонь деталей насталуванням і хромуванням.

Так, під час насталування анодне травлення проводять при температурі (18...25) °C в електроліті, що містить 365 г/л сульфатної кислоти (30 %-й розчин) і (10...20) г/л кристалогідрату ферум(II) сульфату ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Деталі при цьому завішують на анодну штангу. Як катод використовують свинцеві пластини, площа яких в 4–5 разів перевищує площу робочих поверхонь деталей, що відновлюються. Стальні деталі обробляють при анодній щільності струму (50...70) А/дм² упродовж (2...3) хв, а чавунні – при анодній щільності струму (18...20) А/дм² приблизно (1,5...2) хв.

Через деякий час після початку травлення напруга у ванні підвищується, а сила струму, відповідно, спадає. Це пояснюється тим, що метал з активного

стану переходить у пасивний (відбувається пасивування робочої поверхні), що супроводжується бурхливим виділенням кисню. Бульбашки кисню при цьому «зривають» травильний шлам, а оброблена поверхня стає чистою з чітко виявленою кристалічною структурою і специфічним мікрорельєфом.

Якість обробки деталі контролюють візуально. Так, якісно протравлені деталі характеризуються світло-сірими матовими робочими поверхнями без блиску, темних плям чи слідів травильного шламу. Деталі, що мають велику масу, складну конфігурацію, виготовлені з високолегованих сталей і, крім того, загартовані до високої поверхневої твердості, під час такого травлення не завжди досягають високої міцності зчеплення покриття з поверхнею металу. Отже, у таких випадках застосовують подвійне травлення – спочатку його проводять в розчині ферум(II) хлориду FeCl_2 (так званий електроліт насталування), а потім – у 30 %-му розчині сульфатної кислоти H_2SO_4 .

Стальні деталі травлять у ванні насталування при анодній щільності струму (40...80) А/дм² упродовж (2...5) хв. залежно від технічного стану їх робочих поверхонь, а чавунні – при щільності струму (15...20) А/дм² протягом (1...2) хв. Важливим є те, що під час анодного травлення сталевих деталей в електроліті насталування на їх робочих поверхнях не створюється захисна пасивна плівка. Внаслідок цього досягається більш якісне протравлювання робочих поверхонь деталей (виробів) порівняно з процесом травлення в розчині сульфатної кислоти. Проте після такого травлення на робочих поверхнях залишається темний крихкий шар шламу, який можна усунути шляхом анодного травлення в 30 %-му розчині сульфатної кислоти при щільності струму (50...70) А/дм² упродовж (0,5...1) хв. Після цього на робочих поверхнях деталі вже утворюється пасивуюча плівка.

Перед анодним травленням деталі (вироби) промивають холодною водою для того, щоб позбавитись хлоридів. Накопичення іонів Хлору (так званих активаторів) Cl^- у сульфатному електроліті сильно порушує процес анодного травлення, перешкоджаючи утворенню пасивуючої плівки і ліквідації травильного шламу. Знявши напругу зі штанг ванни, знімають і деталь.

У протилежному випадку якість зчеплення покриття з поверхнею металу може погіршитися; те саме можна очікувати і у випадку, якщо залишити деталі у ванні після процесу.

Перед хромуванням деталі також підлягають анодному травленню в розчині, що містить (100...150) г/л хромового ангідриду CrO_3 і (2...3) г/л сульфатної кислоти або безпосередньо в електроліті для хромування. Деталі із сталі обробляють при анодній щільності струму (25...40) А/дм² упродовж (30...60) хв. При цьому чим більше вуглецю/Карбону і легуючих компонентів містить метал, тим менше часу потрібно для його анодного травлення. Так, деталі з чавуну обробляють при анодній щільності струму (20...25) А/дм² протягом (5...10) хв; температура електроліту становить (50...60) °С.

Обробка деталей після нанесення покриття. Після нанесення покриття на робочі поверхні деталей їх промивають водою і піддають нейтралізації у лужних розчинах для вилучення залишків електроліту і попередження корозії металу. Особливо ретельно обробляють деталі, що відновлювалися у хлористих електролітах (хлоридах), оскільки іони Хлору Cl^- , що залишаються в розчині, здатні спричинювати інтенсивну електрохімічну корозію у вологому середовищі. З цією метою вироби промивають і нейтралізують в 10 %-му розчині лугу при температурі (60...80) °С упродовж приблизно (5...10) хв.

Після хромування деталі нейтралізують у розчині кальцінованої соди масовою концентрацією (20...70) г/л при температурі (15...30) °С упродовж (15...30) с. З метою підвищення корозійної стійкості покриттів їх додатково пасивують у розчинах хромової кислоти H_2CrO_4 або її солей. Після обробки на поверхнях деталей утворюється захисна хроматна плівка. Перед пасивуванням покриття прояснюють у розчині нітратної (азотної) кислоти HNO_3 масовою концентрацією (20...30) г/л протягом (6...18) с. Далі їх пасивують у розчині, що містить (150...20) г/л натрій хромату Na_2CrO_4 (або калій хромату K_2CrO_4) і (8...12) г/л сульфатної кислоти протягом (6...18) с. Одночасно деталі можна прояснювати і пасивувати в розчині, що містить (80...110) г/л хромового

ангідриду CrO_3 і (3...5) г/л сульфатної кислоти, протягом (3...6) с. Температура робочих розчинів становить (15...30) °С.

Для покращення властивостей покриття робочих поверхонь деталей і виробів, а також для їх сушіння застосовують термічну обробку. Деталі сушать у сушильній шафі при температурі (120...130) °С протягом (5...10) хв. У деяких випадках для зняття внутрішніх напружень у хромових покриттях деталі проходять спеціальну термічну обробку в масляних ваннах при температурі (180...200) °С протягом (1...2) год.

Оскільки під час електролізу виділяється водень, який може проникати у покриття і спричиняти крихкість металу, знижуючи його втомну міцність, то вироби, відновлені хромуванням, зневоднюють шляхом нагрівання при температурі (180...230) °С упродовж (2...3) год. Ферумофосфорні і нікельфосфорні покриття підлягають спеціальній термічній обробці при температурі приблизно 400 °С упродовж (1...1,5) год для підвищення їхньої твердості й зносостійкості.

Промивні води, що використовуються для промивання виробів і деталей, як правило, забруднені домішками кольорових та інших металів (складовими сплавами). Отже, одним з найефективніших способів переробки відпрацьованих промивних вод є їх випарювання з подальшим повторним використанням у виробничому процесі, а із осаду, що залишається, вилучати цінні кольорові метали. Проте, на жаль, у нашій країні потенціал відпрацьованих розчинів електролітів і промивних вод гальванічних виробництв як цінних вторинних ресурсів кольорових металів практично не використовується. Найчастіше такі промивні розчини просто надходять на очисні споруди для їх хімічної нейтралізації.

Шлами, що утворюються при нейтралізації стічних вод гальванічних виробництв і регенерації відпрацьованих електролітів, є аморфним осадом, що містить гідроксиди Феруму $\text{Fe}(\text{OH})_2$ і $\text{Fe}(\text{OH})_3$, а також домішки кольорових металів. Зневоднювання таких осадів здійснюється за допомогою центрифуг, вакуум- або прес-фільтрів. Для підвищення продуктивності устаткування для

зневоднення осаду, що містить суміш гідроксидів металів, його піддають реагентній або безреагентній обробці. В реагентному способі в якості реагентів застосовують вапно, солі Феруму і Алюмінію, а також кислотовмісні розчини. Однак така реагентна обробка є досить вартісним процесом; окрім того, внаслідок такої обробки об'єм відходів (шламів) значно збільшується.

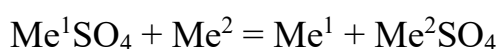
До безреагентних способів обробки гальванічних шламів належать, наприклад, ущільнення, заморожування й відтаювання або введення в їх склад тирси. У світі розроблено декілька технічних рішень, які дають змогу вилучати метали з гальванічних шламів з використанням методів гідрометалургії (з використанням водних розчинів спеціально підібраних реагентів). Проте основна частина гальванічних шламів у нашій країні і до сьогодні не підлягає переробці, а надходить до шламонакопичувачів.

Іншим напрямком управління відходами гальванічних виробництв з метою зменшення їх екологічної небезпеки є так звана хімічна фіксація, наприклад, феритизація твердої фази відходів, силікатизація, отвердження з використанням неорганічних і органічних в'язучих та спікання. Однак при використанні цих методів досить часто втрачається певна кількість цінних кольорових металів. Тому, наприклад, хромовмісні шлами після сушіння і прожарювання можна використовувати як барвники при виробництві декоративного скла. І залежно від складу шламу можна отримувати скло різних кольорів і відтінків – від зеленого, яскраво-синього, синьо-зеленого до темно-коричневого і чорного.

Шлами гальванічних виробництв, збагачені Ферумом/залізом, використовують здебільшого для отримання феритів, які знаходять застосування в електротехнічній і хімічній промисловостях, а також у радіотехніці. Практично повністю можна виключити забруднення навколишнього природного середовища сплавлянням гальванічних шламів з силікатами (у співвідношенні 1:1) за температури приблизно $(800...1000)^\circ\text{C}$. Цей метод, своєю чергою, надає змогу виготовляти цеглу і черепицю високої якості.

Прожарені гальванічні шлами можна вводити до складу асфальтобетону (в кількості до 20 % від маси сировинної суміші) або використовувати як добавки при виготовленні бетонних блоків. Так, при приготуванні бетонів із шлаколужних в'язучих, як правило, додають до 20 % прожарених гальванічних шламів. При взаємодії гідроксидів важких металів з лужними силікатами утворюються силікати відповідних металів, які є вельми стійкими до розчинення і подальшої взаємодії.

При використанні методів гідрометалургії розчини спочатку очищають від домішок задля запобігання їх потрапляння у вилучений метал при подальшому його осадженні. Так, для очищення розчинів від домішок (процес «вилуговування») застосовують методи хімічного осадження неорганічними або органічними реагентами, гідроліз, кристалізацію та/або цементацію. Зокрема, в основі цементації лежить принцип витискування з розчину одного металу іншим, що має більш від'ємний електродний потенціал:



Прикладами цементаційного очищення шламів і відпрацьованих промивних розчинів є, наприклад, процеси виділення міді з сірчано-кислих цинкових розчинів цинком або з нікелевого електроліту – нікелем. Осадження металів з очищених розчинів після вилуговування проводять електролізом водних розчинів, цементацією або відновленням газоподібними відновниками під тиском.

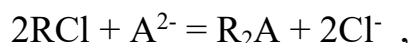
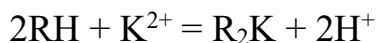
У гідрометалургії кольорових металів, особливо при виробництві (вилученні) рідкісних і благородних металів, дедалі більшого поширення набули сорбційні (іонообмінні) та екстракційні процеси. Застосування цих процесів спрямовано на вирішення таких важливих завдань, як:

- переведення цінного металу з розчину після вилуговування у інший розчин, більш зручний за сольовим складом для подальшої переробки;
- концентрування металів із розведених розчинів і пульп;

- селективний поділ металів і очищення розчинів від домішок;
- вилуговування, поєднане із сорбцією.

Іонообмінні процеси ґрунтуються на спроможності деяких твердих речовин (іонітів) при контакті з розчинами поглинати з них певні іони в обмін на іони такого самого заряду, що входять до складу іоніту. Як іоніти, як правило, застосовують тверді синтетичні високомолекулярні речовини з високою обмінною ємністю (іонообмінною спроможністю), хімічною стійкістю і механічною міцністю. За знаком заряду іонів, що обмінюються, розрізняють катіоніти і аніоніти. Існують також амфоліти, які здатні одночасно здійснювати і катіонний, і аніонний обміни.

У загальному вигляді дію іонообмінних смол можна описати хімічними рівняннями:



де R – вуглеводневий радикал із фіксованими іонами;

K – катіон; A – аніон.

Ще одним способом цільового вилучення цінних металів є екстракція (рідинна екстракція) – процес вилучення розчинених хімічних сполук (у даному випадку – металів) з водного розчину у рідку органічну фазу, яка не змішується з водою. Подальшою реекстракцією з органічної фази цей первісно екстрагований метал переводять вже у водне середовище.

1.11. ГЕННО-МОДИФІКОВАНІ ОРГАНІЗМИ ТА УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

Наприкінці 70-х років 20 століття на ринку з'явилися перші бактерії з інпродукованими генами інсуліну, інтерферону і соматотропного гормону (це гормон, який продукується гіпофізом і є одним з головних регуляторів процесів

росту і розвитку людини). А перші трансгенні (генно-модифіковані) продукти харчування почала виробляти американська корпорація «Монсанто» (на ринку з 1988 р.). Сьогодні на ринку генетично модифікованих (ГМ) продуктів харчування працюють ще декілька транснаціональних корпорацій – «AgrEvo», «Sanofi» (до літа 2011 р. «Sanofi-Aventis»), «Novartis» та інші.

Генетично модифіковані організми (генно-модифіковані організми, ГМО) використовуються з метою забезпечення населення харчовими продуктами і підвищення їх якості, лікування і профілактики деяких захворювань, поліпшення біологічної цінності продуктів харчування тощо. Виникнення генної інженерії як нового напрямку біотехнології відносять до 1970–1972 рр., коли з'явилися розробки з виділення генів, їх хімічного синтезу, введення їх у живі клітини і геном клітин. Сьогодні розроблено більше 120 видів тільки генно-модифікованих рослин. Практично всі овочі можуть бути генетично модифіковані, зокрема, є розробки з генної модифікації капусти білоголової та броколі, моркви, баклажанів, салату, перцю, кавунів, а також пшениці, ячменю, цукрової тростини, журавлини, винограду, малини, полуниці та ін.

Окрім трансгенних рослин, отримано і трансгенні тварини, яких вирощують, наприклад, у США (компанія Advanced Cell Technology, Inc., АСТ), у Нідерландах (компанія Pharminno) та інших країнах. Наприклад, в організмі генетично модифікованих тварин виробляється білок, який використовується для виробництва ліків.

«Генетично модифікований організм, живий змінений організм це будь-який організм, у якому генетичний матеріал був змінений за допомогою штучних прийомів переносу генів, які не відбуваються у природних умовах, а саме, наприклад:

– рекомбінантними методами, які передбачають формування нових комбінацій генетичного матеріалу шляхом внесення молекул нуклеїнової кислоти (вироблених у будь-який спосіб ззовні організму) у вірус, бактеріальний плазмід або іншу векторну систему та їх включення до організму

господаря, в якому вони зазвичай не зустрічаються, однак здатні на тривале розмноження;

– методами, які передбачають безпосереднє введення в організм спадкового матеріалу, підготовленого ззовні організму, включаючи мікроін'єкції і мікроінкапсуляції;

– злиття клітин (у тому числі злиття протоплазми) методами гібридизації, коли живі клітини з новими комбінаціями генетичного матеріалу формуються шляхом злиття двох або більше клітин у спосіб, який не реалізується за природних обставин» (Ст. 1. Терміни та визначення Закону України «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетично модифікованих організмів», 2007 р. №1103-V – чинний до 16.09.2026 р.; Закон України «Про державне регулювання генетично-інженерної діяльності та державний контроль за розміщенням на ринку генетично модифікованих організмів і продукції» 2023 р. №3339-IX – набрання чинності з 16.09.2026 р.).

Отже, генна інженерія надає змогу вводити у генетичний апарат ген або його фрагменти, комбінації генів тощо за допомогою, наприклад, мікроін'єкції ДНК, електричного струму тощо. Відомо, що під час обробки, наприклад, сільськогосподарських рослин тільки (5...10) % інсектицидів потрапляють на їх поверхню і діють ефективно, а (90...95) % потрапляють в оточуюче середовище (воду, ґрунти, продукти рослинництва), знищуючи корисних комах. Тому деякі вчені вважають, що створення рослин, стійких до комах, приведе до зменшення обсягів використання інсектицидів, відновлення популяції корисних комах і позитивно позначиться на флорі, фауні і біосфері в цілому.

Найменшою є група рослин, стійких до бактеріального, вірусного і грибкового захворювань. На сьогодні вже створено трансгенну картоплю, стійку до фітофторозу і фузаріозу; тютюн, який не вражається грибковими захворюваннями; розроблений спосіб отримання трансгенної картоплі, стійкої до м'якої гнилі і фітофтори; отримано рослини, які витримують мінусові температури упродовж 2-х діб, що є згубним чинником для звичайних рослин.

Виведено морозостійкі томати шляхом «схрещення» звичайного томату з американською плескатою рибою. Велика увага приділяється створенню трансгенних рослин із заданими амінокислотним (вже клоновано гени запасних білків сої, гороху, квасолі, кукурудзи і картоплі) і жирно-кислотним складом (ріпак).

Взагалі використання ГМО є вагомим і перспективним бізнесом. Проте, думка вчених стосовно безпеки ГМО для здоров'я людей і природного середовища є неоднозначною, оскільки на даний момент у людства просто немає доказів шкідливості ГМ-продуктів. Більшість вчених вважають, що проблема створення і використання ГМО, особливо при вирощуванні харчових продуктів, повинна розглядатись комплексно – і з точки зору забезпечення безпеки і здоров'я не тільки теперішнього, а й майбутніх поколінь, і з позицій захисту навколишнього природного середовища. Вчені, зокрема, вважають, що у ГМО утворюються ферменти, які спричинюють прояви алергії, захворювань шкіри і шлунку у людей.

При цьому законодавча база в Україні щодо ГМ-продукції все ще залишається недостатньо розробленою і значно відстає від стандартів країн ЄС. Так, в країні все ще не функціонують відповідні санітарні правила медико-біологічного оцінювання ГМО (зокрема, наказ Міністерства охорони здоров'я України від 26.06.2025 р. № 1018 «Про затвердження Державних медико-санітарних правил «Правила поводження з генетично модифікованими організмами при здійсненні генетично-інженерної діяльності в замкненій системі» реально набуде чинності 16.09.2026 р.); відсутня матеріально-технічна база для визначення ГМ-інгредієнтів.

У законодавстві немає ефективних регуляторних механізмів з приводу того, як саме це треба робити; не визначена чітко відповідальність виробника або реалізатора продукції за порушення норм реалізації ГМ-продукції. Відповідно до Закону України «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетично модифікованих організмів» (2007 р., втрата чинності відбудеться 16.09.2026 р.),

повноваження щодо контролю і регулювання ГМО розподілені між п'ятьма органами виконавчої влади, а саме між Кабінетом Міністрів України (КМУ), Міністерством освіти і науки, Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів, Міністерством охорони здоров'я та Міністерством аграрної політики та продовольства.

Загалом існує три стадії розвитку і застосування ГМО: дослідження в закритій системі (лабораторіях, спеціальних теплицях тощо), випробування (висадження ГМО у відкритому ґрунті в рамках експерименту), а також комерціалізація. Зазначимо, що Закон України «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетично модифікованих організмів» стосується всіх трьох стадій управління ГМО, проте багато важливих деталей у цій сфері надаються і уточнюються у підзаконних актах.

1.12. ЕКОЛОГІЧНО ЗБАЛАНСОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ

Згідно з Національним переліком відходів, їх поділяються на два основні класи, а саме:

- небезпечні відходи і
- відходи, що не є небезпечними.

При цьому класифікація відходів здійснюється з урахуванням Переліку властивостей, що роблять відходи небезпечними. Згідно з Державним класифікатором України ДК 005-96 «Класифікатор відходів», до розділу (групи) 45 включено відходи, що утворюються під час будівельних робіт, знесення будівель і споруд, а також відходи, що утворилися внаслідок техногенних катастроф (аварій), природних катастроф і явищ. Такими відходами, зокрема, є ґрунт, залишки асфальту, гравій, щебінь, пісок, мука доломітова, заповнювачі, гіпсоцементи, мастика гідроізоляційна, речовини

зв'язувальні зіпсовані, забруднені або неідентифіковані, їх залишки, а також металеві деталі і непридатна деревина. Більшість з цих відходів, як правило, утворюються в незначній кількості в порівнянні із загальними обсягами, наприклад, відходів будівництва, якими є, в основному, гравій, пісок, щебінь і гіпсоцемент.

Постановою КМУ від 27 вересня 2022 р. № 107 «Про затвердження Порядку поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України» ухвалено Перелік компонентів відходів від руйнувань та можливі шляхи їх повторного використання у будівництві, промисловості будівельних матеріалів (виробництві будівельних виробів, продукції тощо). Зокрема, визначено, що:

- суміші або окремі фракції бетону, цегли, облицювальної плитки і кераміки можуть бути сировиною для виробництва крупного і дрібного заповнювачів для бетонів (класу до С20/25), а також щебенево-піщаних сумішей для влаштування шарів основи і покриття дорожнього одягу без використання в'язучих і влаштування насипів автомобільних доріг;

- дорожній баласт (щебінь), що містить небезпечні речовини, може бути застосований для влаштування шарів основи дорожнього одягу, влаштування насипів автомобільних доріг тощо;

- бітумні суміші, що містять вугільну смолу, застосовуються в якості компонентів асфальтобетонних і бітумомінеральних сумішей для шару основи дорожнього одягу автомобільних доріг III–IV категорій, бітумінозних будівельних матеріалів тощо.

Таким чином, утилізація відходів руйнації будівель та інших конструкцій дозволяє зберігати природні ресурси шляхом використання вторинної сировини, досягти меншої собівартості цих вторинних матеріалів, а також мінімізувати забруднення навколишнього середовища, зберегти ліси і пасовища, захистити водні, земельні і повітряні ресурси.

Основний обсяг відходів будівництва припадає на виробничо-технологічні відходи (4510.2), які, як правило, утворюються в результаті демонтажу пошкоджених і відпрацьованих конструкцій дорожнього одягу, інженерних мереж і комунікацій (наприклад, існуючої системи освітлення).

У будівельних нормах і національних стандартах, якими користуються при проектуванні будівництва, реконструкції і капітального ремонту автомобільних доріг, передбачено спеціальні заходи з мінімізації утворення відходів. Так, на виконання вимог нормативних документів, у розділах і звітах із охорони навколишнього природного середовища підприємствам необхідно наводити дані щодо:

- кодування відходів у відповідності з Класифікатором відходів ДК 005-96;

- розрахунків і орієнтовних обсягів утворення відходів відповідно СОУ 42.1-37641918-096:2012 Виробничі норми природних втрат дорожньо-будівельних матеріалів (почав діяти з 01.03.2013 р.);

- конкретного способу поводження з відходами (локалізація, тимчасове зберігання, переробка, вивезення тощо).

Рішення щодо утилізації (знешкодження) відходів будівництва приймає генпідрядна будівельна організація за узгодженням з замовником робіт на етапі розробки проекту виробництва робіт. Отже, проект виробництва робіт повинен містити схему збору відходів, графік їх вивезення, а також угоди (або інші підтверджуючі документи) на передачу запланованих обсягів відходів іншим організаціям (підприємствам) для повторного їх використання та/або утилізації (знешкодження).

Утилізація відходів виробництва будівельних матеріалів. Виробництво будівельних матеріалів належить до найбільш великомасштабних виробництв і базується, в основному, на використанні нерудних матеріалів. За своїм характером технології виробництва будівельних матеріалів певним чином наближається до безвідходних або маловідходних технологій, оскільки при виробництві будівельних матеріалів можна використовувати як вторинну

сировину відходи хімічної і металургійної промисловості (шлаки чорної і кольорової металургії); золи і шлаки ТЕЦ (теплоелектроцентраль – різновид теплової електростанції, яка одночасно виробляє і електроенергію, і тепло у вигляді гарячої води і пари); продукти вугле- і нафтопереробки тощо.

На сьогодні у будівельній індустрії найбільш повно використовуються доменні гранульовані шлаки, які можуть бути застосовані, наприклад, у виробництві цементу, бетону, інших в'язучих, а також щебню, шлакової пемзи тощо. Наприклад, шлаковий щебінь приблизно у 2–3 рази дешевший за щебінь з гірських порід, а шлакова пемза дешевша за керамзит приблизно в 3–3,5 рази. Гранульовані шлаки з металургійних заводів можна використовувати як гідравлічні добавки у виробництві портландцементу і шлакопортландцементу навіть високих марок. Важливе значення має також використання шлаків, накопичених у відвалах. Так, введення в сировинну шихту доменних шлаків з відвалів значно підвищує продуктивність обертових печей.

Доменні шлаки знаходять застосування і у виробництві пемзи, шлаковати, автоклавних ячеїстих бетонів, шлакопемзобетонів, склокристалічних матеріалів, пофарбованої скляної тари і облицювальної плитки, штапельного скловолокна, листового шлакоситалу і пресованих шлакоситалових плиток.

Сталеплавильні і феросплавні шлаки також активно використовуються у промисловості будівельних матеріалів. Так, у цементній промисловості як компонент, що замінює піритні недогарки і колошниковий пил, використовують мартенівські і електроплавильні шлаки. Проте переробка сталеплавильних шлаків певним чином гальмується через неоднорідність їх структури і мінливість хімічного складу. Можна сказати, що проблема переробки і вторинного використання сталеплавильних шлаків на сьогодні все ще не вирішена, оскільки немає ефективних і, головне, екобезпечних технологій вилучення з цих шлаків цінних компонентів, кольорових і

благородних металів. Отже, сьогодні повторне використання сталеплавильних шлаків здійснюється, в основному, в дорожньому і промисловому будівництві.

Перспективним напрямком переробки відходів вуглезбагачення вважається виробництво будівельних матеріалів, наприклад, пористого заповнювача (агломерату) і глиняної цегли пластичного формування. Для цього у низькопластичну глиняну шихту вводять до 10 % вуглевмісної породи, а у високопластичну – до 15 %. Таким чином, застосування цих видів відходів у цементній промисловості надає змогу знизити вологість шламу приблизно на (6...7) % і підвищити ефективність виробництва цементу.

Відходи вуглезбагачення використовують також і у виробництві шлакопортландцементу, керамічних виробів, штучних пористих заповнювачів для легких бетонів, місцевих в'язучих, аглопориту, цегли, що є більш дешевою сировиною порівняно з традиційними сировинними матеріалами – глиною і глинистими породами. Золи і шлаки ТЕЦ застосовуються здебільшого у виробництві легких і важких бетонів, а також усіх видів легких заповнювачів (керамзиту, зольного гравію, аглопориту тощо), при виробництві цементу, виготовленні золосилікатної і глинозольної цегли, у дорожньому будівництві, а також у сільському господарстві (для розкислення ґрунтів).

Використання золи як часткового замітника цементу при виготовленні бетону і залізобетону сприяє не тільки економії в'язучих матеріалів, а й зменшенню обсягів відходів теплових електричних станцій. При цьому золу можна вводити до складу бетону або цементного розчину не тільки безпосередньо при їх приготуванні, а і в цемент при його виробництві на заводі. Наприклад, відомий спосіб одержання цементного клінкеру з використанням летучої золи, що утворюється на теплових установках, або золи, отриманої при сухому вилученні Сульфуру з димових газів.

Для одержання гідравлічного цементу з дисперсної кам'яновугільної золи, що містить як основні компоненти оксиди Алюмінію Al_2O_3 і Феруму(III) Fe_2O_3 , кальцій сульфат $CaSO_4$ та силіцій(IV) оксид SiO_2 (кремнезем) тощо, спочатку обробляють золу ортофосфорною кислотою H_3PO_4 . Причому, хімічну

реакцію проводять доти, поки зола не перетвориться на цемент, який далі подрібнюють до дрібнодисперсного стану на спеціальних млинах. При цьому рекомендується вводити до 15 % золи, причому, можна навіть без її попереднього подрібнення.

Отже, у такому технологічному процесі бетонна суміш містить цемент-наповнювач, золу ТЕЦ і воду. А для зменшення об'ємної маси і підвищення теплозахисних властивостей бетону до нього додатково вводять цемент у кількості приблизно (1...4) %, пісок – (1,0...1,2) %, золу ТЕЦ – (1,8...4,0) % та воду – (3...4) %. При цьому найбільший позитивний ефект дає використання золи у складі в'язучого в малоцементних бетонах (розчинах), а також за необхідності використання високомарочних цементів при приготуванні низькомарочних бетонів і розчинів. Ефективним є також уведення золи замість частини цементу в бетони з високим вмістом в'язучого. При цьому золою заміщують частину піску, чим забезпечується збільшення загального об'єму цементно-зольного в'язучого і, відповідно, підвищення будівельно-технічних властивостей об'ємної суміші.

Бетони природного твердіння, що містять у своєму складі золу, характеризуються уповільненою кінетикою твердіння в ранньому «віці» і наростанням міцності в більш пізні терміни, що є наслідком малої гідравлічної активності золи. Ця обставина, своєю чергою, забезпечує істотну перевагу таких бетонів при зведенні масивних споруджень, оскільки при цьому спостерігається зниження тепловиділення в них у початковий термін твердіння. Це, своєю чергою, сприяє забезпеченню монолітності споруджень завдяки малій усадці бетону з добавками золи і більш високій деформативності. Проте бетони, виготовлені на змішаному цементно-зольному в'язучому, як правило, мають дещо знижену морозостійкість.

Дуже перспективним і ефективним є використання золошлакового матеріалу в виробництві ячеїстих бетонів, у яких зола в залежності від її хімічного складу використовується замість цементу, вапна чи тонкомолотого піску. Отже, така сировинна суміш містить в'язуче (вапняне чи вапняно-

цементне), золу, порошкоутворювач і воду для підвищення атмосферо- і морозостійкості. Як порошкоутворювач застосовується, як правило, термооброблене вугілля або зола в кількості (10...45) %.

Усе більш широке застосування сьогодні знаходять золошлакові вторинні матеріали в керамічній промисловості. Сировинна суміш для виготовлення керамічних виробів, як правило, містить активний кремнезем SiO_2 і золу ТЕЦ у кількості (7,7...11,0) %. При виготовленні керамічних виробів «золокерам» у сировинну суміш вносять до 57 % золи ТЕЦ.

Отже, застосування золи при виробництві будівельних матеріалів відбувається, як правило, в 2-х основних напрямках – одержання виробів з відходів, у яких зола складає від 70 до 90 % і використання золи в якості добавки (в кількості до 30 %) при виготовленні, наприклад, цегли.

Завдяки великій питомій поверхні і вмісту у її складі вуглецю/Карбону зола є надзвичайно ефективним адсорбентом і може бути використана, наприклад, для очищення стічних вод від органічних домішок, зокрема, фенолу. Зола сприяє не тільки знебарвленню стічних вод, вона також усуває неприємний запах і смак, очищає воду від бактерій, знезаражуючи її. Присутні у золі сполуки Кальцію можна застосовувати для зв'язування Фосфору, який сприяє розвитку водної флори. Так, при додаванні золи з розрахунку 10 г/л відбувається зменшення вмісту фосфатів приблизно на (88...95) %, кількості зважених часток у розчині і видалення органічних забруднень до (60...70) %.

З леткої золи ТЕЦ і рідкого скла польські хіміки запропонували створювати гранульований пористий матеріал «феманол». Так, наприклад, у фільтрах підготовки води він зв'язує сполуки Феруму, нейтралізує кислі розчини і «вбирає» до себе до 75 % солей твердості (в основному, солі Кальцію, Магнію та Феруму(II)). Так, шар адсорбенту товщиною до 30 см безвідмовно «працює» впродовж 8 місяців.

Останніми роками в деяких країнах світу зола ТЕЦ використовується для заповнення шахтних виробок. При цьому її закачують у шахтні виробки через спеціальні шпари в сухому або мокрому вигляді. При мокрому способі

накачування зола утворює твердий масив, через який не проникає повітря. Оптимальний вміст води у пульпі з золою складає до 75 % мас.

Суха зола має високу водопоглинальну здатність, тому, зволожуючись, вона швидко твердіє на повітрі і значно збільшується в об'ємі. Таким чином, у шахтній виробці створюється зміцнений масив матеріалу, який перешкоджатиме обвалам. Суху золу можна використовувати також і для ліквідації шахтних пожеж.

Одним з головних напрямків використання золошлакових матеріалів є застосування їх у дорожньому і аеродромному будівництві, особливо у комбінації з цементом та/або вапном для зміцнення незцементованих уламкових, піщаних і супіщаних ґрунтів. Найбільш придатними для цих цілей є золи сухого видалення й уловлювання. У сировинну суміш для виготовлення будівельних матеріалів і виробів вводять від 2,5 до 15 % золи ТЕЦ. А для підвищення міцності, морозостійкості і зниження усадки ще додають подрібнений фракційний паливний шлак, коксик (залишки коксу після його сортування з розмірами шматків нижче допустимих для доменної плавки), а також пил електрофільтрів. З шлакових матеріалів ТЕЦ виготовляють також такі види пористих заповнювачів, як зольний гравій і пісок, зольний аглопорит, аглопоритовий щебінь, глиноземний керамзит і безвипалювальний заповнювач.

Відомо декілька інноваційних технологічних схем виробництва пористих заповнювачів з золошлакових матеріалів. Наприклад, зольний гравій одержують при випалі сировинних гранул у прямоточних обертових печах, а аглопоритовий – при випалі гранул на стрічковій конвейерній агломераційній випалювальній машині безупинної дії. Глинозольний керамзит одержують при випалі сировинної суміші в протитокових печах, а у виробництві безвипалювального гравію з золошлакових матеріалів застосовують автоклавну обробку, пропарювальні камери і твердіння в'язучого в природних умовах.

Як сировину для виробництва зольного гравію застосовують золу ТЕЦ сухого або мокрого видалення, яка характеризується значним коефіцієнтом спучування і певним інтервалом плавкості, а також значним вмістом незгорілих

часток вугілля. Золю можна використовувати також і у сільському господарстві, наприклад, як добриво. З метою збагачення таких добрив мікроелементами, необхідними для нормальної життєдіяльності рослин, в отриману суміш перед нейтралізацією вводять летку золу в кількості (1...30) кг/т товару у вигляді пульпи або дрібнодисперсних фракцій.

Отже, область застосування золи ТЕЦ є дуже різноманітною; її, наприклад, можна застосовувати як: наповнювач для бетону в дорожньому будівництві; в якості теплоізоляційного засипання; як гідравлічну добавку до цементу або як вигоряючу добавку при виробництві глиняної і силікатної цегли; для одержання цементної сировинної суміші, газобетону і керамзитів та у виробництві червоної цегли, золоситалів і золошлакоситалів тощо.

Шлаки, своєю чергою, застосовують для виготовлення шлакоблоків, теплоізоляційного засипання горіщних і міжповерхових перекриттів та підлог будинків, як заповнювача для виробництва стінових матеріалів, для зміцнення теплових і водопровідних магістралей тощо. Шлаки використовують також для засипання доріг, дамб, провалів, ярів; ремонту автодоріг і доріг у кар'єрах; будівництва залізничних колій та ін.

При видобутку, наприклад, облицювального каменю, виробництві вапна та цементу, переробці на щебінь гірських порід, як правило, утворюються відходи у вигляді відсівів і негабариту. Основна маса таких відходів є придатною для подальшої переробки на щебінь, пісок, кам'яне борошно тощо.

У промисловості, будівництві, міському господарстві тощо утворюються значні обсяги битого скла, посуду, ламп накаливання, медичних ампул тощо. Основним напрямком переробки склобою є повернення його у основний технологічний процес. Однак попередньо його потрібно звільнити від пробок, кришок, алюмінієвих ковпачків, інших включень тощо. Важливим є те, що собівартість скломаси зі склобою приблизно у 6 разів нижча порівняно з собівартістю продукції, виготовленої із застосуванням як сировини кварцового піску. Склобій використовують також у виробництві тепло- і звукоізоляційних матеріалів, наприклад, скловолна.

Можливим є застосування відходів скла як наповнювача асфальтобетону в дорожньому будівництві, як добавки у виробі будівельної кераміки і панелей будинків, а також як декоративне покриття. Існують технології одержання пористого заповнювача із скла, що вилучається з твердих залишків після спалювання міського сміття. Шихта в цьому випадку містить до 78 % скла, приблизно 20 % глини і 2 % натрій метасилікату Na_2SiO_3 . Подрібнені відходи скловолокна застосовують також у виробництві цегли підвищеної міцності. З використанням відходів волокнистих матеріалів виготовляють лінолеум, який не піддається гниттю.

Відпрацьовані сорбенти застосовують здебільшого як вигоряючі добавки у виробництві будівельної цегли пластичного формування. Так, у малопластичну сировину можна вводити до 10 % відпрацьованого сорбенту, тоді як у помірно- і високопластичну – до 15 %. У цих випадках можна практично повністю відмовитися від застосування інших добавок.

Існує декілька перспективних напрямків переробки відпрацьованого алюміній оксиду Al_2O_3 і застосування його у виробництві будівельних матеріалів. Наприклад, його можна використовувати для коригування складу бетонних сумішей, причому, як легких, так і важких, а також жаростійких бетонів.

Керамічні насадки хімічних підприємств (сідла, кільця тощо) знайшли широке застосування в процесах очищення конверторного газу за рахунок адсорбції, у виробництві нітратної кислоти HNO_3 і ректифікації хлоробензену $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$. Їх можна також використовувати у виробництві будівельних матеріалів як штучний заповнювач для звичайних і жаростійких бетонів. Так, мелені наповнювачі для жаростійких бетонів на основі портландцементу готують здрібнюванням шамоту, вогнетривких глин, кварцового піску, керамічного бою або бою цегли.

Оскільки відпрацьовані насадки і сорбенти з різних процесів, як правило, містять домішки, що можуть вплинути на якість будівельних матеріалів, їх рекомендовано попередньо піддавати спеціальній обробці. Таким чином,

технологія утилізації відпрацьованих насадок і сорбентів включає такі стадії, як нейтралізація, дроблення, просівання, сушіння і помел до необхідного гранулометричного складу.

Використання і переробка відходів фосфогіпсу. Виокремлюють такі основні напрямки вторинного використання відходів фосфогіпсу: в якості мінералізуючої добавки при випалі цементного клінкеру; як регулятора термінів схоплювання цементів; у виробництві гіпсового в'язучого, сульфатної кислоти, цементу тощо, вапна для хімічної меліорації солонцевих ґрунтів та як наповнювача при виробництві лінолеуму і паперу. Рекомендовано також використовувати відходи фосфогіпсу у будівництві замість природного гіпсу. Проте основною перешкодою для широкого використання таких відходів є наявність у його складі домішок розчинного фосфор(V) оксиду P_2O_5 , сполук Флуору, а також необхідність сушіння і гранулювання.

При використанні нафтових шламів як вторинних матеріалів спочатку до них додають негашене вапно у кількості (5...50) %, потім висушують у природних умовах упродовж (2...20) діб, а далі застосовують, наприклад, для підсипання при нівелюванні поверхні в будівництві. З таких шламів можна також одержувати окиснений нафтовий пек, який використовують в якості наповнювача для дорожніх покриттів, як паливо для промислових печей і ущільнювач чавуну, а також як добавку до бітуму.

Відома сучасна технологія переробки нафтових шламів на паливо, яке за своїми фізико-хімічними і експлуатаційними характеристиками (теплотворною здатністю, в'язкістю, температурою спалаху тощо) повністю відповідає стандартному мазуту марки 40. Установлена також можливість одержання зі шламу бітуму марок БН-0, БНК 90/40, БНК-5, руберойду тощо, а також бітуму, придатного для виготовлення асфальту і асфальтобетону. Так, технологічний процес одержання бітуму з нафтового шламу, поглинального масла є періодичним і складається з таких стадій, як зневоднювання шламу і окиснення його в суміші з бітумом.

З відходів листової шибки отримують, наприклад, скляну емальовану плитку. Скло при цьому ріжуть на плитки розміром 150×150 мм, покривають емаллю з титанових руд з добавкою керамічних фарб і обпалюють при температурах (750...800) °С. Емаль розплавляється і спікається з поверхнею скла. З дрібнодисперсного порошку склобою спіканням з газоутворювачами при температурах приблизно (800...900) °С отримують піноскло. Його, як правило, застосовують в якості теплоізоляційного матеріалу для теплових мереж, у конструкціях холодильників, рефрижераторів, хімічних фільтрах тощо. Воно добре шліфується та має високу водо- і морозостійкість. З бою скла виготовляють також гранульоване піноскло, яке застосовують, наприклад, для виробництва теплоізоляційних матеріалів. У суміші з пластичними глинами склобій можна застосовувати для створення керамічних виробів, виготовлення облицювальної плитки і цегли. Бите скло можна застосовувати також для виготовлення наждакового паперу або як декоративний компонент у кольорових штукатурках, фарбах тощо.

Конструкції і будівельні відходи, що утворюються при зносі чи руйнуванні будинків; залишки бетону на будівельних майданчиках, некондиційні та/або браковані бетонні і залізобетонні вироби також можна повернути у технологічний процес, використовуючи їх після вилучення арматури, подрібнення, фракціонування і помелу (за необхідності) як крупний заповнювач при виробництві бетонів, залізобетонів і асфальтобетонів. Бій глиняної цегли так само після дроблення і фракціонування можна використовувати як щебінь у будівельних роботах і при виготовленні бетону різних марок.

Розділ 2

ПРИБЛИЗНА ТЕМАТИКА ЗАВДАНЬ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ, САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ, ОРІЄНТОВНИЙ СПИСОК ПИТАНЬ ДО ЗАЛІКУ

Завдання кейсу № 1.

1. Проаналізувати положення Закону України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-ІХ з точки зору впровадження інноваційних підходів щодо поводження з відходами.

2. Знайти і детально описати приклади країн світу щодо впровадження у виробництво безвідходних і маловідходних технологій.

Завдання кейсу № 2.

1. Проаналізувати положення «Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року», що стосуються раціонального використання відходів на регіональному і державному рівнях.

2. Проаналізувати зобов'язання України в сфері управління відходами у відповідності до Угоди про асоціацію з ЄС (Директива 2008/98/ЄС).

3. Проаналізувати головні положення Концепції «Zero-Waste Economy» та перспективи її впровадження в Україні.

Завдання кейсу № 3.

За допомогою патентного пошуку або аналізу інших літературних джерел знайти 2–3 сучасні способи переробки (утилізації, знешкодження тощо):

- воєнних відходів або застарілих боєприпасів;
- змішаних відходів пластику;
- органічних відходів;
- медичних відходів та відходів фармацевтичної промисловості;
- змащувальних речовин та технічних рідин автохімії.

Завдання кейсу № 4.

1. Знайти інформацію про найбільш небезпечні полігони України, встановити історичні аспекти прорахунків у будівництві досліджуваного полігону.
2. Оцінити сучасний екологічний стан обраного полігону та його вплив на компоненти навколишнього природного середовища, мешканців будинків, що розташовані в зоні впливу полігону.
3. Окреслити перспективи застосування обраного полігону для подальшого захоронення (переробки) відходів.
4. Проаналізувати основні сучасні способи й заходи рекультивації територій полігонів, спираючись на вітчизняний і зарубіжний досвід; оцінити часові проміжки щодо повного відновлення території.

Завдання кейсу № 5.

1. Переробка (утилізація) і знешкодження відходів агропромислового комплексу.
2. Метанове зброджування твердих побутових відходів. Промислове використання біогазу.
3. Метод механізованого біотермічного компостування. Балістичний сепаратор. «Саморозігрів» компостованого матеріалу.
4. Вермікультивування та метод термічної деполімеризації.
5. Санітарно-бактеріологічні властивості відходів біологічного походження.
6. Особливості безвідходного виробництва в сільському господарстві. Органічні відходи тваринництва і рослинництва, поводження з ними.

Завдання кейсу № 6.

1. Розширена відповідальність виробника товарної продукції у поводженні з твердими побутовими відходами.

2. Процеси піролізу і газифікації твердих побутових відходів; їх переваги і недоліки.
3. Види викидів з сміттєспалювальних установок; найбільш шкідливі компоненти викидів сміттєспалювальних установок.
4. Оптимальні умови будівництва заводів зі спалювання відходів з утилізацією теплової енергії. Переваги і недоліки використання спалювання відходів.
5. Поділ піролізних установок у залежності від температурного режиму процесу. Технологічні процеси розкладання целюлози.
6. Утилізація відходів переробки деревини; проблеми переробки макулатури.

Завдання кейсу № 7.

1. Утилізація відходів металургійного комплексу; вилучення цінних компонентів – кольорових і благородних металів. Екологічна проблеми переробки відходів металургійного комплексу.
2. Переробка відходів машинобудівного комплексу; екологічні та економічні проблеми, що виникають у сфері управління відходами машинобудівного комплексу.
3. Технологічні процеси переробки відходів хімічного виробництва.
4. Поводження і управління небезпечними (специфічними) відходами.
5. Використання відходів вуглезбагачення, золи і шлаків ТЕЦ у будівництві та інших виробничих сферах.
6. Переробка відходів нафтопереробної і нафтохімічної промисловості; екологічні проблеми, що супроводжують переробку таких видів відходів.

Завдання кейсу № 8.

1. Переробка відходів полімерних матеріалів з отриманням аналогічної продукції.

2. Переробка відходів полімерів з отриманням продукції гіршої якості чи іншої номенклатури.
3. Переробка полімерних відходів з руйнуванням полімерних структур.
4. Проблеми утилізації продукції, виготовленої з вторинної сировини.

Завдання кейсу № 9

1. Складові оцінювання екологічного стану військових частин; поводження і управління відходами у військових частинах.
2. Поводження з радіоактивними відходами; проблеми переробки матеріалів, що містять радіонукліди.

Орієнтовний перелік питань, які виносяться на семестровий контроль:

1. Обґрунтуйте основні стратегії вирішення проблеми утворення й накопичення небезпечних промислових відходів; наведіть приклади практичної реалізації стратегій.
2. Охарактеризуйте значення рекультивації та екоефективного відновлення забруднених територій у воєнний і повоєнний періоди. Обґрунтуйте їх роль як ключової стратегії розвитку держави.
3. Поясніть роль інноваційних підприємств у розробці й впровадженні технологій управління відходами; наведіть приклади успішних рішень.
4. У чому полягає комплексний підхід до вирішення проблеми утворення, переробки і використання побутових, виробничих, небезпечних хімічних і радіоактивних відходів. Обґрунтуйте ефективність інноваційних рішень у цій сфері.
5. Розкрийте зміст концепції циркулярної економіки «3R»; обґрунтуйте її застосування у сфері управління відходами.
6. Охарактеризуйте основні принципи інноваційних технологій в сфері управління відходами (мінімізація утворення відходів, максимальний ступінь переробки, повторне використання та екологічно безпечна утилізація).

7. Поясніть, як забезпечується енергоефективність і ресурсоефективність інноваційних технологій управління відходами.

8. Обґрунтуйте значення економічних механізмів охорони навколишнього середовища у зменшенні обсягів утворюваних відходів і забезпеченні їх повторного використання.

9. Охарактеризуйте особливості створення і функціонування інфраструктури управління небезпечними відходами; наведіть конкретні приклади.

10. Поясніть, як інноваційні технології поводження з відходами відповідають принципам сталого розвитку і циркулярної зеленої економіки.

11. Проаналізуйте вплив інноваційних технологій на ресурсозбереження, зниження рівня забруднення навколишнього середовища і покращення якості життя населення.

12. Охарактеризуйте концепцію, переваги та види систем роздільного збирання відходів; наведіть приклади їх впровадження у різних країнах світу.

13. Поясніть принципи роботи інноваційних технологій сортування відходів; обґрунтуйте роль штучного інтелекту у цій сфері.

14. Проаналізуйте можливості застосування магнітних, електростатичних і оптичних сепараторів для сортування відходів.

15. Обґрунтуйте доцільність використання автоматизованих систем збирання і сортування побутових і промислових відходів; наведіть приклади сучасних рішень.

16. Поясніть принципи інноваційних технологій транспортування відходів з мінімальним впливом на навколишнє природне середовище.

17. Охарактеризуйте переваги використання електротранспорту і гібридних транспортних засобів для перевезення різних типів відходів.

18. Поясніть конструкційні особливості вакуумних систем транспортування відходів; оцініть їх ефективність при застосуванні у міському середовищі.

19. Охарактеризуйте принцип роботи пневматичних систем транспортування відходів; наведіть приклади їх впровадження.

20. Обґрунтуйте доцільність використання контейнерних перевезень відходів; охарактеризуйте переваги та недоліки цього способу перевезення.

21. Поясніть, як використання GPS-технологій забезпечує моніторинг і контроль маршрутів транспортування відходів.

22. Охарактеризуйте системи моніторингу і контролю за збиранням та транспортуванням відходів; наведіть приклади їх впровадження.

23. Проаналізуйте механічні методи переробки відходів; поясніть їх переваги та обмеження.

24. Охарактеризуйте фізико-хімічні методи переробки відходів; обґрунтуйте їх практичне застосування.

25. Поясніть принцип роботи існуючих піролізних установок; охарактеризуйте інноваційні конструкції та методи доочистки піролізного газу.

26. Проаналізуйте технологію газифікації відходів; охарактеризуйте інноваційні газогенератори і сучасні методи очищення синтез-газу.

27. Поясніть процес деполімеризації полімерних відходів; наведіть приклади інноваційних каталізаторів і методів деполімеризації.

28. Охарактеризуйте біологічні методи переробки відходів; проаналізуйте інноваційні технології компостування, анаеробного розкладання і ферментації органічних відходів.

29. Поясніть принципи створення альтернативних палив на основі некондиційних і вторинних енергоресурсів; охарактеризуйте їх фізико-хімічні та експлуатаційні властивості.

30. Проаналізуйте біологічні методи переробки відходів для отримання органічних добрив та енергії; обґрунтуйте їх переваги над іншими методами.

31. Охарактеризуйте процес спалювання відходів; обґрунтуйте недоліки методу та надайте характеристику інноваційних конструкцій сміттєспалювальних заводів і методів очищення газів, що застосовуються в країнах ЄС.

32. Поясніть принцип роботи плазмових реакторів; охарактеризуйте технологію плазмової газифікації відходів і перспективні методи очищення синтез-газу.

33. Проаналізуйте можливості отримання теплової та електричної енергії при енергетичній утилізації відходів. Наведіть приклади та охарактеризуйте ризики для навколишнього середовища і здоров'я людей при енергетичній утилізації відходів.

34. Охарактеризуйте основні екологічні проблеми військово-промислового комплексу та використання військової техніки.

35. Проаналізуйте чинники впливу військово-промислового комплексу на компоненти біосфери – атмосферу, гідросферу, літосферу тощо; наведіть приклади.

36. Охарактеризуйте наслідки техногенного забруднення довкілля для здоров'я людей.

37. Поясніть вплив радіаційного та електромагнітного випромінювання на екосистеми і людину. Охарактеризуйте основи радіаційної безпеки військ.

38. Обґрунтуйте необхідність захисту навколишнього природного середовища під час воєнних дій; наведіть приклади практичних заходів.

39. Охарактеризуйте міжнародні стандарти і законодавство у сфері управління відходами, у тому числі відходами війни.

40. Поясніть роль ООН у координації міжнародних зусиль щодо поводження з відходами війни, їх знешкодження та знищення.

41. Проаналізуйте інноваційні методи знешкодження та утилізації небезпечних боєприпасів; наведіть приклади їх безпечного застосування.

42. Охарактеризуйте технологічні рішення для утилізації забрудненої радіонуклідами військової техніки та відходів, що містять радіоактивні речовини.

43. Поясніть значення переробки відходів війни як засобу економії ресурсів і зменшення рівня забруднення навколишнього середовища.

44. Охарактеризуйте технології вилучення цінних компонентів з відходів війни. Обґрунтуйте можливості їх повторного використання; охарактеризуйте термін «техногенні родовища».

45. Поясніть принципи захоронення відходів війни; обґрунтуйте вимоги до безпеки та екологічного контролю.

Розділ 3

РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

3.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО РОЗРАХУНКОВУ РОБОТУ

Основною метою при виконанні розрахункової роботи є:

- закріплення і поглиблення теоретичних знань з дисципліни «Інноваційні технології поводження з відходами», що надає можливість здобувачам вирішувати складні завдання з використання інноваційних методів управління промисловими, у тому числі й небезпечними, та твердими побутовими відходами, вирішення проблем захисту навколишнього природного середовища, раціонального використання природних і вторинних ресурсів;
- вирішення індивідуальних завдань, пов'язаних з розрахунками обсягів утворення відходів у різних технологічних процесах; моделюванням і прогнозуванням їх шкідливого впливу на природне середовище і здоров'я людей; встановленням умов існування тих чи інших токсикантів у різних фазах, хімічних формах і агрегатних станах; вивченням впливу різноманітних чинників на перебіг хімічних, фізико-хімічних і біохімічних процесів;
- проведення пошуку необхідної інформації з заданої тематики; аналіз існуючих методів переробки, утилізації та/або знешкодження відходів; проведення критичного аналізу здобутих результатів; надання висновків і рекомендацій щодо ризиків забруднення навколишнього природного середовища досліджуваними токсикантами;
- підбір умов для проведення заходів з недопущення забруднення навколишнього середовища певними компонентами токсичних відходів;

надання рекомендацій щодо ефективних і екологічно прийнятних способів їх переробки, утилізації та/або знешкодження;

– вміння використовувати нормативну, довідникову і навчально-наукову літературу, у тому числі сучасні наукові періодичні видання; вести патентний пошук; використовувати джерела Інтернет-мережі.

Розрахункова робота оформлюється у вигляді пояснювальної записки та презентації до неї. На початку записки оформлюється титульний лист (додаток В), далі надаються зміст, індивідуальне завдання, текстова частина (загальні відомості про підприємство, технологічний процес, технологічну лінію; характеристика видів утворюваних відходів тощо) і висновки з обговоренням отриманих результатів. Індивідуальне завдання і зміст розрахункового матеріалу узгоджується з викладачем; викладач рекомендує також перелік теоретичних і практичних питань, які підлягають дослідженню (розробці) і обговоренню.

Орієнтовний обсяг пояснювальної записки до розрахункової роботи складає від 7 до 15 сторінок. До захисту допускається розрахункова робота, що перевірена і зарахована викладачем.

Для захисту роботи здобувач(ка) готує доповідь на 5–7 хвилин за результатами роботи, в якій висвітлює тему, мету і завдання роботи; демонструє одержані результати; надає пояснення з теоретичного матеріалу щодо токсичності тих чи інших видів відходів, робить відповідні висновки. Матеріал для захисту роботи рекомендується оформити у вигляді презентації, яка підписується таким чином:

Презентація

до захисту розрахункової роботи з навчальної дисципліни
«Інноваційні технології поводження з відходами»

Виконав(ла) здобувач(ка) _____ групи _____,

Київ – 202_ рік.

Розрахункова робота оцінюється за критеріями, поданими в РСО, відповідно до силябусу дисципліни. Значна увага при цьому приділяється якості виконання і оформлення пояснювальної записки, правильності зроблених розрахунків, обґрунтованості висновків, самостійності і своєчасності її здачі. Пояснювальна записка до розрахункової роботи і презентація завантажуються у форматі «.pdf» у Google Classroom з дисципліни.

3.2. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Пояснювальна записка розрахункової роботи оформлюється на аркушах формату А4 (210×297 мм) відповідно до державних стандартів України ДСТУ 3008:2015 "Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання". Текст друкують за допомогою комп'ютера, відступаючи зверху й знизу поля 20 мм, зліва – 25 мм, справа – 15 мм (допускається усі поля зробити по 20 мм). Міжрядковий інтервал – 1,5; тип шрифту Times New Roman, 14-й кегль.

Заголовки структурних елементів розташовують посередині рядка і друкують великими літерами без крапки в кінці. Якщо заголовок складається з двох і більше речень, їх розділяють крапкою. Перенесення слів у заголовку розділу не допускається. Текст завдання починається з абзацного відступу, який повинен бути однаковим упродовж усього тексту роботи.

Сторінки нумерують арабськими цифрами, дотримуючись збереження загальної нумерації упродовж усього тексту. Номер сторінки проставляють у правому верхньому куті аркуша. Титульну сторінку включають до загальної нумерації сторінок роботи; номер сторінки на ній не проставляють.

Ілюстрації (креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми тощо) розміщують безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. На всі ілюстрації обов'язково мають бути посилання у роботі. Ілюстрації повинні мати назви, які розміщують під ними. Ілюстрація

позначається "Рис." і нумерується арабськими цифрами в межах розділу (завдання), за винятком ілюстрацій, наведених у Додатках. Номер ілюстрації складається з номера розділу (завдання) і порядкового номера ілюстрації, відокремлених крапкою, наприклад, "Рис. 3.2 Фазова діаграма системи...".

Таблиці розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються вперше (або на наступній сторінці). На всі таблиці мають бути посилання в тексті роботи. Таблиці нумерують арабськими цифрами в межах розділу (завдання), за винятком таблиць, які наводяться у додатках. Номер таблиці складається з номера розділу (завдання) і порядкового номера таблиці; відокремлених крапкою, наприклад, "Таблиця 2.1 Величини параметрів ...". Таблиця повинна мати назву; яку розміщують над таблицею; назва має бути стислою і відображати зміст таблиці. Якщо таблиця виходить за межі формату сторінки, її поділяють на частини, які переносять на наступні сторінки, надписуючи, наприклад, "Продовження таблиці 3.1"; назву при цьому не пишуть.

Формули і рівняння розміщують після тексту, в якому вони згадуються, посередині рядка. Всі формули й рівняння нумеруються. Номер складається з номера розділу (завдання) і порядкового номера формули або рівняння, відокремлених крапкою, і ставиться в круглих дужках в кінці рядка. Пояснення кожного символу (коефіцієнта) надають під формулою у тому ж порядку, починаючи зі слова "де".

Перелік скорочень і умовних позначень складають за умови їх повторення у тексті більше трьох разів і розміщують після змісту, починаючи з нової сторінки. В іншому випадку їх розшифровують у тексті при першому згадуванні. Переліки скорочень і умовних позначень розташовують стовпцем за абеткою. Ліворуч в абетковому порядку наводять скорочення або умовні позначення спочатку українською мовою, потім іншими мовами (за наявності), а праворуч – їх розшифрування.

Посилання в тексті роботи на літературні джерела зазначають порядковим номером, розміщеним у квадратних дужках, наприклад,

«...у працях [1]–[9]...» або «...автори роботи [5]...». Якщо надається цитата чи ідея, яка належить іншому автору, обов'язково вказують не тільки джерело, а й сторінку, наприклад, [9, с. 54].

Кожен *додаток* починається з нової сторінки і позначається вгорі сторінки послідовно великими літерами української абетки (за винятком Г, І, Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ь). Наприклад, "Додаток А".

Пояснювальна записка має таку структуру:

- Титульна сторінка (див. Додаток Б).
- Зміст.
- Умова завдання розрахункової роботи.
- Вступ (за наявності).
- Відповіді на завдання, необхідний теоретичний і графічний матеріал, літературний огляд та/або критичний аналіз літературних джерел (за необхідності), висновки. Розрахунки повинні супроводжуватися описом послідовності їх виконання, поясненням рівнянь, законів, що використовуються.

- Перелік посилань на використані джерела, у тому числі Інтернет-джерела (за необхідності).

- Додатки (за необхідності).

Зміст друкується з нової сторінки. У змісті послідовно перелічуються назви всіх розділів (завдань) і підрозділів (за наявності), назви додатків (за наявності); вказується номер сторінки для кожного з них.

Вступ включає обґрунтування актуальності проблеми, мету завдання, способи її досягнення, практичну цінність тощо; значущість для вирішення проблем захисту навколишнього природного середовища і раціонального використання природних ресурсів.

Літературний огляд містить теоретичні відомості з основних положень теми, якій присвячено завдання, взяті з нормативної чи довідкової літератури, підручників, посібників, методичних вказівок, періодичних наукових видань, патентної літератури, джерел Інтернет тощо.

Висновки розміщують після всіх розрахунків, опису теоретичного матеріалу і отриманих результатів. У висновках висвітлюються основні результати дослідження (розрахунків), наводяться рекомендації щодо їх практичного використання.

Бібліографічні описи подають у порядку, за яким вони вперше згадуються в тексті у відповідності з чинними стандартами бібліотечної і видавничої справ. Бібліографічний опис проводять на мові оригіналу.

У *додатках* (за наявності) надають допоміжний матеріал, необхідний для повноти сприйняття завдань роботи, розміщення якого в основній частині ускладнює її логічну послідовність. Це можуть бути таблиці й ілюстрації, які аналізуються в основному тексті роботи. У тексті роботи обов'язково повинні бути посилання на додатки, які наводяться в роботі.

3.3. АЛГОРИТМ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ НА ТЕМУ «РОЗРАХУНОК УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ»

3.3.1 Короткі теоретичні відомості. У природному і техногенному середовищах існує рівновага між фізичними, хімічними, фізико-хімічними і біохімічними процесами і явищами. Від зміни, наприклад, концентрації певної речовини (речовин), появи нових сполук або нових форм існування хімічних елементів, змін умов середовища тощо можуть не тільки змінитися швидкості зазначених процесів (наприклад, у бік прискорення або у бік гальмування), а й їх напрямок. Це стосується і живої, і неживої природи, причому, значні зміни середовища існування майже завжди відбиваються на стані і життєдіяльності живих організмів.

У неорганічному (мінеральному) середовищі надходження в систему надлишку певної речовини, наприклад, вуглекислого газу, може спричинити зміну рівноваги між карбонатами і гідрокарбонатами, призвести до

несприятливої зміни кислотності середовища, порушити механізми карбонатних буферних систем, змінити розчинність хімічних сполук і призвести до виникнення специфічних біогеохімічних аномалій.

Отже, теоретична частина розрахункової роботи повинна містити загальний опис обраного для аналізу підприємства, технологічної лінії тощо; опис видів, джерел і обсягів відходів, що утворюються під час його функціонування (будівництва); опис існуючих і перспективних технологій переробки, утилізації та/або знешкодження зазначених видів відходів. Необхідно відзначити і проаналізувати фізико-хімічні властивості шкідливих речовин – компонентів відходів, їх клас небезпеки, а також потенційний токсикологічний вплив на здоров'я людей і довкілля.

Зокрема, Класифікатор відходів (КВ) забезпечує інформаційну підтримку у вирішенні питань управління відходами на державному рівні на основі системи обліку і звітності, гармонізованої з нормативною базою країн ЄС та такої, що відповідає принципам циркулярної зеленої економіки і сталого розвитку, цілям захисту життя і здоров'я людей, навколишнього природного середовища тощо. Отже, використання КВ створює нормативну базу для проведення порівняльного аналізу структури і обсягів утворення відходів для різних видів підприємницької діяльності, а також послуг, пов'язаних з управлінням відходами на міжгалузевому, державному і міждержавному рівнях.

Таким чином, КВ є переліком відходів, що утворюються на території країни, систематизований за сукупністю таких ознак, як походження певного виду відходів; агрегатний і фізичний стан; небезпечні (токсикологічні) і фізико-хімічні властивості; шкідливий вплив на довкілля тощо. Вид відходу визначається тринадцятизначним кодом, що характеризує його класифікаційні ознаки. Так, перші вісім цифр використовуються для кодування джерела виникнення відходу; дев'ята та десята цифри використовуються для кодування агрегатного стану і фізичної форми відходу. Наприклад: 0 – дані не встановлено; 1 – твердий; 2 – рідкий; 3 – пастоподібний; 4 – шлам; 5 – гель;

6 – емульсія; 7 – суспензія; 8 – сипкий; 9 – гранулят; 10 – порошкоподібний; 11 – пилоподібний; 12 – волокно; 13 – готовий виріб, що втратив споживчі властивості; 99 – інше.

Одинадцята і дванадцята цифри використовуються для кодування небезпечних властивостей відходів і комбінацій цих властивостей: 0 – дані не встановлені; 1 – токсичність (Т); 2 – вибухонебезпечність (В); 3 – пожежонебезпечність (П); 4 – висока реакційна здатність (Р); 5 – містять збудників інфекційних захворювань (І); 6 – (Т + В); 7 – (Т + П); 8 – (Т + Р); 9 – (В + П); 10 – (В + Р); 11 – (В + І); 12 – (П + Р); 13 – (П + І); 14 – (Р + І); 15 – (Т + В + П); 16 – (Т + В + Р); 17 – (Т + П + Р); 18 – (В + П + Р); 19 – (В + П + І); 20 – (П + Р + І); 21 – (Т + В + П + Р); 22 – (В + П + Р + І); 99 – шкідливі властивості відсутні.

Тринадцята цифра використовується для кодування класу небезпеки шкідливої речовини для оточуючого навколишнього середовища: 0 – клас небезпеки речовини не визначено; 1 – I-й клас небезпеки; 2 – II-й клас небезпеки; 3 – III-й клас небезпеки і 4 – IV-й клас небезпеки. Найвищим рівнем класифікації є блоки, сформовані за ознаками походження відходу. Отже, на теперішній час сформовано 4 великі блоки, а саме:

- відходи органічного природного походження (тваринного і рослинного) код – 100 000 00 00 00 0;
- відходи мінерального походження – код 300 000 00 00 00 0;
- відходи хімічного походження – код 500 000 00 00 00 0;
- відходи комунальні, у т. ч. побутові – код 900 000 00 00 00 0.

Отже, для виконання завдання розрахункової роботи з курсу потрібно:

- обрати для аналізу певне підприємство (наприклад, тваринницьку ферму);
- узгодити з викладачем завдання і обговорити тип відходів, на які потрібно звернути особливу увагу;
- за наявними даними за допомогою КВ систематизувати відходи, що утворюються на підприємстві, наприклад, за походженням, агрегатним і

фізичним станом, за небезпечними властивостями і за ступенем шкідливого впливу на здоров'я людей і оточуюче природне середовище.

– оцінити обсяги і типи утворюваних у певному технологічному процесі відходів, описати отримані результати і надати прогнози стосовно позитивних чи несприятливих чинників, потенційних змін у навколишньому середовищі, враховуючи окремо або в комплексі хімічні, фізико-хімічні і біохімічні перетворення у компонентах біосфери;

– зробити висновки щодо небезпечності та/або перспективності того чи іншого напрямку переробки, утилізації або знешкодження зазначених відходів.

3.3.2 Основні вимоги до технологічного процесу виробництва біогазу.

Сьогодні надзвичайно актуальним завданням є заміна традиційних нафтових палив на альтернативні, тобто такі, що при їх спалюванні не дають значного «карбонового сліду» і не впливатимуть на зміну клімату на планеті. Отже, одним з таких перспективних напрямів альтернативної енергетики є виробництво біогазу. Цей ресурс передбачає біохімічне (і біотехнологічне) перетворення органічних речовин бактеріями і мікроорганізмами на продукти їхньої життєдіяльності.

Біогазові установки (БГУ) є перспективними для застосування в сільському господарстві, при переробці органічних речовин, що перебувають на сміттєзвалищах побутових відходів, у домашньому господарстві та на невеликих фермах. Отже, в даному прикладі розглянемо розрахунок БГУ для відходів великої рогатої худоби, що утворюються на модельному фермерському господарстві.

У дослідженому господарстві для виробництва біогазу використовується гній, який передбачено збирати, наприклад, у спеціальний жолоб, розташований у центрі приміщення ферми. Якщо гній без відповідної обробки відводити, наприклад, безпосередньо на поля, то це може спричинити багато проблем, оскільки твін містить більше 100 видів різних збудників хвороб тварин і людей. Отже, перед тим, як вивезти гній на поле, його необхідно

витримувати тривалий час задля знешкодження патогенів, позбавлення яєць гельмінтів і насіння бур'янів.

Метанове зброджування, яке є основним технологічним процесом отримання біогазу, відбувається при розкладанні органічних речовин у результаті життєдіяльності 2-х основних груп мікроорганізмів (хоча в цьому перетворенні беруть участь, за деяким даними, до тисячі видів мікроорганізмів): метаноутворюючі і кислотоутворюючі.

Головними вважаються метаноутворюючі бактерії, які розмножуються достатньо повільно і є дуже чутливими до змін умов навколишнього середовища. Отже, спочатку у зброджуваному середовищі (наприклад, метантенка) накопичуються летучі кислоти; тому першу стадію метанового зброджування називають кислотною. Далі швидкості утворення й переробки кислот певним чином вирівнюються, тому розкладання субстрату й утворення газу йдуть практично одночасно. При цьому інтенсивність виділення біогазу залежить від умов, які створюються для життєдіяльності метаноутворюючих бактерій. На рис. 3.1 подана схема метанового бродіння органічних відходів (речовин).



Рис. 3.1 Схема бродіння органічних речовин [22].

Анаеробне зброджування передбачає перетворення органічних речовин без доступу повітря чи кисню. Цей процес містить два основні етапи:

на першому складні біополімери та органічні речовини (наприклад, білки, жири, вуглеводи (клітковина) та ін.) під дією анаеробних бактерій розкладаються на більш прості сполуки – летучі жирні кислоти (мурашина кислота HCOOH , оцтова кислота CH_3COOH), нижчі спирти (метанол CH_3OH), водень H_2 і карбон(II) оксид CO (чадний газ). У невеликих кількостях у продуктах розкладу міститься гідроген сульфід H_2S (сірководень).

На другому етапі метаноутворюючі бактерії перетворюють органічні кислоти на метан CH_4 , вуглекислий газ CO_2 і воду H_2O .

Процеси метанового бродіння відбуваються при середніх (мезофільне бродіння) і високих (термофільне бродіння) температурах. При цьому найвища продуктивність досягається при термофільному метановому бродінні. Важливим у контексті принципів циркулярної зеленої економіки є і те, що метанове бродіння можна реалізувати як безперервний технологічний процес. Для нормального протікання процесу необхідні оптимальні умови в біореакторі (БР), а саме: температура, відсутність кисню (анаеробні умови), достатня концентрація живильних речовин, припустимий діапазон значень кислотності (рН), відсутність або низька концентрація токсикантів.

Температура є одним з найвпливовіших чинників; оптимальна температура процесу зброджування становить $(30\dots40)^\circ\text{C}$ (розвиток мезофільної бактеріальної флори), а також при температурі $(50\dots60)^\circ\text{C}$ (розвиток термофільної бактеріальної флори). Вибір мезофільного чи термофільного режиму роботи, в основному, ґрунтується на аналізі кліматичних умов місцевості. Крім того, для забезпечення термофільних температур необхідні значно більші витрати енергії, тому найчастіше БР експлуатують при мезофільних температурах.

Метанові бактерії проявляють свою активність, як правило, в діапазоні температур $(0\dots70)^\circ\text{C}$. Якщо температура процесу буде вищою, їх життєдіяльність сповільнюється, вони починають гинути (за винятком декількох штамів, які можуть жити при температурі середовища до 90°C). При мінусовій температурі бактерії виживають, але практично припиняють свою

життєдіяльність (нижньою межею вважається 3–4 °C). Разом з температурним режимом на процес метанового бродіння (і вихід біогазу) значний вплив чинить час обробки органічних відходів.

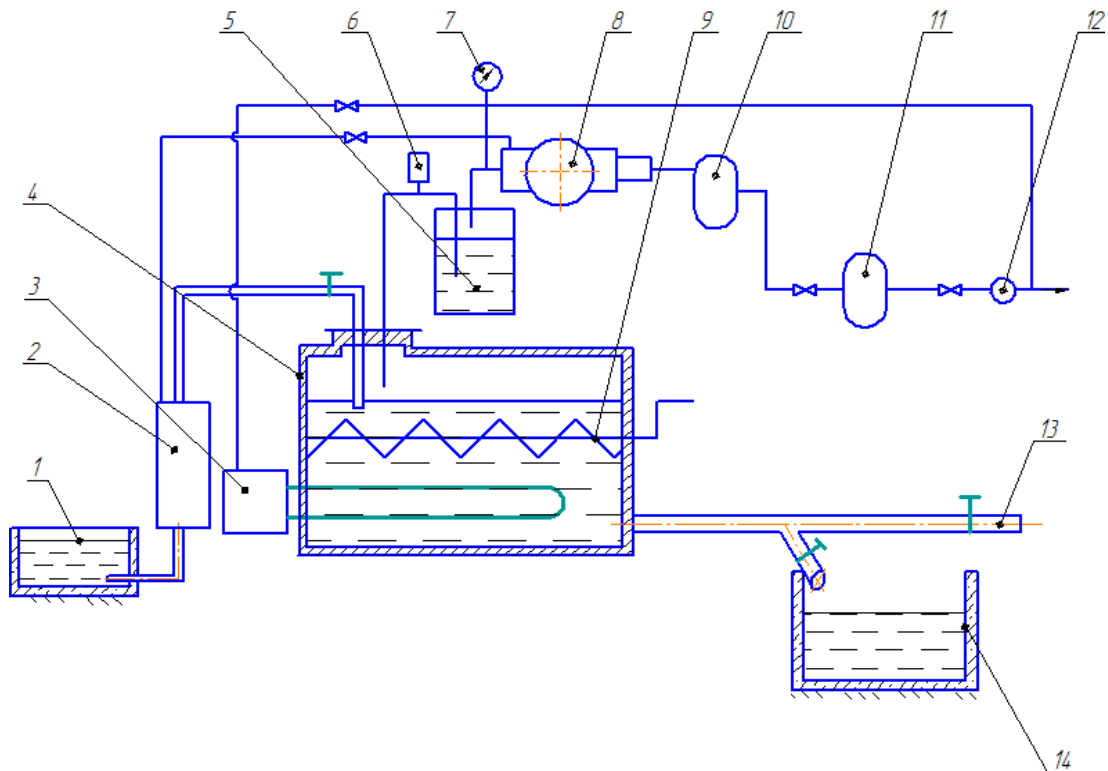
При повному зброджуванні біомаси біогаз містить (50...75) % метану CH_4 , (12...45) % вуглекислого газу CO_2 , до 1 % гідроген сульфід H_2S , а також невеликі кількості амоніаку NH_3 , азоту N_2 , водню H_2 і карбон(II) оксиду CO . Тривалість зброджування органічних відходів залежить від виду біомаси і температури зброджування. Так, для гною великої рогатої худоби і курячого посліду тривалість зброджування становить приблизно 20 діб, а для свинячого гною – 10 діб.

Газ, отриманий з метантенків міських очисних каналізаційних споруд, характеризується більш стабільним хімічним складом. Об'ємна частка основного горючого компоненту – метану – на різних очисних спорудах становить від 60 до 65 %. Більш значні коливання хімічного складу біогазу спостерігаються при переробці відходів сільського господарства (об'ємна частка біометану коливається від 50 до 75 %). Окрім того, при зброджуванні сільськогосподарських відходів може утворитися значна кількість гідроген сульфід H_2S (приблизно до 3 %), тому для використання такого біогазу потрібно передбачити його попередню очистку.

3.3.3 Розрахунок конструктивно-технологічних параметрів БГУ. Існує багато різних конструкцій БГУ. Вони відрізняються як за зовнішнім виглядом і методом завантаження сировини, так і за конструкцією, матеріалами, з яких вони споруджуються. При цьому вихід і хімічний склад біогазу залежить, як правило, від використовуваної сировини і технології виробництва. За оцінками фахівців, БГУ забезпечують отримання біогазу в кількості приблизно (350...500) m^3 при обробці 1 тонни сухої речовини відходів, знижуючі при цьому до 50 % енергетичні витрати на утилізацію відходів у вигляді біодобрив.

Біогазова установка складається з таких конструкційних елементів: приймального резервуара, камери зброджування (метантенк, біореактор),

нагрівального пристрою (теплообмінник), пристрою для перемішування субстрату, газгольдера і газового водопідігрівача (рис. 3.2).



1 – приймач органічних відходів (гною); 2 – бункер завантаження сировини; 3 – водонагрівний котел; 4 – метантенк (біореактор); 5 – водяний затвор; 6 – запобіжний клапан; 7 – манометр; 8 – компресор; 9 – мішалка; 10 – ресивер; 11 – газгольдер; 12 – газовий редуктор; 13 – труба для завантаження біогазу в транспорт; 14 – сховище біодобрив.

Рис. 3.2 Схема біогазової установки [8, 18]:

Сировина з бункера потрапляє до метантенка, де відбувається її зброджування, внаслідок чого утворюється біогаз, який надходить через водяний затвор у газгольдер. Метантенк виробляється повністю герметичним резервуаром з кислотостійкого залізобетону або нержавіючої сталі. Ця конструкція додатково теплоізолюється шаром утеплювача, товщина якого розраховується залежно від кліматичних умов місцевості. Усередині реактора підтримується фіксована і комфортна для мікроорганізмів, як правило, мезофільна температура; в окремих випадках застосовуються реактори з термофільним режимом.

Перемішування біомаси усередині БР можна проводити декількома способами, які обираються залежно від типу сировини, її вологості та інших параметрів. Біогаз зберігають у спеціальній ємності – газгольдері, де вирівнюється його тиск. Частина біогазу спрямовується до котла для підтримки необхідної температури в метантенку. Перемішування біомаси відбувається за допомогою мішалки, що приводиться в дію електродвигуном. Відпрацьована сировина з метантенку надходить до сховища біодобрива.

Таким чином, для розрахунку конструктивно-технологічних параметрів БГУ на тваринницькій фермі (або птахофермі) необхідно мати такі вихідні дані:

- кількість тварин (птахів) одного виду в приміщенні (за умовою, наприклад, 420 голів великої рогатої худоби);
- число видів тварин (птахів) – 1;
- середньомісячні температури навколишнього середовища t_{CP} , °С;
- температура процесу бродіння $t_{ПР}$, °С;
- товщина і-го шару елемента огорожування δ_i , м;
- коефіцієнт теплопровідності і-го шару елемента огороження λ_i , Вт/(м·°С).

Для розрахунку характеристик БГУ необхідно спочатку визначити добове надходження біомаси $m_{БМ}$, кг/добу, використовуючи формулу:

$$m_{БМ} = \sum n_{Т,j} m_{Пит,j},$$

де $n_{Т,j}$ – кількість тварин (птахів) j-го виду, голів;

$m_{Пит,j}$ – добова кількість відходів (екскрементів) від j-го виду тварин (птахів), кг/голову (табл. В.1, Додаток В).

Далі визначаємо частку сухої речовини в біомасі $m_{СР}$ за формулою:

$$m_{СР} = m_{БМ} \cdot \left(1 - \frac{\varphi_{БМ}}{100}\right)$$

де $\varphi_{БМ}$ – середня вологість біомаси, % (зокрема, гній великої рогатої худоби,

який, як правило, має середню вологість (85...90) %; гній свиней – (88...92) %; послід птахів – (73...76) %).

Масу сухої органічної речовини (COP) m_{COP} розраховуємо за формулою:

$$m_{COP} = m_{CP} \cdot \rho_{COP},$$

де ρ_{COP} – частка органічної речовини в сухій речовині (зокрема, для великої рогатої худоби ρ_{COP} становить (0,77...0,85); для свиней – (0,77...0,84); для птахів (0,76...0,77)).

Тоді об'єм метантенку V_{MT}, m^3 , становитиме:

$$V_{MT} = \frac{(0,7 \dots 0,9)m_{BM}\tau_B}{\rho_{BM}}$$

де τ_B – тривалість бродіння, діб (табл. В.2, Додаток В);

ρ_{BM} – густина зброджуваної біомаси, kg/m^3 (приймаємо $\rho_{BM} = 1020 kg/m^3$).

Визначаємо вихід біогазу $V_{ПОВ}, m^3$, при повному розкладанні COP:

i

$$V_{ПОВ} = m_{COP} \cdot n_{ЕК},$$

де $n_{ЕК}$ – вихід біогазу з 1 кг COP (для великої рогатої худоби $n_{ЕК} = 0,32 m^3/kg$; для свиней – $n_{ЕК} = 0,42 m^3/kg$; для курей – $n_{ЕК} = 0,45 m^3/kg$).

Далі розраховуємо об'єм отриманого біогазу V_B, m^3 , при обраній тривалості метанового бродіння:

$$V_B = V_{ПОВ} \frac{n_t}{100}$$

де n_t – частка виходу біогазу при обраній тривалості бродіння $\tau_B, \%$ (табл. В.2, Додаток В).

Визначимо об'єм біогазу, що виробляється упродовж місяця, $V_{\text{БГ}}^{\text{м}}, \text{м}^3/\text{міс.}$:

$$V_{\text{БГ}}^{\text{м}} = t_{\text{ДБ.М}} \cdot V_{\text{Б}}$$

де $t_{\text{ДБ.М}}$ – кількість діб у місяці.

Визначаємо об'єм біогазу, що виробляється в метантенку за рік, $V_{\text{БГ}}^{\text{рік}}, \text{м}^3/\text{рік}$, за формулою:

$$V_{\text{БГ}}^{\text{рік}} = 365 \cdot V_{\text{Б}}$$

Далі встановлюємо розміри реактора (метантенка). Як правило, метантенки мають циліндричну форму, а співвідношення висоти h до його внутрішнього діаметра d береться таким, що дорівнює $h/d = (0,9 \dots 1,3)$.

Тоді:

$$V_{\text{МТ}} = \frac{\pi d_{\text{В}}^2}{4} \cdot h$$

$$V_{\text{МТ}} = \frac{\pi d_{\text{В}}^2}{4} \cdot (0,9 \dots 1,3) d_{\text{В}}$$

Отже, з урахуванням об'єму метантенка $V_{\text{МТ}}$ визначаємо його діаметр $d_{\text{В}}, \text{м}$. Далі розраховуємо середньомісячний вихід біогазу. Для цього визначаємо кількість тепла, $Q_{\text{ПД}}, \text{МДж}$, що необхідне для підігріву маси сировини, яку завантажують в реактор (метантенк), до температури процесу зброджування:

$$Q_{\text{ПД}} = m_{\text{БМ}} \cdot c_{\text{БМ}} \cdot (t_{\text{ПР}} - t_{\text{ЗАВ}}) \cdot 10^{-3},$$

де $c_{\text{БМ}}$ – середня теплоємність біомаси: $c_{\text{БМ}} = (4,17 \dots 4,18) \text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$;

$t_{\text{ПР}}$ – температура процесу бродіння, $^\circ\text{С}$ (береться з вихідних даних);

$t_{\text{ЗАВ}}$ – температура біомаси, що завантажується, $^\circ\text{С}$.

Температура біомаси, що завантажується у метантенк, як правило, береться такою, що дорівнює середньомісячній температурі навколишнього

повітря t_{CP} , (див. вихідні дані). Якщо середньомісячна температура повітря менше $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, то приймається $t_{3AB} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Отже, розраховуємо середньомісячну кількість тепла за формулою:

$$Q_{\text{ПД}}^{\text{М}} = Q_{\text{ПД}} \cdot t_{\text{ДБ.М}},$$

де $t_{\text{ДБ.М}}$ – кількість днів у місяці (приймаємо 30 діб).

Далі визначаємо кількість теплоти $Q_{\text{ВТ}}$, Вт, що втрачається в процесі тепловіддачі через стінку реактора (метантенка) у довкілля:

$$Q_{\text{ВТ}} = k \cdot F \cdot (t_{\text{ПР}} - t_{\text{CP}}),$$

де k – коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

F – площа поверхні реактора (метантенка), м^2 ;

t_{CP} – середньомісячна температура повітря навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$.

Коефіцієнт тепловіддачі k , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$, визначаємо за формулою:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

де $1/\alpha_1$ – опір теплообміну у внутрішньої поверхні: $1/\alpha_1 = 0,005\text{ (м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)/Вт}$;

$1/\alpha_2$ – опір теплообміну у зовнішньої поверхні: $1/\alpha_2 = 0,4\text{ (м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)/Вт}$;

δ_i – товщина i -го шару елемента огороження (беремо бетонний метантенк товщиною δ_1 , м; теплоізоляція виконана у вигляді шлакобетону і земляного валу з товщинами δ_2 і δ_3 , м (див. вихідні дані));

λ_i – коефіцієнт теплопровідності i -го шару елемента огороження, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$ (див. вихідні дані).

Тоді коефіцієнт теплопередачі k , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$, розраховуємо за формулою:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

де $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – товщини шарів елемента огорожування, м;
 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – їхні теплопровідності, Вт/(м·°С).

У нашому розрахунку приймаємо товщину бетонного метантенку $\delta_1 = 0,3$ м; теплоізоляція виконана в вигляді шлакобетону товщиною $\delta_2 = 0,1$ м, а товщина земляного валу становить $\delta_3 = 1$ м. Тоді площу поверхні метантенка F , м², визначаємо за формулою:

$$F = S_{\text{БІЧ}} + 2S_{\text{ОСН}},$$

де $S_{\text{БІЧ}}$ – площа бічної поверхні метантенка, м²;

$S_{\text{ОСН}}$ – площа основи метантенка, м².

$$S_{\text{ОСН}} = \pi d_{\text{В}}^2/4;$$

$$S_{\text{БІЧ}} = \pi \cdot d_{\text{В}} \cdot h,$$

де $d_{\text{В}}$ – діаметр метантенка, м.

Переведемо кількість теплоти, що втрачається в навколишнє середовище, у МДж/міс:

$$Q_{\text{ВТ}}^{\text{М}} = 3,6 \cdot 10^{-3} Q_{\text{ВТ}} \cdot \tau_{\text{МІС}},$$

де $\tau_{\text{МІС}}$ – кількість годин в місяці, $\tau_{\text{МІС}} = 720$ год.

Загальну витрату енергії на механічне перемішування субстрату в реакторі $Q_{\text{МЕХ}}$, кВт·год, розраховуємо за формулою:

$$Q_{\text{МЕХ}} = q_{\text{НОРМ}} \cdot V_{\text{МТ}} \cdot z,$$

де $q_{\text{НОРМ}}$ – питома навантаження на мішалку: $q_{\text{НОРМ}} = 50$ (Вт·год)/м³;

$V_{\text{МТ}}$ – об'єм метантенка, м³;

z – тривалість роботи мішалки: $z = 8$ год/добу.

Переводимо отримані значення у МДж/міс:

$$Q_{\text{МЕХ}}^{\text{М}} = 3,6 \cdot Q_{\text{МЕХ}} \cdot t_{\text{ДБ.М}}$$

де $t_{\text{ДБ.М}}$ – кількість діб у місяці (приймається $t_{\text{ДБ.М}} = 30$ діб).

Загальні затрати енергії на підтримання процесу бродіння впродовж місяця, $Q_{\text{ЗАГ}}$, МДж/міс, становлять:

$$Q_{\text{ЗАГ}} = Q_{\text{ПІД}}^{\text{М}} + Q_{\text{ВГ}}^{\text{М}} + Q_{\text{МЕХ}}^{\text{М}}.$$

Отже, кількість біогазу, необхідного для підтримання процесу бродіння $V_{\text{БГЗ}}^{\text{М}}$, м³/міс., становить:

$$V_{\text{БГЗ}}^{\text{М}} = Q_{\text{ЗАГ}} / q_{\text{БГ}},$$

де $q_{\text{БГ}}$ – теплотворна здатність біогазу; $q_{\text{БГ}} = 23$ МДж/кг.

Товарна місячна кількість біогазу $V_{\text{БГ ТОВ}}^{\text{М}}$, м³/міс., дорівнюватиме:

$$V_{\text{БГ ТОВ}}^{\text{М}} = V_{\text{БГ}}^{\text{М}} - V_{\text{БГЗ}}^{\text{М}}.$$

Розрахуємо потенційну енергію біогазу $Q_{\text{ВИР}}$, МДж/рік, що виробляється упродовж року:

$$Q_{\text{ВИР}} = V_{\text{БГ}}^{\text{РІК}} \cdot q_{\text{БГ}},$$

де $V_{\text{БГ}}^{\text{РІК}}$ – загальна продуктивність метантенку по біогазу, м³/рік.

Далі визначимо:

– енергетичний ефект біогазової установки $E_{\text{Б}}$ за рік, МДж/рік, за формулою:

$$E_{\text{Б}} = V_{\text{БГ ТОВ}}^{\text{РІК}} \cdot q_{\text{БГ}};$$

– коефіцієнт товарності біогазової установки, %:

$$K_{\text{ТОВ}} = \frac{E_{\text{Б}}}{Q_{\text{ВИР}}} \cdot 100$$

– річну економію умовного палива, т у.п./рік:

$$V_{\text{уп}} = \frac{E_{\text{Б}}}{29330}$$

де 29330 МДж/т у.п. – теплота згоряння умовного палива.

Для розрахунку річної економії природного газу врахуємо, що теплота згорання біогазу становить $\sim (20...25)$ кДж/м³. Отже, спалювання 1 м³ біогазу приблизно еквівалентно $(0,6...0,8)$ м³ природного газу, 0,74 л нафти або 0,66 л дизельного палива. Тоді об'єм природного газу, заощадженого за рахунок переробки органічних відходів ферми за рік, становитиме:

$$V_{\text{пр.газу}}^{\text{рік}} = (0,6...0,8) \cdot V_{\text{БГ}}^{\text{рік}}$$

Річну економію природного газу визначаємо за формулою:

$$E^{\text{рік}} = C_{\text{пр.газу}} \cdot V_{\text{пр.газу}}^{\text{рік}},$$

де $C_{\text{пр.газу}}$ – ціна 1 м³ природного газу, грн.

Отже, термін окупності біогазової установки становитиме:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{дод.}} / E^{\text{рік}},$$

де $K_{\text{дод.}}$ – додаткові капіталовкладення, грн.;

$E^{\text{рік}}$ – річна економія, грн.

Розрахуємо річний економічний ефект:

$$E = E^{\text{рік}} - k_{\text{н}} \cdot K_{\text{дод.}}$$

де $k_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень; $k_{\text{н}} = (0,12...0,15)$; у розрахунках приймаємо $k_{\text{н}} = 0,15$.

Висновок.

Таким чином, у роботі:

- проведено розрахунок БГУ для відходів ферми великої рогатої худоби;
- встановлено конструктивно-технологічні характеристики установки, яка надає змогу переробляти відходи тваринництва на біогаз;
- визначено перспективи використання біогазу для генерації електроенергії для забезпечення потреби господарства;
- розраховано термін окупності БГУ та економію природного газу за рахунок використання отриманого з органічних відходів біогазу.

НАВЧАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА РЕСУРСИ

Базова література

1. Сторожук В. М. Технології захисту навколишнього середовища. Поводження з відходами : Підручник / В. М. Сторожук, О. В. Мельников, Б. Я. Кшивецький, Г. В. Сомар [та 2 інших] ; Міністерство освіти і науки України, Національний лісотехнічний університет України. Київ : Видавничий дім "Професіонал", 2023. 352 с. URL : https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000641100&local_base=KPI01
2. Інноваційні хімічні технології переробки вторинних матеріалів. Частина 1 [Електронний ресурс] : навчальний посібник / О. І. Янушевська, Г. В. Кримець, М. І. Літинська; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 99 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/fba5314f-5e62-4d2a-895e-8faf44503b22/content>
3. Циркулярна політика управління відходами: Підручник / А. І. Крисоватий, Р. Є. Зварич, І. Я. Зварич. Тернопіль : ЗУНУ, 2023. 460 с. URL : <https://dspace.wunu.edu.ua/handle/316497/47975>
4. Система управління відходами в циркулярній економіці: фінансові, соціальні, екологічні та енергетичні детермінанти / за заг. ред. А. С. Росохатої, М. Г. Мінченко. Суми : Сумський державний університет, 2023. 313 с. URL : https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/94860/3/Khomenko_waste.pdf
5. Радовенчик В. М. Тверді відходи: збір, переробка, складування : навчальний посібник для вищих навчальних закладів / В. М. Радовенчик, М. Д. Гомеля. Київ : Кондор, 2022. 549 с. URL: https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000642499&local_base=KPI01
6. Управління та поводження з відходами. Частина 2. Тверді побутові відходи : навчальний посібник / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С. М. Кватернюк та ін. Вінниця : ВНТУ, 2015. 100 с. URL : <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/925>

Додаткова література

1. Тверда О. Я., Ткачук К. К., Кофанов О. Є., Кофанова О. В. Вовк О. О., Бондаренко А. О. Інтенсифікація видобутку будівельної сировини та виробництва будівельних матеріалів для відновлення порушеної інфраструктури України. Вісник НУВГП Серія «Технічні науки». 2022. № 1(97). С. 65–73. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt120227>
2. Горбаль Н. І., Сліпачик С. В. Циркулярна економіка: Особливості та перспективи впровадження в Україні в умовах війни. 2023. № 2 (9). С. 257–268. URL : <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2023/dec/32720/menedzhment223maket-257-268.pdf>
3. Хумарова Н. І. Відповідальне поводження з відходами: принципи сталості та інклюзивності : монографія / Н. І. Хумарова, А. П. Коджебаш, М. М. Петрушенко ; Національна академія наук України, Інститут проблем ринку та економіко-екологічних досліджень. Одеса : Інститут проблем ринку та економіко-екологічних досліджень, 2020. 199 с. URL : https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000635706&local_base=KPI01
4. Сучасні екологічно чисті технології: Курс лекцій [Електронний ресурс] : навчальний посібник. / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : В. М. Павленко, В. Ю. Тобілко, А. І. Бондарєва. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 78 с. URL : <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/6a78116f-97f5-43d7-93d6-d79c09d25a7b/content>
5. Борук С. Д. Створення та властивості альтернативних палив на основі некондиційних і вторинних енергоресурсів (відходи енергогенеруючих, хімічних, харчових підприємств) : монографія / С. Д. Борук, А. С. Макаров, О. І. Єгурнов ; Міністерство освіти і науки України, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича. Чернівці : Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 2021. 281 с. URL : https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000639055&local_base=KPI01

6. Лавринюк З. В. Управління та поводження з відходами. Конспект лекцій. Луцьк : «Вежа Друк», 2022. 74 с. URL : <https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/21236/1/upravl.pdf>

7. Утилізація та рекуперація відходів: переробка відходів целюлозно-паперових виробництв : навчальний посібник / В. В. Галиш, В. М. Радовенчик, Я. В. Радовенчик, М. Г. Гомеля ; Міністерство освіти і науки України, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 75 с. URL : https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000638848&local_base=KPI01

8. Поводження з муніципальними відходами: навчальний посібник / І. В. Коваленко, І. О. Кузнецова, Р. І. Шевченко, О. Л. Гаркович; Одеса : ОНАХТ «Академія», 2018. 150 с. URL : <https://card-file.ontu.edu.ua/bitstream/123456789/7916/1/738-A.pdf>

9. Колодійчук І. А. Формування територіально збалансованих систем управління відходами: регіональний вимір : монографія. Львів : ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долішнього НАН України», 2020. 524 с. URL : <http://194.44.193.54:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/574/Monograf-20-05-11.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

10. Екологічна безпека інженерної діяльності. Практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Ткачук К. К., Тверда О. Я., Вовк О. О., Кофанов О. Є. Електронні текстові дані (1 файл: 877,61 Кбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 49 с. URL : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/63283>

11. Зміни клімату та декарбонізація промислового сектору [Електронний ресурс] : Підручник / О. Я. Тверда, К. К. Ткачук, О. О. Вовк, О. В. Кофанова, О. Є. Кофанов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 5,77 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 149 с. URL : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/65671>

12. Кофанов О. Є., Зозульов О. В., Кофанова О. В. Зелені технології та маркетинговий інструментарій у забезпеченні сталого розвитку підприємств

гірничодобувної промисловості. *Маркетинг і цифрові технології*. 2023. № 2. С. 19–31. URL : <https://mdt-opu.com.ua/index.php/mdt/article/view/299>

13. Кофанов О. Є., Писаренко Н. Л., Кофанова О. В. Інноваційність управлінських заходів та маркетингового інструментарію зеленої економіки в діджиталізованому суспільстві знань. *Економічний вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут»*. 2023. № 26 С. 120-127. URL: <https://ev.fmm.kpi.ua/issue/view/17041>

14. Технології захисту навколишнього середовища : Підручник. Ч. 4 : Технології поводження з відходами харчових виробництв / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, Р. В. Петрук та ін. ; Вінниц. нац. техн. ун-т., Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. 520 с. URL: <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONANT.1618546>

15. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80>

Інформаційні ресурси

1. EU implementation of bioenergy technologies for waste recycling. Educational Module Jean Monnet BIOINWASTE. URL : https://bioinwaste.ecolog.sumdu.edu.ua/?page_id=199

2. Official YouTube channel of Educational module Jean Monnet BIOINWASTE. YouTube. URL : <https://www.youtube.com/@bioinwaste>

3. Проект Національного плану управління відходами України до 2033 року. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL : <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://mep.gov.ua/wp-content/uploads/2023/12/proyekt-Natsionalnyj-plan-upravlinnya-vidhodamy-23.11-002.docx&ved=2ahUKEwi8wpXEgp2PAxWjQUIHVcAGSoQFnoECCYQAQ&usg=AOvVaw0aApYQgEp83MbLxEJT2uSF>

ГЛОСАРІЙ ТЕРМІНІВ В СФЕРІ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

(з використанням термінології, наданої у Законі України «Про управління відходами». *Відомості Верховної Ради (ВВР)*. 2023. № 17. ст.75 {із змінами})

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

Великогабаритні відходи – побутові відходи, що за розміром не можуть бути поміщені у контейнери об'ємом до 1,1 м³;

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

Відновлення відходів – операція, у результаті якої відходи використовуються для корисних цілей, замінюючи матеріали, які мали бути використані для виконання певної функції або які підготовлені для виконання цієї функції на підприємстві чи в іншій господарській діяльності.

Відновлення матеріалів – будь-яка операція з відновлення матеріалів, інша, ніж виробництво енергії та перетворення відходів у матеріали, що можуть бути використані як паливо або для іншого виробництва енергії, яка може включати підготовку відходів до повторного використання, рециклінг, зворотне заповнення та інші операції;

Відходи – будь-які речовини, матеріали і предмети, яких їх власник позбувається, має намір або повинен позбутися;

Відходи будівництва та знесення – відходи, що утворилися внаслідок діяльності з капітального ремонту, будівництва або знесення будівель і споруд;

Відходи тваринного походження – загиблі тварини, відходи, що утворилися внаслідок виготовлення продукції із тваринної сировини,

непридатної для споживання людиною і твариною, а також підлягають обов'язковій утилізації, крім продуктів метаболізму, що використовуються для виробництва біогазу або органічних добрив.

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

Відходи, що не є небезпечними, – відходи, які не мають властивостей, що роблять їх небезпечними.

Власник відходів – фізична особа, юридична особа, яка утворює відходи або яка відповідно до закону володіє, користується і розпоряджається відходами;

Декларація про відходи – документ, який згідно з цим Законом подають утворювачі відходів у разі, якщо їхня діяльність призводить до утворення небезпечних відходів або річний обсяг утворення відходів, що не є небезпечними, перевищує 50 т;

Державний класифікатор відходів – систематизований перелік кодів та назв відходів, призначений для використання в державній статистиці з метою надання різнобічної та обґрунтованої інформації про утворення, накопичення, оброблення (перероблення), знешкодження та видалення відходів.

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

Зберігання відходів – утримання відходів на об'єктах збирання, у тому числі до їх оброблення, протягом не більше одного року з моменту їх утворення, що є безпечним для здоров'я людей та навколишнього природного середовища відповідно до екологічних та санітарно-епідеміологічних вимог;

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

Зворотне заповнення – операція з відновлення, у результаті якої придатні для цього відходи, що не є небезпечними та/або інертними, використовуються для заповнення гірничих виробок (пустот), рекультивації відпрацьованих гірничих об'єктів, інших ландшафтних робіт, замінюючи при цьому матеріали, які не є відходами;

Ієрархія управління відходами впроваджується центральними та місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, підприємствами, установами та організаціями з метою (у порядку пріоритетності):

- запобігання утворенню відходів;
- підготовки відходів до повторного використання;
- рециклінгу;
- відновлення відходів (у тому числі виробництва енергії);
- видалення відходів.

Інертні відходи – відходи, що не зазнають фізичних, хімічних чи біологічних змін і трансформацій, не розкладаються, не горять, не розкладають, не здійснюють негативного впливу на інші предмети, з якими контактують, та не завдають шкоди здоров'ю людей і не призводять до забруднення навколишнього природного середовища;

Медичні відходи – відходи, що утворюються внаслідок здійснення діяльності з медичного обслуговування або ветеринарної практики, здійснення експертиз та досліджень у сфері охорони здоров'я, ветеринарної медицини, у тому числі наукових або дослідницьких робіт;

Небезпечні відходи – відходи, що мають одну чи більше властивостей, що роблять їх небезпечними (тобто створюють або можуть створити значну небезпеку для навколишнього природного середовища і здоров'я людини та які потребують спеціальних методів і засобів поводження з ними).

Об'єкт оброблення відходів – установка, інженерна споруда або інший об'єкт, що використовується для здійснення операцій з відновлення або видалення відходів;

Оброблення відходів – операція з відновлення або видалення відходів, включаючи підготовку відходів до таких операцій;

Операції з управління відходами – збирання, перевезення, відновлення та видалення відходів;

Перевезення відходів – операція, що полягає у транспортуванні відходів від місця їх утворення до об'єкта оброблення відходів, а також від одного місця/об'єкта до іншого;

Підготовка відходів до повторного використання – проведення операцій з відновлення (перевірка, очищення або ремонт), після яких речовини, предмети та/або їх складові (компоненти), які були відходами, можуть бути використані повторно без будь-якого іншого оброблення;

Повторне використання продукції – будь-яка операція, після проведення якої продукція або її складові (компоненти), що не є відходами, повторно використовуються з тією самою метою, для якої вони були призначені;

Побутові відходи – змішані та/або роздільно зібрані відходи від домогосподарств, включаючи відходи паперу, картону, скла, пластику, деревини, текстилю, металу, упаковки, біовідходи, відходи електричного та електронного обладнання, відходи батарей та акумуляторів, небезпечні відходи у складі побутових, великогабаритні та ремонтні відходи, а також змішані та/або роздільно зібрані відходи з інших джерел, якщо ці відходи подібні за своїм складом до відходів домогосподарств.

Побутові відходи не включають відходи промисловості, сільського і лісового господарства, рибальства та аквакультури, резервуарів для септиків, каналізаційних мереж та відходи їх оброблення, включаючи осад стічних вод, транспортні засоби, строк експлуатації яких закінчився, відходи будівництва та знесення, вуличний змет, медичні відходи;

Полігон – місце захоронення відходів, призначене для їх розміщення на поверхні чи під поверхнею (підземне) землі, включаючи:

– внутрішні місця для видалення відходів, на яких утворювач відходів – суб'єкт господарювання здійснює видалення власних відходів на місці утворення;

– постійні місця, на яких відходи розміщуються понад один рік;

Послуга з управління побутовими відходами – операції із збирання, перевезення, відновлення та видалення побутових відходів, а також діяльність, пов'язана з організацією роботи системи управління побутовими відходами, що здійснюється виконавцем послуги з управління побутовими відходами;

Приймання відходів – отримання відходів, що утворилися в результаті споживання/використання продукції, до виробників якої законом встановлена розширена відповідальність виробника, у місцях продажу, адміністративних, соціальних, громадських, комерційних, розважальних, рекреаційних, туристичних та інших закладах, а також мобільними пунктами приймання відходів у встановленому законом порядку;

Радіоактивні відходи – матеріальні об'єкти та субстанції, активність радіонуклідів або радіоактивне забруднення яких перевищує межі, встановлені діючими нормами, за умови, що використання цих об'єктів та субстанцій не передбачається (крім розділу XIII, де цей термін вживається у значенні відповідно до частини другої цієї статті) (ЗУ «Про використання ядерної енергетики та радіаційну безпеку», ст.1).

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

Роздільне збирання відходів – збирання відходів окремо залежно від їх виду, характеристики та складу у спосіб, що сприятиме їх подальшому обробленню;

Розширена відповідальність виробника – комплекс економічних, фінансових, адміністративних та організаційних заходів для забезпечення відповідальності виробників певних видів продукції за управління стадією відходів у життєвому циклі продукції;

Система управління побутовими відходами – комплекс заходів із збирання, перевезення та оброблення побутових відходів, включаючи створення та забезпечення діяльності об'єктів, нагляд за ними та подальший догляд за об'єктами видалення побутових відходів, а також діяльність суб'єктів господарювання, що здійснюють окремі операції з управління побутовими відходами в межах територіальної громади або декількох територіальних громад;

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

Суб'єкт господарювання у сфері управління відходами – юридична особа або фізична особа-підприємець, що здійснює збирання, купівлю, зберігання, перевезення, відновлення та/або видалення відходів відповідно до законодавства;

Термічне оброблення відходів – технологічний процес з термічного оброблення відходів, який відповідає правилам технічної експлуатації відповідної установки;

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

Утилізація відходів – використання відходів як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів;

Установка спалювання відходів – будь-яка стаціонарна або мобільна технічна одиниця та обладнання, призначене для термічного оброблення відходів, з відновленням утворюваного при горінні тепла або без нього, з метою видалення шляхом спалювання за допомогою окислення, а також інших процесів термічного оброблення, таких як піроліз, газифікація, плазмовий процес, якщо речовини, що утворюються в результаті термічного оброблення, у подальшому спалюються;

Установка сумісного спалювання відходів – будь-яка стаціонарна або мобільна технічна одиниця, призначена для виробництва енергії або виробництва матеріальних продуктів, яка використовує відходи як звичайне або додаткове паливо або в якій відходи проходять термічне оброблення з метою видалення шляхом спалювання за допомогою окислення, а також інших процесів термічного оброблення, таких як піроліз, газифікація, плазмовий процес, якщо речовини, що утворюються в результаті термічного оброблення, у подальшому спалюються;

Утворювач відходів – фізична особа, юридична особа, в результаті діяльності якої утворюються відходи, а також суб'єкти управління відходами, які здійснюють операції із сортування, змішування або інші операції, що призводять до зміни характеристик або складу відходів.

ВИКОРИСТАНІ ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

1. Абашина К. О., Хандогіна О. В. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Утилізація промислових відходів». Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім.О.М. Бекетова, 2016. 58 с. URL : <https://core.ac.uk/reader/78066340>.
2. Біогазові технології: теорія і практика : монографія / В. М. Желих, Ю. В. Фурдас ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львів політехніка". Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. 164 с.
3. Бригінець К. Д., Абашина К. О. Утилізація промислових відходів. Основи утилізації відходів: конспект лекцій (для студентів 3 курсу денної та 5 курсу заочної форм навчання напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»); Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Х. : ХНАМГ, 2012. 58 с.
4. Державний класифікатор України. Класифікатор відходів ДК 005-96. URL : <http://uapravo.net/data/akt53/page1.htm>.
5. Дорожні огороження. ТзОВ «Українська фабрика сталевих продуктів» : веб-сайт. URL : <https://ufsp.com.ua/dorozhni-ogorodzhennya/> (дата звернення: 14.03.2025).
6. Конспект лекцій з дисципліни «Управління та поводження з відходами» / Сорока Ю.М., Гунько С.О. Кам'янське: ДДТУ, 2017. 225 с. URL: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/42/5-42-k11.pdf>
7. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 6 «Технологія гальванічного нанесення покриття» з дисципліни «Інженерія поверхні» для студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» для всіх форм навчання / Укл. : С. П. Бережний. Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. 10 с.
8. Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування «Розрахунок біогазової установки для сільськогосподарської ферми» за курсом

«Нетрадиційні та поновлюванні джерела енергії» для студентів спеціальностей 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та 144 «Теплоенергетика» всіх форм навчання / уклад.: О. В. Кошельник, В. Г. Павлова, О. В. Долобовська. Харків : НТУ «ХП», 2019. 22 с.

9. Міщенко В.С., Виговська Г.П. Організаційно-економічний механізм поводження з відходами в Україні та шляхи його вдосконалення. К. : Наукова думка, 2009. 295 с.

10. Мовсесов Г. Є., Ляшенко О. О. Основні положення технології біогазового (анаеробного метанового) зброджування органічних відходів : Рекомендації / Інститут механізації тваринництва НААФІ України. Запоріжжя : ІМТ НААН України, 2010. 29 с.

11. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80>.

12. Основи електрохімії : навч. посіб. / О. В. Кислова, І. С. Макеєва. К. : КНУТД, 2017. 128 с. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/9401/3/Kislova_Makeeva_NP.pdf

13. Організація ефективного поводження з відходами: як діяти органам місцевого самоврядування (посібник для органів місцевого самоврядування) / А. Войціховська, Н. Куць, М. Панькевич, Л. Тимошук; за заг. ред. О. Кравченко. Львів : Вид-во «Компанія “Манускрипт”», 2018. 108 с.

14. Підготовка з радіаційного, хімічного, біологічного захисту. Довідковий матеріал командирам підрозділів (інструкторам) для підготовки до проведення занять з підготовки з радіаційного, хімічного, біологічного захисту. Центр оперативних стандартів і методики підготовки збройних сил України спільно з головним управлінням підготовки збройних сил України. URL : <https://ivms.mil.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/pidgotovka-z-rhb-zahystu.pdf>.

15. Поліщук В. М., Лободко М. М., Дубровіна О. В. Біотехнологічні основи виробництва біогазу. *Науковий вісник Національного університету*

біоресурсів і природокористування: Зб. наук. праць. Київ, 2013. № 185. Ч. 2. С. 289–296.

16. Радовенчик В.М., Гомеля М.Д. Тверді відходи: збір, переробка, складування : навчальний посібник. К. : Кондор, 2010. 552 с.

17. Рибалова О. В. Поводження з відходами : курс лекцій. Харків : НУЦЗУ, 2016. 530 с.

18. Скляр О.Г., Скляр Р.В. Обґрунтування схеми біогазової установки для господарств України. Електронний Інституційний репозитарій Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного : веб-сайт. URL: <https://elar.tsatu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/ad7dcef0-3a98-4224-b545-af7603af5e87/content> (дата звернення: 21.03.2025)

19. Студінський В.А. Управління твердими побутовими відходами в містах України : монографія. К. : Видавництво «КІМО», 2006. 152 с.

20. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок / Голуб Г., Войтенко В., Рубан Б, Єрмоленко В.]: *Техніка і технології АПК*. 2012. № 2 (29). С. 18–21.

21. Тарасенко С. Є. Методика розрахунку енергетичного балансу метантенка. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК*. 2013. Вип. 185(3). С. 322–328. URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2013_185%283%29_40.

22. Технологія виробництва біогазу. UTC : веб-сайт. URL: <https://utc.bio/biogazovi-kompleksy/proczes-utvorennya-biogazu/> (дата звернення: 17.03.2025).

23. Управління та поводження з відходами: Підручник / Т.П. Шаніна, О.Р. Губанова, М.О. Клименко, Т.А. Сафранов, В.Ю. Коріневська, О.О. Бедункова, А.І. Волков; за ред. Т.А.Сафранова, М.О. Клименка. Одеса : 2011. 258 с.

24. Управління та поводження з відходами. Частина 2. Тверді побутові відходи : навчальний посібник / Петрук В. Г., Васильківський І. В., Кватернюк С. М. та ін. Вінниця : ВНТУ, 2015. 100 с.

25. Управління та поводження з відходами. Частина 3. Полігони твердих побутових відходів : навчальний посібник / Петрук В. Г., Васильківський І. В., Іщенко В. А. Петрук Р.В. Вінниця : ВНТУ, 2016. 137 с.

26. Kramarenko R. M., Pavliukh L. I. Utilization and recuperation of wastes: навчальний посібник. К. : НАУ, 2014. 240 с.

27. Neumatico de construccion radial y diagonal. *El asombroso sistema armonizado* : веб-сайт. URL: <https://elasombrososistemaarmonizado.blogspot.com/2009/03/consulta-neumatico-de-construccion.html> (дата звернення: 12.03.2025).

ДОДАТКИ

Стандартні потенціали φ^0 деяких металевих електродів

Метал	Електродна реакція	φ^0 , В	Метал	Електродна реакція	φ^0 , В
Li	$\text{Li}^+ + \bar{e} \Leftrightarrow \text{Li}^0$	-3,05	Cd	$\text{Cd}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Cd}$	-0,40
K	$\text{K}^+ + \bar{e} \Leftrightarrow \text{K}$	-2,92	Co	$\text{Co}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Co}$	-0,28
Ba	$\text{Ba}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Ba}$	-2,91	Ni	$\text{Ni}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Ni}$	-0,25
Ca	$\text{Ca}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Ca}$	-2,87	Sn	$\text{Sn}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Sn}$	-0,14
Na	$\text{Na}^+ + \bar{e} \Leftrightarrow \text{Na}$	-2,71	Pb	$\text{Pb}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Pb}$	-0,13
Mg	$\text{Mg}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Mg}$	-2,27	Fe	$\text{Fe}^{3+} + 3\bar{e} \Leftrightarrow \text{Fe}$	-0,04
Be	$\text{Be}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Be}$	-1,85	H	$2\text{H}^+ + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{H}_2$	0,0
Al	$\text{Al}^{3+} + 3\bar{e} \Leftrightarrow \text{Al}$	-1,66	Cu	$\text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Cu}$	+0,34
Ti	$\text{Ti}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Ti}$	-1,63	Ag	$\text{Ag}^+ + \bar{e} \Leftrightarrow \text{Ag}$	+0,80
Mn	$\text{Mn}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Mn}$	-1,18	Hg	$\text{Hg}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Hg}$	+0,85
Zn	$\text{Zn}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Zn}$	-0,76	Pt	$\text{Pt}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Pt}$	+1,19
Cr	$\text{Cr}^{3+} + 3\bar{e} \Leftrightarrow \text{Cr}$	-0,71	Au	$\text{Au}^{3+} + 3\bar{e} \Leftrightarrow \text{Au}$	+1,42
Fe	$\text{Fe}^{2+} + 2\bar{e} \Leftrightarrow \text{Fe}$	-0,44			

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА
ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ
КАФЕДРА ГЕОІНЖЕНЕРІЇ**

РОЗРАХУНКОВА РОБОТА

з навчальної дисципліни

«Інноваційні технології поводження з відходами»

Спеціальність G2 «Технології захисту навколишнього середовища»,
освітня програма «Екоєфективне повоєнне відновлення забруднених територій»

Виконав(ла):

студент(ка) групи _____

ПІБ _____

Перевірив/ла:

ПІБ _____

ДОДАТОК В*Таблиця В.1*

Добовий вихід гною (посліду) сільськогосподарських тварин і птахів

Тварини, птахи	Маса, кг
Корови	35–55
Молодняк ВРХ	
до 6 міс.	7,5–15
6–12 міс.	14–26
12–18 міс.	27
більше 18 міс.	35
Свині масою, кг:	
до 40	3–3,5
40–80	4,5–5
більше 80	6–6,5
Кури:	
яєчного напрямку	0,17–0,2
м'ясного напрямку	0,27–0,3

Таблиця В.2

Залежність ступеня розкладання біомаси від завантаження реактора та тривалості зброджування

Відходи	Тривалість зброджування τ_b , діб	Ступінь розкладання n_i , %
Велика рогата худоба	15	40
Свині	10	50
Кури	50	55

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

УДК 628.4 (075.8) : 504.064.4

I66

I66

Інноваційні технології поводження з відходами [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів другого магістерського рівня вищої освіти спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньої програми «Екоефективне повоєнне відновлення забруднених територій» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : О. В. Кофанова, О. Я. Тверда, К. К. Ткачук, О. Є. Кофанов. Електронні текстові дані (1 файл). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 196 с.

Вивчення дисципліни «Інноваційні технології поводження з відходами» надає змогу здобувачам другого магістерського рівня вищої освіти спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища» ОП «Екоефективне повоєнне відновлення забруднених територій» ознайомитися з актуальними проблемами управління відходами в контексті екоефективного відновлення забруднених територій у післявоєнний період відбудови держави та враховуючи принципи циркулярної та зеленої економіки і сталого розвитку. Основна увага приділяється сучасним та інноваційним методам збирання, сортування і транспортування відходів; методам і технологіям поводження з відходами військово-промислового комплексу та інших напрямів промисловості, екологічним аспектам управління в сфері відходів. Посібник допоможе у підготовці до лекційних і практичних занять з дисципліни; містить рекомендації щодо виконання розрахункової роботи, написання пояснювальної записки та оформлення презентації, завдання до практичних занять і питання для підготовки до заліку. Посібник може бути використаний студентами технічних спеціальностей різних рівнів підготовки, які вивчають вплив техногенних об'єктів на природне середовище і здоров'я людини.

© Кофанова О. В., Тверда О. Я., Ткачук К. К., Кофанов О. Є.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025

Реєстр. № НП 24/25-628. Обсяг 8,2 авт. арк.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

UDC 628.4 (075.8) : 504.064.4

Innovative technologies for waste management [Electronic resource] : The textbook for students pursuing a master's degree in the specialty G2 'Environmental Protection Technology' of the educational program 'Ecologically efficient post-war restoration of polluted territories.' / Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute ; O. Kofanova, O. Tverda, K. Tkachuk, O. Kofanov. Electronic text data (1 file). Kyiv : Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2025. 196 p.

The textbook is a comprehensive guide for solving practical problems and reinforcing theoretical material in the discipline 'Innovative Technologies for Waste Management' for students pursuing a master's degree in the specialty G2 'Environmental Protection Technology' of the educational program 'Ecologically efficient post-war restoration of polluted territories.' The textbook is dedicated to the current issues of waste management in the context of eco-efficient restoration of polluted territories in the post-war period of state reconstruction, taking into account the principles of circular green economy and sustainable development. The main focus is on modern and innovative methods of waste collection, sorting, and transportation; methods and technologies for handling waste from the military-industrial complex and other industries; and environmental aspects of waste management. The textbook will help in preparing for lectures and practical classes in the discipline; it contains recommendations for performing calculation work, writing explanatory notes and preparing presentations, tasks for practical classes, and questions for preparing for the final examination assignment. The manual can be used by students of technical specialties at various levels of training who study the impact of technogenic objects on the natural environment and human health.

© Kofanova O., Tverda O., Tkachuk K., Kofanov O.

© National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 2025

Реєстр. № НП 24/25-628. Обсяг 8,2 авт. арк.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.