

Міністерство освіти і науки України
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету

Д. В. Прутцьков, Г. Б. Кожемякін

ТЕХНОЛОГІЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

Конспект лекцій
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра
спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища»
освітньо-професійної програми
«Технології захисту навколишнього середовища»

Запоріжжя
2025

Тема 1: Основні цілі та принципи державної політики у сфері запобігання утворенню та управління відходами

1. Вступ

Проблема відходів є однією з ключових екологічних проблем сучасного світу. Зростання обсягів споживання, урбанізація та індустріалізація призводять до збільшення кількості відходів, значна частина яких не підлягає утилізації. Управління відходами стало не лише питанням екологічної безпеки, а й важливим економічним і соціальним фактором сталого розвитку держави.

Мета лекції

Ознайомити студентів з основними цілями, принципами та механізмами державної політики у сфері запобігання утворенню та управління відходами, з урахуванням вимог європейського законодавства.

2. Нормативно-правова база управління відходами

1. **Закон України «Про управління відходами» (2023 р.)** — основний законодавчий акт, який регулює питання управління відходами відповідно до вимог ЄС.

2. **Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року** — визначає стратегічні напрями та цілі державної політики.

3. **Директива 2008/98/ЄС про відходи (Waste Framework Directive)** — базовий документ ЄС, який визначає ієрархію управління відходами та принципи циркулярної економіки.

4. Інші документи: Базельська конвенція, Оргуська конвенція, міжнародні угоди ООН та OECD.

3. Основні цілі державної політики у сфері управління відходами

3.1. Головна мета

Зменшення негативного впливу відходів на довкілля та здоров'я людини шляхом запобігання їх утворенню, повторного використання, перероблення і мінімізації захоронення.

3.2. Конкретні цілі

- Запобігання утворенню відходів на всіх етапах виробництва та споживання.
- Розвиток системи роздільного збирання побутових відходів.
- Збільшення частки утилізації та перероблення відходів.
- Впровадження принципу розширеної відповідальності виробника (РВВ).
- Ліквідація стихійних сміттєзвалищ та модернізація полігонів.
- Гармонізація українського законодавства із законодавством Європейського Союзу.
- Перехід до моделі циркулярної (кругової) економіки.

4. Принципи державної політики у сфері запобігання утворенню та управління відходами

1. Принцип запобігання утворенню відходів — пріоритет на етапі проектування продукції та процесів, щоб мінімізувати кількість відходів.

2. Ієрархія управління відходами:

- ☐ 1 Запобігання утворенню
- ☐ 2 Повторне використання
- ☐ 3 Перероблення (рециклінг)
- ☐ 4 Інші види утилізації (енергетична тощо)
- ☐ 5 Видалення (захоронення) — як останній варіант.

3. Принцип «забруднювач платить» — відповідальність виробника або власника відходів за шкоду, завдану довкіллю.

4. Принцип розширеної відповідальності виробника (РВВ) — виробник товару відповідає за весь життєвий цикл продукції, включаючи етап її утилізації.

5. Принцип циклічної (кругової) економіки — використання ресурсів у замкненому циклі, мінімізація відходів, повторне залучення матеріалів у виробництво.

6. Принцип екологізації виробництва та споживання — упровадження екологічно безпечних технологій, екодизайну, зелених закупівель.

7. Принцип прозорості та участі громадськості — залучення населення до прийняття рішень, що стосуються поводження з відходами.

5. Інструменти реалізації державної політики

- Нормативно-правові: закони, стандарти, ліцензії, дозвільна система.
- Економічні: екоподатки, збори за розміщення відходів, фінансові стимули для переробки.
- Організаційні: створення систем збору, транспортування, обліку відходів.
- Інформаційні: екоосвіта, публічні звіти, інформаційні кампанії.
- Інноваційні: розвиток технологій рециклінгу, цифрових систем моніторингу, смарт-полігону.

6. Роль органів влади

- Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України — формування політики, контроль за виконанням.
- Місцеві органи влади — організація збору, транспортування та розділення побутових відходів.
- Підприємства та громадські організації — участь у впровадженні РВВ, екологічній просвіті, сортуванні.

7. Перспективи розвитку

- **Впровадження національної системи РВВ для упаковки, електроніки, шин, батарей тощо.**
- **Створення інфраструктури роздільного збирання у громадах.**
- **Цифровізація управління відходами — електронні реєстри, супутниковий моніторинг полігонів.**
- **Перехід на циркулярну економіку: «відходи = ресурс».**

8. Висновки

Державна політика у сфері управління відходами є ключовою складовою екологічної безпеки. Її ефективність залежить від узгодженості законодавства, участі бізнесу та громадськості, а також розвитку інноваційних технологій перероблення та повторного використання ресурсів.

9. Контрольні (тестові) питання

1. Який основний закон регулює управління відходами в Україні?
2. Який елемент є першим у ієрархії управління відходами?
3. Що передбачає принцип «забруднювач платить»?
4. Який документ ЄС визначає ієрархію управління відходами?
5. Що означає принцип РВВ (розширеної відповідальності виробника)?
6. Яка кінцева мета державної політики у сфері управління відходами?

Тема 2: Суб'єкти у сфері управління відходами та їх повноваження

1. Вступ

Проблема відходів в Україні має не лише екологічне, а й соціально-економічне значення.

Ефективна система управління відходами можлива лише за умови чіткого розподілу ролей і відповідальності між усіма суб'єктами цієї сфери — державними органами, місцевими громадами, підприємствами, населенням та громадськими організаціями.

Мета

лекції:

Розглянути основні суб'єкти у сфері управління відходами, визначити їхні функції, повноваження та взаємодію між ними.

2. Нормативно-правова основа регулювання повноважень суб'єктів

1. Закон України «Про управління відходами» (2023 р.) — базовий акт, який визначає повноваження органів влади, підприємств, громадян.
2. Закон України «Про місцеве самоврядування» (1997 р.) — визначає компетенцію органів місцевого рівня у сфері поводження з відходами.
3. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року.

4. Директива 2008/98/ЄС (Waste Framework Directive) — гармонізований орієнтир для законодавства України.

5. Підзаконні акти та стандарти: постанови КМУ, накази Міндовкілля, ліцензійні умови тощо.

3. Класифікація суб'єктів у сфері управління відходами

3.1. За статусом:

- Державні органи — формують і контролюють політику управління відходами.
- Органи місцевого самоврядування — реалізують заходи на місцевому рівні.
- Суб'єкти господарювання — здійснюють діяльність зі збирання, перевезення, утилізації відходів.
- Громадські об'єднання та населення — беруть участь у контролі, інформуванні, сортуванні.

3.2. За функціональною роллю:

- Регулятори (Міндовкілля, Держекоінспекція, МОЗ).
- Оператори (підприємства-перевізники, сортувальні станції, полігони).
- Споживачі (населення, бізнес).
- Контролери (громадськість, ЗМІ, екологічні інспекції).

4. Центральні органи виконавчої влади

4.1. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України

- Формує державну політику у сфері управління відходами.
- Розробляє нормативно-правові акти, стратегії, програми.
- Організовує ведення державного обліку відходів.
- Здійснює координацію з міжнародними партнерами (ЄС, ООН, OECD).
- Забезпечує реалізацію принципу **циркулярної економіки**.

4.2. Міністерство економіки України

- Формує економічні стимули у сфері перероблення та повторного використання відходів.
- Впроваджує інструменти «зеленої» економіки.
- Сприяє розвитку публічно-приватного партнерства (ППП).

4.3. Міністерство охорони здоров'я України

- Визначає санітарно-гігієнічні вимоги до об'єктів поводження з відходами.
- Здійснює контроль за впливом відходів на здоров'я населення.
- Розробляє норми безпечного розміщення полігонів і сміттєспалювальних підприємств.

4.4. Державна екологічна інспекція України

- Проводить державний контроль за дотриманням природоохоронного законодавства.

- Накладає адміністративно-господарські санкції за порушення правил поводження з відходами.
- Проводить моніторинг, перевірки, звітність.

5. Повноваження органів місцевого самоврядування

1. Розроблення та реалізація місцевих програм управління відходами.
2. Визначення виконавців послуг зі збирання та перевезення побутових відходів.
3. Організація роздільного збирання, сортування, компостування побутових відходів.
4. Затвердження тарифів на послуги з вивезення та перероблення відходів.
5. Контроль за станом місць видалення відходів (полігонів).
6. Проведення інформаційно-просвітницької роботи серед населення.
7. Виявлення та ліквідація стихійних звалищ.

6. Суб'єкти господарювання у сфері управління відходами

- Підприємства-виробники продукції (виконують принцип розширеної відповідальності виробника — РВВ).
- Оператори управління відходами — компанії, що здійснюють:
 - збирання та перевезення;
 - оброблення, сортування, перероблення;
 - утилізацію чи видалення відходів.
- Ліцензування діяльності у сфері поводження з небезпечними відходами.
- Ведення обліку та подання звітності до державного реєстру відходів.

Обов'язки суб'єктів господарювання:

1. Запобігати утворенню відходів.
2. Забезпечувати їх екологічно безпечне зберігання, перевезення, утилізацію.
3. Укладати договори з ліцензованими підприємствами.
4. Вести облік утворення та руху відходів.
5. Виконувати вимоги екологічного законодавства та умов ліцензії.

7. Роль громадськості та населення

- Участь у громадських слуханнях при прийнятті рішень про розміщення об'єктів поводження з відходами.
- Громадський контроль за діяльністю підприємств.
- Ініціація екоосвітніх та волонтерських програм.
- Впровадження роздільного збору побутових відходів у побуті.
- Подання скарг, звернень та ініціатив до органів влади щодо порушень екологічних норм.

8. Взаємодія між суб'єктами

- **Держава → Місцеве самоврядування:** делегування повноважень, фінансова підтримка.
- **Місцева влада → Бізнес:** укладення договорів, видача дозволів, контроль.
- **Бізнес → Громадськість:** корпоративна відповідальність, екоосвіта.
- **Громадськість → Влада:** зворотний зв'язок, контроль, участь у прийнятті рішень.

Важливо: взаємодія суб'єктів забезпечується через прозору інформаційну систему управління відходами, створення єдиних електронних реєстрів та застосування принципів цифрового урядування.

9. Проблеми та шляхи вдосконалення системи

- Недостатня координація між органами влади.
- Відсутність належної інфраструктури для перероблення.
- Низький рівень екологічної свідомості населення.
- Обмежене фінансування на місцевому рівні.
- Необхідність впровадження електронного моніторингу руху відходів.
- Посилення контролю за небезпечними відходами.

10. Висновки

- Система управління відходами — це багаторівнева структура, у якій взаємодіють органи державної влади, місцеві громади, бізнес і громадськість.
- Від ефективності координації між цими суб'єктами залежить екологічна безпека країни.
- Гармонізація українського законодавства з нормами ЄС відкриває шлях до впровадження принципів циркулярної економіки та сталого розвитку.

11. Контрольні питання

1. Хто формує державну політику у сфері управління відходами?
2. Який орган здійснює державний контроль за дотриманням екологічного законодавства?
3. Хто організовує систему збирання побутових відходів на місцевому рівні?
4. Який принцип покладає відповідальність за утилізацію продукції на виробника?
5. Роль громадськості у сфері управління відходами полягає у:

Тема 3: Ліцензійна та дозвільна система у сфері управління відходами

1. Вступ

Актуальність теми.

Система управління відходами є однією з ключових складових екологічної політики держави. Ефективне регулювання діяльності у цій сфері потребує чітких механізмів контролю, запобігання порушенням і забезпечення екологічної безпеки. Саме ліцензійна та дозвільна системи виконують функцію державного регулювання господарської діяльності, що може негативно впливати на довкілля.

Мета лекції:

- Ознайомити студентів із системою ліцензування та дозвільних процедур у сфері управління відходами;
- Розкрити роль органів державної влади у видачі, контролі та анулюванні ліцензій і дозволів;
- Показати взаємозв'язок між екологічною політикою та системою державного нагляду.

2. Нормативно-правова база

1. **Закон України «Про управління відходами» (2023 р.)** – базовий документ, що визначає правові засади діяльності у сфері управління відходами, включаючи питання ліцензування.

2. **Закон України «Про ліцензування видів господарської діяльності»** – регулює загальні процедури отримання ліцензій.

3. **Постанова КМУ № 446 від 13.07.2016 р.** «Про затвердження Ліцензійних умов провадження господарської діяльності з управління небезпечними відходами».

4. **Закон України «Про дозвільну систему у сфері господарської діяльності».**

5. **Директива 2008/98/ЄС про відходи** — основа гармонізації національного законодавства з європейськими стандартами.

3. Сутність ліцензійної системи

Ліцензування — це державний механізм контролю за діяльністю суб'єктів господарювання, пов'язаною з поводженням з відходами, з метою запобігання негативному впливу на довкілля та здоров'я людей.

3.1. Види діяльності, що підлягають ліцензуванню

Згідно із законодавством, ліцензуванню підлягає **господарська діяльність у сфері управління небезпечними відходами**, зокрема:

- збирання;
- перевезення;
- зберігання;

- оброблення (перероблення);
- утилізація;
- знешкодження;
- видалення небезпечних відходів.

3.2. Орган ліцензування

- **Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України (Міндовкілля)** – центральний орган, який видає, переоформлює та анулює ліцензії.
- **Державна екологічна інспекція (ДЕІ)** здійснює контроль за дотриманням ліцензійних умов.

4. Порядок отримання ліцензії

1. Підготовка документів (заява, опис діяльності, наявність матеріально-технічної бази, кваліфікація персоналу, екологічна документація).
2. Подача заяви до Міндовкілля через електронну систему або ЦНАП.
3. Розгляд документів протягом 10 робочих днів (у деяких випадках – до 30).
4. Видача ліцензії або мотивована відмова.
5. Внесення до Єдиного державного реєстру суб'єктів ліцензування.

5. Ліцензійні умови провадження діяльності

Ліцензійні умови містять:

- **Вимоги до персоналу:** наявність фахівців з екологічною освітою;
- **Матеріально-технічні вимоги:** наявність обладнання, споруд, контейнерів, транспортних засобів;
- **Вимоги до документації:** паспорти місць видалення відходів, технологічні карти, журнали обліку операцій;
- **Екологічні вимоги:** дотримання норм безпеки, правил поводження з небезпечними речовинами, запобігання аваріям.

6. Дозвільна система у сфері управління відходами

Дозвіл — це офіційний документ, який підтверджує право підприємства на певні дії, що можуть впливати на стан довкілля.

6.1. Основні види дозволів:

1. **Дозвіл на утворення відходів** — надається підприємствам, що утворюють понад 50 тонн відходів на рік.
2. **Дозвіл на транскордонне перевезення відходів** — регулюється Базельською конвенцією.
3. **Дозволи на поводження з радіоактивними відходами** — видаються спеціально уповноваженими органами.

6.2. Етапи отримання дозволу:

- Збір вихідних даних (склад, кількість, класифікація відходів);
- Розроблення плану управління відходами;
- Погодження документації з місцевими органами влади;

- Подача заяви до дозвільного центру;
- Одержання дозволу після перевірки відповідності вимогам.

7. Контроль за дотриманням ліцензійних і дозвільних вимог

Органи контролю:

- Міндовкілля України;
- Державна екологічна інспекція;
- Органи місцевого самоврядування.

Форми контролю:

- Планові та позапланові перевірки;
- Аналіз звітності суб'єктів;
- Моніторинг діяльності підприємств.

Підстави для анулювання ліцензії або дозволу:

- подання недостовірних даних;
- систематичне порушення екологічних вимог;
- ліквідація підприємства;
- за рішенням суду.

8. Європейський досвід

У Європейському Союзі функціонує інтегрована система екологічного контролю (IPPC — Integrated Pollution Prevention and Control), що:

- об'єднує процедури отримання дозволів на всі види впливів на довкілля;
- ґрунтується на принципі найкращих доступних технологій (BAT);
- забезпечує прозорість та участь громадськості у прийнятті рішень.

В Україні впровадження аналогічної системи передбачене Законом «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення» (2024 р.).

9. Типові проблеми та напрями вдосконалення

Проблеми:

- надмірна тривалість процедур;
- дублювання функцій між органами;
- відсутність єдиного електронного реєстру дозволів;
- корупційні ризики.

Шляхи вдосконалення:

- цифровізація процесів (електронні сервіси Міндовкілля);
- скорочення адміністративних бар'єрів;
- гармонізація з вимогами ЄС;
- розширення доступу громадськості до інформації про ліцензовані об'єкти.

10. Висновки

- Ліцензійна та дозвільна системи є невід'ємною частиною державної політики управління відходами.
- Вони забезпечують баланс між економічною діяльністю та екологічною безпекою.
- Ефективне функціонування системи потребує прозорості, цифровізації та гармонізації з європейськими вимогами.

11. Питання для самоперевірки

1. Хто є головним органом з видачі ліцензій у сфері управління небезпечними відходами?
2. Який документ регламентує порядок отримання ліцензії на діяльність з небезпечними відходами?
3. Який дозвіл необхідний для підприємства, що утворює понад 50 тонн відходів на рік?
4. Що є підставою для анулювання ліцензії?
5. Який принцип є основним у системі дозвільного регулювання?

Тема 4: Класифікація відходів. Національний перелік відходів

1. Вступ

Проблема поводження з відходами є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності. Ефективне управління відходами неможливе без чіткої системи їх класифікації та обліку. Класифікація відходів дозволяє визначити їхній склад, властивості, рівень небезпечності, а також шляхи утилізації чи знешкодження.

Мета лекції: розглянути принципи класифікації відходів, структуру Національного переліку відходів України та його зв'язок із європейською системою.

2. Поняття та значення класифікації відходів

Згідно із Законом України «Про управління відходами» (2023 р.), **відходи** — це будь-які речовини або предмети, які утворюються в процесі людської діяльності й підлягають утилізації, переробленню або видаленню.

Класифікація відходів — це систематизація відходів за певними ознаками (походженням, складом, властивостями, небезпечністю тощо) для забезпечення їх обліку, безпечного зберігання, транспортування та утилізації.

Значення класифікації:

- створює єдину систему ідентифікації відходів;
- є основою для ведення державного обліку;
- дозволяє встановлювати вимоги до зберігання, переробки та знешкодження;

- використовується при ліцензуванні діяльності у сфері управління відходами.

3. Основні критерії класифікації відходів

Відходи поділяють за кількома ознаками:

3.1. За джерелом утворення

- Промислові — утворюються у процесі виробництва (металургійні, хімічні, гірничі).
- Побутові (комунальні) — тверді й рідкі відходи житлового сектору, установ, підприємств обслуговування.
- Сільськогосподарські — рослинні рештки, гній, відходи тваринництва.
- Медичні та біологічні — використані інструменти, заражені матеріали.
- Будівельні — відходи ремонтних, демонтажних робіт.

3.2. За агрегатним станом

- Тверді (побутові, шлаки, зола, металеві вироби);
- Рідкі (відпрацьовані мастила, стоки, кислоти);
- Газоподібні (викиди з промислових установок).

3.3. За хімічним складом

- Органічні (відходи харчових виробництв, пластмаси);
- Неорганічні (шлаки, зола, метали, мінерали);
- Змішані (комплексні промислові відходи).

3.4. За ступенем небезпечності

Класи небезпеки визначаються токсичністю, стійкістю та впливом на біосферу:

Клас небезпеки	Характеристика	Приклади
I	Надзвичайно небезпечні	Ртуть, пестициди, свинець
II	Високонебезпечні	Феноли, кислоти, нафтопродукти
III	Помірно небезпечні	Відпрацьовані мастила, пластмаси
IV	Малонебезпечні	Деревина, папір, скло

3.5. За можливістю використання

- Утилізовані (ресурсні) — можуть бути повторно використані.
- Неутілізовані — підлягають захороненню чи знешкодженню.

4. Європейський каталог відходів (EWC – European Waste Catalogue)

Європейський каталог відходів — це офіційна система ідентифікації відходів у ЄС, затверджена відповідно до Директиви 2008/98/ЄС. Вона використовується як еталон для гармонізації національних систем обліку.

Основні риси системи EWC:

- кожному виду відходів присвоюється **шестизначний код**;
- перші дві цифри — галузь утворення, наступні — підгрупа та вид;
- небезпечні відходи позначаються зірочкою (*).

Приклади:

- 02 01 08 — відходи сільського господарства (тверді відходи рослинного походження);
- 13 02 05* — мінеральні мастила, що містять хлорорганічні сполуки (небезпечні).

5. Національний перелік відходів України

Національний перелік відходів затверджено **Постановою КМУ № 2033 від 18.10.2023 р.** Він є базовим документом для класифікації, обліку, звітності та ліцензування у сфері управління відходами.

5.1. Мета Національного переліку

- забезпечення систематизації відходів на державному рівні;
- гармонізація із Європейським каталогом відходів (EWC);
- визначення кодів відходів для звітності та ліцензій.

5.2. Структура Національного переліку

Національний перелік має **подібну структуру до EWC:**

- складається з **20 розділів** за джерелом утворення;
- має **6-значні коди**;
- небезпечні відходи позначаються зірочкою (*).

Приклади кодів Національного переліку:

- 01 — відходи гірничодобувної промисловості;
- 02 — відходи сільського господарства;
- 10 — відходи термічних процесів;
- 15 — відходи пакувальних матеріалів;
- 20 — побутові відходи.

5.3. Використання Національного переліку

- у звітності (форма 1-ВТ);
- при отриманні ліцензії на операції з відходами;
- у паспорті відходу;
- у системі електронного обліку (ЄСУВ).

6. Гармонізація української системи класифікації з європейською

Сучасна екологічна політика України спрямована на інтеграцію до стандартів ЄС.

Відповідно, **Національний перелік відходів** максимально адаптований до структури **EWC**.

Основні переваги гармонізації:

- сумісність екологічної статистики;
- прозорість для міжнародних партнерів;
- спрощення експорту/транскордонного перевезення відходів;
- відповідність вимогам Базельської конвенції.

7. Практичне значення класифікації та Національного переліку

- сприяє стандартизації звітності про відходи;
- дозволяє підприємствам визначати правильні коди та класи небезпеки;
- допомагає контролюючим органам у моніторингу потоків відходів;
- є основою для цифрового екологічного моніторингу.

8. Висновки

1. Класифікація відходів — ключовий інструмент ефективного управління та контролю у сфері екології.
2. Національний перелік відходів є офіційною системою їх ідентифікації в Україні.
3. Гармонізація з Європейським каталогом забезпечує відповідність міжнародним стандартам.
4. Використання єдиних кодів і систем класифікації підвищує прозорість, точність обліку й ефективність державного контролю.

Рекомендована література

1. Закон України «Про управління відходами» (2023 р.)
2. Постанова КМУ № 2033 від 18.10.2023 р. «Про затвердження Національного переліку відходів»
3. Директива 2008/98/ЄС «Про відходи»
4. Державний класифікатор відходів ДК 005-96
5. Європейський каталог відходів (EWC, 2014)
6. Методичні рекомендації Міндовкілля щодо визначення коду відходів

Контрольні питання

1. Яка основна мета класифікації відходів?
2. Скільки цифр має код відходу в Національному переліку?
3. Який документ затверджує Національний перелік відходів України?
4. Хто є відповідальним за ведення Національного переліку відходів?

Тема 5: Плани управління відходами

1. Вступ

Сучасна система управління відходами в Україні та світі базується на стратегічному плануванні.

Плани управління відходами (ПУВ) є ключовими інструментами реалізації державної політики у сфері поводження з відходами, запобігання їх утворенню, забезпечення переробки, утилізації та мінімізації впливу на довкілля.

Згідно із **Законом України «Про управління відходами» (2023 р.)**, плани управління відходами — це документи стратегічного характеру, що визначають цілі,

завдання та заходи щодо запобігання утворенню відходів, їх збирання, перевезення, перероблення, утилізації та видалення.

Мета лекції:

- ознайомити студентів із видами, структурою та змістом планів управління відходами;
- розглянути нормативно-правові засади їх розроблення;
- визначити роль таких планів у формуванні циркулярної економіки.

2. Нормативно-правова база планування управління відходами

1. **Закон України «Про управління відходами» (2023 р.)** — визначає обов’язок держави, регіонів та суб’єктів господарювання розробляти плани управління відходами.

2. **Постанова КМУ № 121 від 10 лютого 2024 р.** «Про затвердження Порядку розроблення, затвердження та реалізації планів управління відходами».

3. **Директива 2008/98/ЄС про відходи** — рамковий документ Європейського Союзу, що встановлює підходи до планування управління відходами.

4. **Національний план управління відходами до 2030 року** — стратегічний документ, що передбачає розвиток інфраструктури та зменшення кількості відходів, що захоронюються.

5. **Методичні рекомендації Міндовкілля** щодо підготовки регіональних та локальних планів.

3. Види планів управління відходами

Плани поділяються на три рівні:

3.1. Національний план управління відходами

• Розробляється **Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України**.

- Охоплює всю територію країни.
- Визначає стратегічні цілі, політичні пріоритети та напрями розвитку системи управління відходами.

- Узгоджується з цілями ЄС у сфері циркулярної економіки.

- Термін дії — **10 років**.

- Основні завдання:

- зменшення утворення відходів;
- підвищення рівня переробки;
- створення регіональної інфраструктури;
- закриття нелегальних полігонів;
- розбудова системи роздільного збирання.

3.2. Регіональні плани управління відходами

• Розробляються обласними державними адміністраціями або військовими адміністраціями.

- Враховують особливості утворення відходів у межах області.

- Визначають оптимальні місця для полігонів, переробних підприємств, сортувальних станцій.
- Узгоджуються з національним планом.
- Містять картографічні матеріали, схеми потоків відходів і програми дій.

3.3. Плани управління відходами підприємств

- Розробляються суб'єктами господарювання, діяльність яких призводить до утворення значних обсягів відходів.
- Є складовою частиною системи екологічного менеджменту підприємства.
- Визначають джерела утворення, види відходів, заходи з мінімізації, перероблення, утилізації, а також порядок ведення обліку та звітності.

4. Структура плану управління відходами

Типова структура ПУВ включає:

1. **Вступну частину** – обґрунтування необхідності розроблення плану, характеристика об'єкта або території.
2. **Аналіз поточного стану** – оцінка обсягів утворення, існуючої інфраструктури, проблемних питань.
3. **Оцінку потреб** – визначення прогалин у системі збору, транспортування, перероблення.
4. **Цілі та завдання** – конкретні показники, що планується досягти.
5. **Програму заходів** – перелік дій, терміни, відповідальні виконавці, фінансування.
6. **Моніторинг і контроль** – порядок перевірки виконання плану, система індикаторів.
7. **Додатки** – карти, таблиці, нормативні документи, довідкові матеріали.

5. Принципи розроблення планів управління відходами

1. **Принцип запобігання утворенню відходів** — пріоритет мінімізації на джерелі утворення.
2. **Принцип ієрархії поводження з відходами** — від запобігання до видалення.
3. **Принцип розширеної відповідальності виробника (РВВ)** — виробник несе відповідальність за відходи від своєї продукції.
4. **Принцип “забруднювач платить”** — економічна відповідальність за вплив на довкілля.
5. **Принцип прозорості та участі громадськості** — відкритість процесу розроблення і реалізації планів.
6. **Принцип узгодженості** — гармонізація планів усіх рівнів.

6. Етапи розроблення планів управління відходами

1. **Збір вихідних даних** — статистика утворення відходів, наявні об'єкти, джерела.

2. **Аналіз поточного стану** — визначення проблемних зон.
3. **Формування стратегічних цілей** — зменшення, перероблення, повторне використання.
4. **Планування заходів** — технічні, організаційні, фінансові рішення.
5. **Громадське обговорення** — залучення громадськості.
6. **Затвердження та реалізація плану** — офіційне ухвалення та початок виконання.
7. **Моніторинг та оцінка ефективності** — періодична перевірка результатів.

7. Приклади реалізації планів управління відходами

- **Національний план управління відходами до 2030 року:**
 - передбачає створення 5 регіональних кластерів з переробки ТПВ;
 - впровадження розширеної відповідальності виробників упаковки, шин, батарейок;
 - зменшення захоронення відходів з 93% до 35%.
- **Регіональні приклади:**
 - **Львівська область:** проєкти з компостування органічних відходів;
 - **Дніпропетровська область:** створення системи роздільного збору у 7 громадах;
 - **Полтавська область:** будівництво регіонального полігону нового типу.

8. Оцінка ефективності реалізації планів

Основні індикатори моніторингу:

- частка відходів, що повторно використовуються або переробляються;
- кількість створених пунктів приймання вторсировини;
- обсяг зменшення захоронення;
- кількість ліквідованих стихійних сміттєзвалищ;
- рівень залучення населення до сортування.

9. Висновки

- Плани управління відходами — ключовий інструмент сталого розвитку у сфері охорони довкілля.
- Вони дозволяють системно координувати дії органів влади, бізнесу та громади.
- Виконання планів сприяє реалізації принципів **циркулярної економіки**, тобто повернення ресурсів у виробничий цикл.
- Якісне планування — запорука зменшення навантаження на довкілля та підвищення ефективності використання ресурсів.

10. Контрольні питання

1. Які основні рівні планування управління відходами існують в Україні?
2. Назвіть основні складові плану управління відходами.
3. Який нормативно-правовий акт регламентує порядок розроблення планів?
4. Хто відповідає за розроблення Національного плану управління відходами?
5. Які основні принципи покладено в основу планів управління відходами?
6. Що є основною метою регіональних планів управління відходами?
7. Які етапи включає процес розроблення планів управління відходами?
8. Назвіть приклади заходів, які можуть бути передбачені в ПУВ.
9. Як оцінюється ефективність виконання плану?
10. Яке значення мають плани управління відходами для розвитку циркулярної економіки?

Рекомендована література

1. Закон України «Про управління відходами» (2023 р.)
2. Постанова КМУ №121 від 10.02.2024 р.
3. Директива 2008/98/ЄС «Про відходи»
4. Національний план управління відходами до 2030 року
5. Методичні рекомендації Міндовкілля щодо підготовки регіональних планів управління відходами
6. Матеріали Європейського агентства з довкілля (ЕЕА)

Тема 6: Облік промислових відходів

1. Вступ

Облік промислових відходів — це ключовий елемент системи екологічного менеджменту, що забезпечує контроль за кількістю, складом, рухом та способами поводження з відходами. Його мета — отримання достовірних даних, необхідних для прийняття управлінських, технологічних і природоохоронних рішень.

В умовах переходу України до циркулярної економіки та гармонізації екологічного законодавства з нормами ЄС, правильний облік промислових відходів стає обов'язковим компонентом державної екологічної політики.

2. Поняття та сутність обліку промислових відходів

Облік відходів — це систематизоване збирання, фіксація, узагальнення та зберігання інформації про утворення, збирання, зберігання, перевезення, утилізацію та видалення відходів.

Промислові відходи — залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, що утворюються у процесі виробництва промислової продукції і втратили свої первісні властивості або споживчу цінність.

Основні цілі обліку:

- визначення кількості та складу утворених відходів;
- встановлення напрямів їх подальшого поводження;
- оцінка рівня екологічної безпеки;
- підготовка звітності для державного моніторингу;
- формування бази даних для планування заходів з мінімізації та перероблення.

Види обліку:

1. **Первинний (оперативний)** — ведеться безпосередньо на підприємстві.
2. **Статистичний** — узагальнення даних для державної статистичної звітності.
3. **Бухгалтерський** — відображення витрат, пов'язаних з поводженням з відходами.
4. **Екологічний** — фіксація впливу відходів на довкілля.

3. Нормативно-правове забезпечення обліку відходів

1. **Закон України «Про управління відходами» (2023 р.)** — визначає облік як обов'язок усіх суб'єктів господарювання, що утворюють відходи.
2. **Постанова КМУ №118 від 10.02.2024 р.** — затверджує *Порядок ведення обліку відходів*.
3. **Наказ Міндовкілля України №41 від 07.02.2024 р.** — затверджує *форми первинного обліку відходів*.
4. **Директива 2008/98/ЄС про відходи** — передбачає єдині стандарти обліку і звітності для країн ЄС.
5. **Національний перелік відходів** — встановлює коди та класифікацію для правильного запису у формах обліку.

Неведення або неправильне ведення обліку тягне за собою **адміністративну відповідальність** згідно зі ст. 82 Кодексу України про адміністративні правопорушення.

4. Організація системи обліку промислових відходів

Система обліку відходів включає такі елементи:

- **суб'єкти обліку** — підприємства, установи, організації, що утворюють або поводяться з відходами;
- **об'єкти обліку** — самі відходи (за видом, походженням, класом небезпеки, кодом);
- **документування** — ведення журналів, карток, звітних форм;
- **звітування** — передача узагальнених даних до державних органів;
- **контроль** — перевірка достовірності даних і відповідності нормативам.

На підприємстві облік ведеться **уповноваженою особою з охорони навколишнього середовища або екологічною службою**.

5. Первинний облік промислових відходів

Первинний облік фіксується у спеціальних формах та журналах. Основна форма первинного обліку — **№ 1-ВТ «Облік утворення та поводження з відходами»**.

Основні розділи форми:

1. Джерело утворення відходів (цех, дільниця, процес).
2. Найменування відходу та його код за **Національним переліком**.
3. Клас небезпеки.
4. Кількість утворених відходів (тонн/рік).
5. Обсяги переданих або утилізованих відходів.
6. Найменування підприємств-отримувачів (ліцензованих).
7. Спосіб утилізації або видалення.

Ведення форми забезпечує **повний рух відходів від джерела утворення до остаточного видалення чи перероблення**.

6. Звітність про промислові відходи

Підприємства подають **державну статистичну звітність** за формою **№ 1-ВТ (річна)** до територіальних органів статистики та Міндовкілля. У ній узагальнюються дані за видами відходів, кількістю утворених, утилізованих, переданих або видалених матеріалів.

Основні вимоги:

- звітність подається до 20 лютого року, наступного за звітним;
- дані мають бути підтверджені первинними формами обліку;
- за достовірність відповідає керівник підприємства.

7. Класифікація відходів для обліку

Для ведення обліку застосовується **Національний перелік відходів**, який містить:

- коди (6-значні),
- назви відходів,
- класи небезпеки,
- походження (галузь, процес).

Наприклад:

- 10 02 01 — шлаки металургійні;
- 07 01 08 — відходи фільтрацій хімічного виробництва;
- 12 01 01 — металева стружка і відходи обробки металів.

8. Впровадження електронного обліку

Згідно із Законом «Про управління відходами», в Україні створюється **Єдина інформаційна система управління відходами (ЄІСУВ)** — електронна база, яка міститиме дані про всі відходи, ліцензії, звіти, облік і рух відходів.

Переваги ЄІСУВ:

- централізований збір інформації;
- відсутність дублювання звітів;
- зменшення бюрократичного навантаження;
- можливість аналітики на національному рівні.

9. Проблеми ведення обліку промислових відходів

1. Недосконалість первинних форм обліку.
2. Недостатня кваліфікація персоналу.
3. Відсутність інтегрованих баз даних.
4. Невідповідність між бухгалтерським і екологічним обліком.
5. Недостатній контроль за малими підприємствами.

Напрями вдосконалення:

- цифровізація процесів обліку;
- автоматизація заповнення форм;
- підготовка кадрів з екологічного менеджменту;
- інтеграція національної системи з європейськими базами (E-PRTR, Eurostat).

10. Висновки

- Облік промислових відходів є **осовою ефективного екологічного управління**.
- Його правильна організація дозволяє зменшити утворення відходів, підвищити рівень перероблення та забезпечити прозорість екологічної інформації.
- У майбутньому система обліку в Україні буде повністю **електронною**, інтегрованою до ЄІСУВ і сумісною з європейськими стандартами.

Рекомендована література

1. Закон України «Про управління відходами» (2023).
2. Постанова КМУ №118 від 10.02.2024 р. «Про затвердження Порядку ведення обліку відходів».
3. Наказ Міндовкілля №41 від 07.02.2024 р. «Про затвердження форм первинного обліку відходів».
4. Директива 2008/98/ЄС «Про відходи».
5. ДСТУ 3910-99 «Відходи. Паспорт відходу».
6. Методичні рекомендації Міндовкілля щодо ведення обліку промислових відходів.

Тема 7: Моніторинг місць утворення, зберігання, видалення відходів та об'єктів оброблення відходів

1. Вступ

Моніторинг у сфері управління відходами є одним із ключових інструментів забезпечення екологічної безпеки. Він спрямований на **систематичне спостереження, оцінку та прогнозування впливу відходів** на стан довкілля, здоров'я населення і природні ресурси.

Моніторинг допомагає:

- своєчасно виявляти джерела забруднення;
- оцінювати ефективність технологій зменшення відходів;
- удосконалювати політику управління відходами;
- формувати достовірні бази даних для Єдиної інформаційної системи управління відходами (ЄІСУВ).

2. Мета та завдання моніторингу

Мета:

Забезпечення постійного контролю за станом місць утворення, зберігання, видалення та оброблення відходів з метою мінімізації їх негативного впливу на довкілля.

Основні завдання:

1. Збір і систематизація даних про кількість, склад і властивості відходів.
2. Виявлення потенційних джерел забруднення довкілля.
3. Оцінка рівня впливу об'єктів на атмосферу, ґрунти та водні ресурси.
4. Визначення тенденцій у зміні стану навколишнього середовища.
5. Розробка рекомендацій щодо зменшення ризиків.

3. Нормативно-правове забезпечення

Моніторинг у сфері управління відходами регулюється низкою документів, зокрема:

1. **Закон України «Про управління відходами» (2023 р.)** — визначає правові основи організації моніторингу.
2. **Постанова КМУ №139 від 07.02.2024 р.** «Про затвердження Порядку здійснення моніторингу у сфері управління відходами».
3. **Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (1991 р.)** — регламентує екологічний моніторинг у цілому.
4. **Директива 2008/98/ЄС «Про відходи»** — встановлює вимоги ЄС щодо збору, обробки та обміну інформацією про відходи.
5. **ДСТУ ISO 14001:2015** — визначає підходи до екологічного управління та контролю впливів підприємств.

4. Сутність і структура моніторингу у сфері відходів

Моніторинг відходів — це **система спостережень, збору, оброблення, аналізу та прогнозування інформації** про стан місць утворення, зберігання, оброблення та видалення відходів.

Складові системи моніторингу:

1. **Спостереження** — регулярне фіксування параметрів об'єктів.
2. **Оцінювання** — аналіз отриманих даних.
3. **Прогнозування** — виявлення тенденцій і потенційних ризиків.
4. **Інформаційне забезпечення** — передача результатів до відповідних органів через ЄІСУВ.

5. Об'єкти моніторингу

Моніторинг проводиться на таких об'єктах:

- **Місця утворення відходів** — промислові ділянки, цехи, виробництва.
- **Місця зберігання** — склади, контейнери, сховища, шламонакопичувачі.
- **Місця видалення відходів** — полігони, хвостосховища, відвали.
- **Об'єкти оброблення відходів** — установки спалювання, сортування, компостування, переробки.

Також моніторингу підлягають **прилеглі території**, де можливе забруднення повітря, вод і ґрунтів.

6. Суб'єкти моніторингу

1. **Міндовкілля України** — координує моніторинг, формує нормативи і порядок обліку.
2. **Державна екологічна інспекція (ДЕІ)** — здійснює контроль та перевірки.
3. **Обласні лабораторії моніторингу довкілля** — проводять відбір і аналіз проб.
4. **Органи місцевого самоврядування** — забезпечують контроль за місцевими об'єктами.
5. **Підприємства** — ведуть власний (відомчий) моніторинг у межах дозволів і ліцензій.

7. Параметри та показники моніторингу

Параметри визначаються залежно від типу об'єкта:

Об'єкт спостереження	Основні показники
Полігони ТПВ	концентрація фільтрату, газоутворення, просідання, температура тіла полігону
Промислові відходи	хімічний склад, токсичність, обсяг накопичення
Ґрунти	концентрації важких металів, нафтопродуктів, рН

Об'єкт спостереження	Основні показники
Підземні води	рівень забруднення фільтратами, азотні сполуки, органічні речовини
Атмосфера	концентрація пилу, діоксиду сірки, метану, аміаку

8. Методи та засоби моніторингу

1. **Інструментальні методи:**
 - газоаналізатори, спектрофотометри, хроматографи, портативні пробовідбірники.
2. **Лабораторні методи:**
 - аналіз води, повітря, ґрунту на вміст забруднюючих речовин.
3. **Дистанційні методи:**
 - використання дронів, супутникового моніторингу, ГІС-технологій.
4. **Автоматизовані системи спостережень:**
 - датчики температури, вологості, газоутворення з онлайн-передачею даних.

9. Організація моніторингу

1. Визначення об'єктів спостережень.
2. Розроблення програми моніторингу.
3. Відбір і доставка проб у лабораторії.
4. Проведення аналізів.
5. Оброблення результатів і формування звітів.
6. Подання інформації до ЄІСУВ та відповідних органів.

10. Державна система моніторингу

Система моніторингу у сфері відходів є складовою **Загальнодержавної системи моніторингу довкілля (ЗДСМД)**. Вона забезпечує:

- єдину методологію спостережень;
- сумісність даних між відомствами;
- автоматизований обмін інформацією;
- формування державних і регіональних звітів.

11. Аналіз і використання результатів моніторингу

Результати моніторингу застосовуються для:

- оновлення **планів управління відходами**;
- розробки **заходів екологічної безпеки**;
- підготовки **екологічних паспортів підприємств**;
- прийняття **рішень про закриття або модернізацію об'єктів**;

- інформування громадськості про стан довкілля.

12. Приклад структури звіту про моніторинг полігону ТПВ

Розділи:

1. Загальна характеристика об'єкта.
2. Методика та частота спостережень.
3. Показники фільтрату, ґрунту, повітря.
4. Аналіз динаміки змін.
5. Висновки про екологічний стан.
6. Рекомендації щодо усунення негативних впливів.

13. Висновки

- Моніторинг місць утворення, зберігання, видалення та оброблення відходів — необхідний елемент ефективного управління відходами.
- Його результати забезпечують обґрунтоване прийняття рішень у сфері екологічної безпеки.
- Впровадження сучасних технологій (ГІС, онлайн-моніторинг, автоматизовані станції) дозволяє підвищити точність і оперативність контролю.
- Важливим напрямом розвитку є гармонізація національної системи з європейськими стандартами та інтеграція до ЄІСУВ.

Рекомендована література

1. Закон України «Про управління відходами», 2023.
2. Постанова КМУ №139 від 07.02.2024 р. «Про Порядок здійснення моніторингу у сфері управління відходами».
3. Директива 2008/98/ЄС «Про відходи».
4. ДСТУ ISO 14001:2015.
5. Методичні рекомендації Міндовкілля щодо екологічного моніторингу полігонів.
6. Європейське агентство з довкілля (EEA): *Waste Monitoring Framework*.

Контрольні питання:

1. Що є основною метою моніторингу у сфері управління відходами?
2. Назвіть основні етапи організації моніторингу.
3. Які об'єкти підлягають моніторингу?
4. Які основні параметри контролюються при моніторингу полігонів?
5. Які державні органи відповідають за здійснення моніторингу?
6. Яке місце займає моніторинг у Загальнодержавній системі моніторингу довкілля?
7. Які методи спостережень використовуються для моніторингу об'єктів відходів?
8. Як результати моніторингу впливають на рішення в сфері управління відходами?

Тема 8: Полігони твердих побутових відходів

1. Вступ

Полігони твердих побутових відходів (ТПВ) є найпоширенішим способом остаточного видалення відходів в Україні. Незважаючи на розвиток технологій перероблення, захоронення залишається кінцевою ланкою системи управління відходами.

Актуальність теми обумовлена:

- перевантаженістю полігонів у більшості регіонів;
- екологічними ризиками (фільтрат, газ, пожежі);
- потребою у впровадженні сучасних екологічно безпечних рішень;
- необхідністю гармонізації з європейськими стандартами.

2. Поняття полігону ТПВ

Полігон ТПВ — це інженерна споруда, призначена для захоронення твердих побутових відходів з мінімізацією негативного впливу на довкілля, що відповідає санітарним і екологічним вимогам.

Згідно із Законом України «Про управління відходами» (2023), полігони належать до **об’єктів управління відходами**, на які поширюються вимоги щодо:

- ліцензування діяльності;
- екологічного моніторингу;
- рекультивації після закриття.

3. Класифікація полігонів

Полігони класифікують за різними ознаками:

Ознака класифікації	Види полігонів
За типом відходів	побутові, будівельні, промислові, інертні, небезпечні
За рівнем облаштування	контрольовані (санкціоновані), неконтрольовані (стихійні)
За класом небезпеки	для неопасних, малонебезпечних або інертних відходів
За технологією облаштування	ізольовані (з гідроізоляцією), неізольовані

4. Нормативно-правова база

1. Закон України «Про управління відходами» (2023).
2. ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування».
3. Постанова КМУ № 121 від 10.02.2024 р. — регламентує експлуатацію полігонів.

4. Санітарні норми і правила (ДСанПіН 2.2.7.029-99).
5. Директива 1999/31/ЄС про захоронення відходів.
6. ISO 14001:2015 — міжнародні стандарти екологічного менеджменту.

Ці документи визначають вимоги до розміщення, проектування, експлуатації, моніторингу і рекультивації полігонів.

5. Вибір місця для полігону

При виборі ділянки враховуються:

- **Геологічні умови:** щільні водонепроникні ґрунти, відсутність карсту;
- **Гідрологічні умови:** глибоке залягання ґрунтових вод (не менше 2 м до дна полігону);
- **Санітарно-захисна зона:** не менше 500 м до житлової забудови;
- **Відстань від водних об'єктів:** не менше 200 м;
- **Врахування напрямку панівних вітрів та рельєфу місцевості.**

6. Конструкція полігону ТПВ

Типовий полігон складається з таких елементів:

1. **Основна ізолююча система (дно):**
 - шар ущільненої глини ($\geq 0,5$ м),
 - геомембрана (HDPE),
 - дренажний шар (гравій, щебінь),
 - трубопровід збору фільтрату.
2. **Система збору фільтрату:**
 - відводить забруднені рідини у накопичувальні резервуари для подальшої очистки.
3. **Система дегазації:**
 - складається з вертикальних свердловин і газопроводів;
 - дозволяє відводити полігонний газ (метан, CO_2);
 - може бути використана для виробництва енергії.
4. **Огорожі та дренаж атмосферних вод.**
5. **Покривні шари:**
 - інертний матеріал (ґрунт, пісок);
 - ущільнення шарів відходів.

7. Технологічні процеси на полігоні

1. Приймання та зважування відходів.
2. Візуальний контроль і облік.
3. Укладання відходів шарами товщиною 1,5–2 м.
4. Ущільнення бульдозерами або компакторами.
5. Тимчасове покриття інертним матеріалом для запобігання запахам і доступу тварин.
6. Періодичне спостереження за фільтратом і газом.

8. Екологічні ризики функціонування полігонів

1. **Фільтрат** — рідина, що утворюється при просочуванні атмосферних опадів через масу відходів.

- містить органічні, токсичні, важкі метали;
- здатна забруднювати ґрунт і підземні води.

2. **Полігонний газ (біогаз):**

- складається з 45–60% метану, 35–40% CO₂, домішок H₂S, NH₃;
- може спричиняти вибухи або пожежі.

3. **Аерогенне забруднення:**

- неприємні запахи, пил, спори мікроорганізмів.

4. **Біологічні ризики:**

- поширення гризунів, комах, птахів.

9. Моніторинг полігонів ТПВ

Моніторинг включає:

Напрямок спостереження	Об'єкт контролю	Показники
Гідрогеологічний	ґрунтові води	pH, важкі метали, амоній, хлориди
Атмосферний	полігонний газ	CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S
Ґрунтовий	навколишні ділянки	важкі метали, органічні речовини
Санітарний	територія полігону	запах, біологічна активність

Періодичність: 1–2 рази на квартал.

Результати передаються до **Єдиної інформаційної системи управління відходами (ЄІСУВ)**.

10. Рекультивація полігонів

Рекультивація — це комплекс робіт із відновлення земель після завершення експлуатації полігону.

Етапи:

1. **Технічна рекультивація:**

- ущільнення маси відходів;
- формування покривного шару (≥ 1 м);
- установка системи дегазації;
- створення дренажу поверхневих вод.

2. **Біологічна рекультивація:**

- нанесення родючого шару ґрунту;
- висівання трав, насадження чагарників;
- стабілізація екосистеми.

Подальше використання:

- сонячні або біогазові електростанції;
- рекреаційні зони, парки;
- склади, промислові майданчики (за умови герметизації).

11. Європейський досвід функціонування полігонів

- **Німеччина:** повна заборона захоронення необроблених відходів з 2005 року.
- **Польща:** полігони інтегровані у регіональні центри оброблення ТПВ.
- **Швеція:** 99% ТПВ переробляється або спалюється, на полігони потрапляє лише 1%.
- **Україна:** реалізується реформа з метою зменшення захоронення на 50% до 2030 року.

12. Перспективи розвитку в Україні

- Перехід від полігонного до **циркулярного управління відходами**.
- Впровадження принципу “**забруднювач платить**”.
- Розбудова регіональних центрів поводження з відходами.
- Розширення інфраструктури сортування і компостування.
- Модернізація полігонів відповідно до **Директиви 1999/31/ЄС**.

13. Висновки

1. Полігони ТПВ залишаються необхідним, але екологічно небезпечним елементом системи управління відходами.
2. Їх функціонування має базуватися на науково обґрунтованих принципах екологічної безпеки.
3. Пріоритетом є **зменшення обсягів захоронення**, розвиток переробки та рекультивації старих полігонів.
4. Перспектива — повна інтеграція України в європейську систему циркулярної економіки.

Рекомендована література

1. Закон України «Про управління відходами», 2023.
2. ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів».
3. Постанова КМУ № 121 від 10.02.2024 р.
4. Директива 1999/31/ЄС про захоронення відходів.
5. Міндовкілля України. Методичні рекомендації з рекультивації полігонів ТПВ.
6. EEA Report (2022): *Landfill Management and Monitoring in Europe*.

Контрольні питання

1. Що таке полігон твердих побутових відходів і які його основні функції?
2. Які нормативні документи регулюють функціонування полігонів в Україні?
3. Які критерії визначають вибір місця для полігону?
4. Опишіть основні елементи конструкції полігону.
5. У чому полягає небезпека полігонного фільтрату?

6. Як здійснюється моніторинг стану полігонів?
7. Що передбачає технічна і біологічна рекультивація полігонів?
8. Які основні напрями модернізації полігонів відповідно до європейських вимог?

Тема 9: Хвостосховища та шламонакопичувачі

1. Вступ

У процесі діяльності гірничо-збагачувальних, металургійних, хімічних, енергетичних та інших промислових підприємств утворюється значна кількість рідких та пастоподібних відходів, які потребують спеціального зберігання. Для цього використовуються **хвостосховища** та **шламонакопичувачі** — інженерні споруди, призначені для складування, зберігання або знешкодження таких відходів.

Хвостосховища та шламонакопичувачі є потенційно небезпечними об'єктами, оскільки порушення правил їх експлуатації може призвести до катастрофічних екологічних наслідків (приклади: аварія у Бая-Маре, Румунія, 2000; Угорщина, 2010; Лисичанськ, 2008).

2. Основні поняття

- **Хвости збагачення** — залишки мінеральної сировини після вилучення з неї корисних компонентів, зазвичай у вигляді пульпи (суміш води та дрібнодисперсних частинок).
- **Хвостосховище** — гідротехнічна споруда для накопичення, зберігання або знешкодження хвостів збагачення.
- **Шламонакопичувач** — споруда для складування шламів (відходів водоочистки, гальванічних, металургійних, хімічних виробництв).
- **Пульпа** — суміш твердих частинок з водою, що транспортується трубопроводами у хвостосховище.

3. Будова та принцип роботи хвостосховищ

Хвостосховище — це багатофункціональна система, що складається з таких основних елементів:

1. **Дамби** — земляні або кам'яні насипи, які утримують масу відходів.
2. **Пляж хвостів** — ділянка, де осідають тверді частинки.
3. **Водне дзеркало** — частина поверхні, де залишається рідина.
4. **Дренажна система** — відводить фільтраційні води, запобігаючи просочуванню.
5. **Противільтраційний екран** — гідроізоляційний бар'єр, який захищає ґрунтові води.
6. **Система аварійного скиду води** — забезпечує контроль рівня води.

Типи хвостосховищ за способом зберігання:

- **З водним дзеркалом** — традиційні, з великим об'ємом води.
- **Безводні (сухі)** — тверді хвости зневоднюються та складаються сухим способом.
- **Пастоподібні** — частково зневоднені, стабільні та менш небезпечні.

4. Шламонакопичувачі: призначення та особливості

Шламонакопичувач — споруда для складування відходів у вигляді шламів (в'язких або пастоподібних мас).

Вони застосовуються у:

- металургійній промисловості (шлами доменних, сталеплавильних, гальванічних цехів);
- хімічній промисловості (відходи нейтралізації);
- енергетиці (золовідвали та шлакові відстійники);
- водоочисних спорудах.

Типи шламів:

- мінеральні;
- органічні;
- токсичні;
- нейтральні.

Шлами часто містять важкі метали, нафтопродукти, сполуки азоту, фосфору, феноли — тому потребують герметичного зберігання.

5. Проектування та будівництво хвостосховищ і шламонакопичувачів

При проектуванні враховують:

- геологічні, гідрогеологічні, кліматичні умови;
- стійкість ґрунтів;
- сейсмічну активність території;
- напрям вітрів, рівень ґрунтових вод;
- екологічну чутливість прилеглих територій.

Основні вимоги:

- наявність протифільтраційних екранів (глинистих або полімерних);
- систем відведення поверхневих і дренажних вод;
- контроль за рівнем пульпи;
- облаштування спостережних свердловин.

6. Експлуатація і контроль стану

Під час експлуатації хвостосховищ ведеться постійний **моніторинг**:

- рівня води;
- стану дамб;
- осідань та тріщин;
- фільтраційних потоків;
- якості підземних вод.

7. Екологічні ризики

Основні загрози, пов'язані з хвостосховищами:

- прорив дамб (катастрофічне забруднення території);
- фільтрація токсичних вод у ґрунт і підземні горизонти;
- забруднення повітря пилом при висиханні поверхні;
- загибель флори і фауни;
- ризик радіаційного або хімічного забруднення (для специфічних шламів).

Приклади аварій:

- **Бая-Маре (Румунія, 2000):** витік 100 тис. м³ ціанідвмісної пульпи.
- **Айка (Угорщина, 2010):** прорив червоного шламу з алюмінієвого заводу.
- **Лисичанськ (Україна, 2008):** прорив дамби шламонакопичувача аміачного виробництва.

8. Рекультивація хвостосховищ

Після завершення експлуатації хвостосховище підлягає **рекультивації**:

Технічна рекультивація:

- осушення, ущільнення, укріплення дамб;
- нанесення шару глини або ґрунту;
- вирівнювання поверхні.

Біологічна рекультивація:

- висадження трав, чагарників, дерев;
- створення рекреаційних або техногенних ландшафтів.

У сучасній практиці застосовують також **повторну переробку хвостів** для вилучення залишкових металів або використання їх як будівельних матеріалів.

9. Нормативно-правове регулювання

Основні документи:

- Закон України «Про управління відходами» (2023 р.)
- ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони та сховища промислових відходів»
- ДСТУ 8807:2018 «Оцінка технічного стану гідротехнічних споруд»
- Постанова КМУ № 326 від 12.05.2023 «Про затвердження Порядку моніторингу об'єктів управління відходами»
- Директива 2006/21/ЄС про управління відходами добувної промисловості

10. Висновки

1. Хвостосховища та шламонакопичувачі є ключовими елементами системи поводження з промисловими відходами.
2. Їх проєктування, експлуатація та моніторинг потребують високого рівня екологічної відповідальності.
3. Сучасні тенденції — перехід до сухого зберігання, зменшення обсягів утворення пульпи, впровадження систем раннього попередження та рекультивації старих об'єктів.

Контрольні питання

1. Що таке хвостосховище та для чого воно призначене?
2. Які основні елементи входять до складу хвостосховища?
3. Чим шламонакопичувач відрізняється від хвостосховища?
4. Назвіть основні екологічні ризики, пов'язані з функціонуванням хвостосховищ.
5. Які методи рекультивації застосовуються після закриття хвостосховищ?
6. Які нормативні документи регулюють проєктування та експлуатацію хвостосховищ в Україні?
7. У чому полягає перевага пастоподібного зберігання хвостів?
8. Наведіть приклади відомих аварій на хвостосховищах.
9. Які системи моніторингу застосовуються для контролю стану дамб?
10. Які напрями мінімізації утворення шламів існують у промисловості?

Рекомендована література

1. Закон України «Про управління відходами», 2023.
2. ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони та сховища промислових відходів».
3. ДСТУ 8807:2018 «Оцінка технічного стану гідротехнічних споруд».
4. Директива 2006/21/ЄС Європейського парламенту та Ради від 15 березня 2006 р.
5. ICOLD Bulletin 181. *Tailings Dams and Waste Rock Storage — Safety and Environmental Considerations.*

Тема 10: Полігони зі знешкодження та захоронення токсичних відходів

1. Вступ

Проблема утилізації та безпечного знешкодження токсичних відходів є однією з найгостріших у сфері охорони довкілля. Індустріалізація, розвиток хімічної, металургійної, фармацевтичної та енергетичної промисловості призводить до утворення великої кількості відходів, що містять токсичні, канцерогенні, мутагенні або стійкі органічні сполуки.

Неправильне зберігання або утилізація таких відходів створює серйозну загрозу для:

- ґрунтів і водних ресурсів;
- атмосферного повітря;
- здоров'я людини;
- біорізноманіття екосистем.

Для мінімізації цього ризику створюються спеціалізовані полігони зі знешкодження та захоронення токсичних відходів — об'єкти підвищеної екологічної безпеки, що функціонують за суворими технічними та санітарними регламентами.

2. Основні поняття

- **Токсичні відходи** — відходи, які містять речовини або сполуки, що можуть спричинити смерть, серйозні травми або шкоду здоров'ю людини чи довкіллю при контакті, вдиханні або потраплянні в організм.
- **Полігон для токсичних відходів** — інженерно-технічний комплекс споруд, призначений для приймання, знешкодження, стабілізації та остаточного захоронення небезпечних відходів.
- **Знешкодження** — процес, спрямований на зниження або усунення небезпечних властивостей відходів (токсичності, вибухонебезпечності, інфекційності тощо).
- **Захоронення** — остаточне ізолювання відходів у спеціально підготовлених спорудах для запобігання їхньому впливу на довкілля.

3. Класифікація токсичних відходів

За ступенем небезпеки виділяють чотири класи:

- **I клас** — надзвичайно небезпечні (ртутні сполуки, ПХБ, ціаніди, арсенати);
- **II клас** — високонебезпечні (сполуки свинцю, кадмію, феноли, кислоти);
- **III клас** — помірно небезпечні (золи, шлами, нафтопродукти);
- **IV клас** — мало небезпечні (осади стічних вод, неактивні шлаки).

Джерела утворення:

- хімічна промисловість;
- фармацевтичне виробництво;
- нафтопереробна та енергетична галузі;
- гальванічні цехи, машинобудування;
- сільське господарство (пестициди, агрохімікати).

4. Призначення та функції полігонів

Полігони виконують такі основні функції:

1. **Приймання** небезпечних відходів після попереднього контролю їхнього складу.
2. **Попереднє знешкодження** (фізико-хімічними або термічними методами).
3. **Стабілізація** або **інкапсуляція** відходів для переведення у безпечний стан.
4. **Остаточне захоронення** у герметичних секціях з повною ізоляцією від навколишнього середовища.
5. **Моніторинг** стану навколишнього середовища на всіх етапах експлуатації та після закриття полігону.

5. Будова полігону зі знешкодження та захоронення токсичних відходів

Полігон має складну багаторівневу конструкцію, що забезпечує герметичність і безпечність захоронення.

Основні елементи:

1. **Гідроізоляційна основа** — кількшаровий бар'єр з ущільненої глини, бентонітових матів та полімерної мембрани (HDPE).
2. **Дренажна система** — трубопроводи для збору фільтрату, який утворюється при фільтрації опадів через відходи.
3. **Система збору полігонного газу** — при анаеробних процесах розкладу органічних речовин.
4. **Шари відходів** — укладаються послідовно, з ущільненням і покриттям ізоляційними матеріалами.
5. **Покривний шар** — після заповнення секції полігону її поверхня закривається гідроізоляційним екраном і шаром ґрунту для рекультивації.
6. **Контрольні свердловини** — для моніторингу стану підземних вод.

6. Технології знешкодження токсичних відходів

1. Фізико-хімічні методи:

- нейтралізація кислот та лугів;
- коагуляція і флотація;
- сорбція активованим вугіллям або цеолітом;
- цементування або тверднення (для стабілізації металовмісних шлаків).

2. Термічні методи:

- спалювання у високотемпературних печах (до 1200 °C);
- піроліз та плазмова технологія — для знищення органічних токсикантів;
- термоокиснення летких органічних сполук.

3. Біотехнологічні методи:

- **біоремедіація** — мікроорганізми розкладають токсиканти;
- **фіторемедіація** — використання рослин для вилучення або нейтралізації забруднень.

7. Вибір місця для розташування полігону

При проектуванні полігонів враховують:

- геологічні та гідрогеологічні умови;
- глибину залягання підземних вод (не менше 2–3 м нижче дна полігону);
- віддаленість від населених пунктів (не менше 3 км);
- сейсмічну стабільність території;
- санітарно-захисну зону (від 1000 до 3000 м).

Заборонено розміщення полігонів:

- у заплавах річок, зонах затоплення;
- у районах карстових порід;
- поблизу джерел питної води.

8. Моніторинг і контроль роботи полігонів

Види контролю:

- **екологічний** — перевірка якості повітря, води, ґрунтів;
- **технологічний** — контроль за станом ізоляційних бар'єрів, дренажу;
- **гідрогеологічний** — аналіз фільтрату та підземних вод;
- **санітарно-гігієнічний** — рівень запахів, токсичних випарів, пилу.

Моніторинг триває не менше 30 років після закриття полігону.

9. Екологічні ризики та аварії

Основні ризики:

- витік фільтратів у ґрунтові води;
- викиди токсичних газів;
- самозаймання або вибухи;
- міграція токсикантів за межі полігону.

Відомі аварії:

- Love Canal (США, 1978) — витік хімічних відходів спричинив масове отруєння.
- Seveso (Італія, 1976) — аварія з діоксинами, що стала підставою для ухвалення директиви Seveso II.

10. Рекультивація полігонів

Технічна рекультивація:

- укріплення дамб, герметизація дна;
- нанесення шару глини та ґрунту;
- формування поверхні для запобігання ерозії.

Біологічна рекультивація:

- висадження трав, чагарників і дерев;
- відновлення природних біоценозів;
- моніторинг відновлення екосистем.

11. Нормативно-правова база

- Закон України «Про управління відходами» (2023);
- ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони та сховища промислових і токсичних відходів»;
- ДСТУ 8807:2018 — «Оцінка технічного стану гідротехнічних споруд»;
- Постанова КМУ № 326 від 12.05.2023 — «Порядок моніторингу об'єктів управління відходами»;
- Директива ЄС 1999/31/ЄС про захоронення відходів;
- Базельська конвенція (1989) про контроль транскордонного перевезення небезпечних відходів.

12. Висновки

1. Полігони для токсичних відходів — ключовий елемент екологічної інфраструктури.
2. Головна мета — забезпечити повну ізоляцію токсичних сполук від довкілля.
3. Сучасний підхід полягає у мінімізації обсягів захоронення шляхом перероблення та знешкодження.
4. Кожен етап — від проєктування до рекультивації — повинен відповідати європейським екологічним стандартам.

Контрольні питання

1. Яке основне призначення полігонів токсичних відходів?
2. Назвіть основні елементи конструкції полігону.
3. Які існують класи небезпеки токсичних відходів?
4. У чому різниця між знешкодженням і захороненням відходів?
5. Які технології знешкодження токсичних відходів застосовуються найчастіше?
6. Які вимоги висуваються до місця розташування полігону?
7. Що таке фільтрат і як здійснюється його відведення?
8. Який період триває екологічний моніторинг після закриття полігону?
9. Які аварії на полігонах токсичних відходів стали знаковими для розвитку екологічного законодавства?
10. Які міжнародні документи регулюють поводження з небезпечними відходами?

Рекомендована література

1. Закон України «Про управління відходами», 2023.
2. ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони та сховища промислових і токсичних відходів».
3. Директива 1999/31/ЄС «Про захоронення відходів».
4. Базельська конвенція, 1989.
5. UNEP (2019). *Guidelines for Safe Management of Hazardous Waste*.
6. Ковальчук І.П. «Екологічна безпека технологічних процесів та виробництв». — К.: НУБіП, 2021.

Тема 11: «Правила технічної експлуатації полігонів»

1. Вступ

Полігони твердих побутових та промислових відходів — це спеціально обладнані споруди, призначені для екологічно безпечного приймання, складування, ізоляції та захоронення відходів. Належна технічна експлуатація полігонів є ключовою умовою мінімізації негативного

впливу на навколишнє природне середовище, здоров'я населення та ефективного використання природних ресурсів.

Мета лекції:

- Розкрити зміст і вимоги правил технічної експлуатації полігонів;
- Ознайомити студентів із системою технологічних, санітарних та екологічних заходів;
- Навчити оцінювати ефективність функціонування полігонів з позицій екологічної безпеки.

Нормативно-правова база:

- Закон України «Про управління відходами» (2023);
- Наказ Мінрегіону № 203 від 01.12.2010 «Правила експлуатації полігонів твердих побутових відходів»;
- ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони та сховища промислових і токсичних відходів»;
- Директива 1999/31/ЄС «Про захоронення відходів»;
- СанПіН 4630-88 «Санітарні правила утримання полігонів побутових відходів».

2. Основні поняття та терміни

- **Полігон відходів** — інженерна споруда для розміщення відходів із дотриманням вимог екологічної безпеки.
- **Технічна експлуатація полігону** — сукупність заходів, що забезпечують стабільне функціонування полігону, безпечне для довкілля.
- **Оператор полігону** — юридична особа, відповідальна за експлуатацію, моніторинг і ведення облікової документації.
- **Фільтрат** — рідина, що утворюється внаслідок фільтрації атмосферних опадів через масу відходів.
- **Полігонний газ** — суміш газів (переважно метану та вуглекислого газу), що утворюється при анаеробному розкладанні органічних компонентів відходів.

3. Основні завдання технічної експлуатації полігонів

1. Забезпечення стабільної роботи інженерних систем полігону;
2. Недопущення забруднення підземних і поверхневих вод;
3. Контроль за виділенням полігонного газу та його утилізація;
4. Запобігання загорянням і самозайманню відходів;
5. Дотримання санітарно-захисних зон;
6. Проведення екологічного моніторингу та звітності;
7. Своєчасне пересипання і рекультивація відпрацьованих карт.

4. Технологічні етапи експлуатації полігону

4.1. Приймання відходів

- Відходи допускаються до розміщення лише за наявності паспорта відходу та дозволу на захоронення;
- Заборонено приймати небезпечні, рідкі та вибухонебезпечні речовини без спеціальних умов.

4.2. Розвантаження і розміщення

- Відходи розміщуються пошарово в технологічних картах;
- Товщина шару — не більше 2 м;
- Кожен шар ущільнюється спеціальною технікою (бульдозерами, компакторами).

4.3. Пересипання відходів

- Щоденне пересипання ґрунтом, піском або інертними матеріалами (товщина шару — 0,15–0,25 м);
- Мета — запобігання поширенню запахів, виносу легких фракцій, розмноженню шкідників.

4.4. Система збору та очищення фільтрату

- Обов'язкове облаштування дренажної системи;
- Система включає дренажні труби, накопичувальні резервуари, установки біохімічного очищення.

4.5. Система збору полігонного газу

- Газ збирається через систему свердловин і колекторів;
- Використовується для виробництва електроенергії або спалюється у факельній установці.

5. Інженерні системи полігону

1. **Гідроізоляція:** геомембрани, глиняні бар'єри, бентонітові мати.
2. **Дренаж:** трубчасті колектори для фільтрату.
3. **Дегазація:** вертикальні свердловини для відводу газу.
4. **Моніторинг:** свердловини спостереження за підземними водами, постійні газові пости.
5. **Дороги:** під'їзні та внутрішні з твердим покриттям.
6. **Огорожа і контрольно-пропускний пункт:** облік транспортних засобів, вагова.

6. Документація з експлуатації полігону

- Паспорт полігону;
- Технологічний регламент експлуатації;
- Журнал приймання відходів;
- Картограма складування;
- Акти моніторингу стану полігону;
- Звіти про утворення фільтрату, газу, результати проб води та повітря.

7. Екологічний моніторинг полігону

Проводиться для оцінки впливу полігону на довкілля:

- **Підземні води** — контроль складу та рівня забруднення;
- **Повітряне середовище** — визначення концентрацій метану, H_2S , CO_2 ;
- **Ґрунти** — вміст важких металів і органічних забруднювачів;
- **Фільтрат** — аналіз на БСК, азот, хлориди, нафтопродукти.

Моніторинг здійснюється постійно, результати вносяться до державної екологічної звітності.

8. Вимоги до персоналу полігону

- Персонал має проходити навчання з охорони праці та екологічної безпеки;
- Оператор полігону відповідає за дотримання технологічного процесу;
- Всі роботи виконуються згідно з затвердженими інструкціями;
- Обов'язкове ведення журналу обліку аварійних ситуацій.

9. Закриття полігону та рекультивація

Після досягнення проектної потужності полігон підлягає:

1. **Технічній рекультивації:** вирівнювання поверхні, накриття ізоляційним шаром ґрунту;
2. **Біологічній рекультивації:** висівання трав, створення зелених насаджень;
3. **Постексплуатаційному моніторингу:** контроль фільтрату та газу протягом 30 років.

10. Проблеми експлуатації полігонів в Україні

- Недостатній контроль за станом старих полігонів;
- Відсутність ефективної системи дегазації;
- Переповненість і несанкціоноване складування;
- Витоки фільтрату у підземні води;
- Недостатнє фінансування екологічного моніторингу.

11. Перспективи вдосконалення

- Автоматизація систем контролю фільтрату й газу;
- Використання полігонного газу як енергоресурсу;
- Впровадження європейських технологій рекультивації;
- Розвиток цифрового екологічного моніторингу;
- Перехід до полігонів нового покоління — *екополігонів*.

12. Висновки

1. Дотримання правил технічної експлуатації полігонів є обов'язковою умовою екологічної безпеки.
2. Сучасний полігон — це складна інженерна споруда, що потребує постійного моніторингу.
3. Фахівці з технологій захисту довкілля повинні володіти знаннями щодо всіх етапів функціонування полігону — від проектування до рекультивації.

Контрольні запитання

1. Які документи регламентують експлуатацію полігонів в Україні?
2. Назвіть основні етапи технічної експлуатації полігону.
3. Які функції виконує система дегазації полігону?
4. Які основні види моніторингу проводяться на полігонах?
5. Що включає технічна та біологічна рекультивація полігону?
6. Які головні екологічні ризики пов'язані з порушенням правил експлуатації?
7. Назвіть основні напрями вдосконалення полігонів в Україні.

Рекомендована література

1. Закон України «Про управління відходами» (2023).
2. ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони та сховища промислових і токсичних відходів».
3. Наказ Мінрегіону № 203 від 01.12.2010 «Правила експлуатації полігонів твердих побутових відходів».
4. Директива 1999/31/ЄС «Про захоронення відходів».
5. Ковальчук І.П. *Екологічна безпека технологічних процесів*. — К.: НУБіП, 2021.
6. UNEP (2019). *Technical Guidelines for Safe Operation of Landfills*.

Тема 12: Експлуатація об'єктів оброблення відходів»

1. Вступ

1.1. Актуальність теми

У сучасних умовах зростання кількості промислових і побутових відходів проблема їх раціонального оброблення є однією з ключових у сфері екологічної безпеки. Об'єкти оброблення відходів виконують важливу роль у зменшенні негативного впливу на довкілля, сприяють повторному використанню ресурсів і розвитку циркулярної економіки.

1.2. Мета лекції

Сформувати у студентів знання про принципи, вимоги, технології та екологічні аспекти **експлуатації об'єктів оброблення відходів**, що забезпечують їх ефективне та безпечне функціонування.

1.3. Нормативно-правова база

- Закон України «**Про управління відходами**» (2023 р.);
- Постанова КМУ №446 від 13.07.2016 «Про ліцензійні умови провадження господарської діяльності у сфері поводження з відходами»;
- Директива 2008/98/ЄС «Про відходи»;
- ДБН В.2.4-2-2005 – планування і забудова територій щодо поводження з відходами;
- Методика визначення впливу об'єктів поводження з відходами на довкілля.

2. Основні поняття

- **Об'єкт оброблення відходів** — спеціалізована споруда, установка або комплекс технологічних ліній, призначених для механічної, термічної, біологічної або іншої обробки відходів з метою зменшення їх кількості, небезпечності чи підготовки до утилізації.
- **Експлуатація об'єкта** — сукупність організаційних, технічних і природоохоронних заходів, що забезпечують безпечне, надійне і ефективне функціонування об'єкта.

3. Класифікація об'єктів оброблення відходів

3.1. За призначенням:

- **Механічні об'єкти:** сортувальні станції, установки подрібнення, пресування, брикетування.
- **Біологічні:** компостувальні станції, біореактори для анаеробного зброджування.
- **Термічні:** установки спалювання, піролізу, газифікації.
- **Фізико-хімічні:** установки нейтралізації, фільтрації, стабілізації.
- **Комплексні (МБО-комплекси):** поєднують механічні й біологічні процеси.

3.2. За типом відходів:

- Побутові, промислові, медичні, сільськогосподарські, небезпечні.

4. Принципи експлуатації об'єктів

1. **Безпечність:** запобігання негативному впливу на довкілля.
2. **Рациональне використання ресурсів:** максимальне вилучення вторинної сировини.
3. **Енергоефективність:** зменшення споживання енергії, використання біогазу.

4. **Контрольованість процесів:** постійний моніторинг технологічних і екологічних параметрів.

5. **Відповідальність оператора:** забезпечення дотримання ліцензійних умов.

5. Технологічні етапи експлуатації об'єктів

1. **Приймання відходів:** перевірка документів, складу, маси, радіаційного фону.

2. **Попереднє сортування:** вилучення крупних та небезпечних компонентів.

3. **Основне оброблення:**

- подрібнення, просіювання, сепарація;
- біооброблення (компостування, зброджування);
- термічна утилізація (спалювання, піроліз).

4. **Вилучення вторинних ресурсів:** папір, скло, полімери, метали.

5. **Знешкодження або передача залишків на полігони.**

6. **Очищення викидів та стічних вод.**

7. **Ведення обліку і звітності.**

6. Вимоги до експлуатації об'єктів

- Наявність ліцензії на провадження діяльності.
- Дотримання **санітарно-захисних зон**.
- Наявність систем очищення повітря, води, фільтрації шлаків.
- Забезпечення **контролю температурного режиму** (для термічних установок).
- Підготовка та атестація персоналу.
- Розробка паспортів об'єкта та інструкцій з експлуатації.
- Ведення екологічного моніторингу.

7. Екологічний моніторинг об'єктів оброблення

7.1. Основні напрями моніторингу:

- контроль **викидів в атмосферу** (CO_2 , NO_x , пил, діоксини, важкі метали);
- аналіз **стічних вод**;
- контроль **рівнів шуму та запаху**;
- вимірювання температур і концентрацій у біореакторах;
- перевірка стану ґрунтів навколо об'єкта.

7.2. Звітність:

Результати моніторингу подаються до **Єдиного державного реєстру відходів та Держекоінспекції**.

8. Енергоефективність і ресурсозбереження

- Використання біогазу з анаеробного зброджування для виробництва електроенергії.
- Отримання RDF-палива (Refuse-Derived Fuel) із фракцій, непридатних для перероблення.
- Рекуперація тепла у процесах спалювання.
- Перероблення вторинних матеріалів (метали, пластик, скло).

9. Проблеми експлуатації в Україні

- Недосконалість системи **роздільного збору відходів**.
- Застарілі технології та обладнання.
- Відсутність екологічного контролю на частині підприємств.
- Висока вартість експлуатації та енергоспоживання.
- Недостатня підготовка персоналу.

10. Завершення експлуатації об'єкта

1. Повна зупинка технологічних процесів.
2. Вивезення залишкових відходів.
3. Демонтаж обладнання.
4. Очищення та рекультивація території.
5. Постексплуатаційний моніторинг (5–10 років).

11. Висновки

- Експлуатація об'єктів оброблення відходів — важливий елемент системи управління відходами, що потребує високого рівня технічної, екологічної та організаційної підготовки.
- Основними завданнями є забезпечення безпечного функціонування, мінімізація викидів і повторне використання ресурсів.
- Майбутні фахівці мають володіти знаннями про технологічні процеси, вимоги до експлуатації та екологічні стандарти для ефективної роботи в галузі поводження з відходами.

Контрольні питання

1. Що таке об'єкт оброблення відходів?
2. Які основні принципи експлуатації об'єктів оброблення?
3. Який тип об'єктів забезпечує компостування органічних відходів?
4. Що таке RDF-паливо?
5. Який документ регулює ліцензування діяльності з поводження з відходами?
6. Які показники контролюють під час екологічного моніторингу?
7. Що передбачає завершення експлуатації об'єкта?
8. Що є основною проблемою експлуатації об'єктів в Україні?

9. Яка головна мета експлуатації об'єктів оброблення?
10. Що забезпечує енергоефективність об'єктів?

Рекомендована література

1. Закон України «Про управління відходами» (2023).
2. Постанова КМУ №446 від 13.07.2016.
3. Ковальчук І.П. *Технології оброблення та утилізації відходів*. — К.: НУБіП, 2021.
4. Директива 2008/98/ЄС «Про відходи».
5. UNEP (2020). *Waste Management Outlook for Eastern Europe and Central Asia*.
6. Європейська комісія. *Best Available Techniques (BAT) for Waste Treatment Industries*.

Тема 13: Експлуатація установок спалювання відходів

1. Вступ

Сучасні тенденції управління відходами передбачають застосування екологічно безпечних технологій знешкодження. Одним із ключових методів є термічне знешкодження — спалювання відходів, що дозволяє істотно зменшити їх обсяг (до 90%) і масу (до 70 %), знищити токсичні компоненти та отримати енергію.

Мета лекції: розглянути принципи, технологію, вимоги до експлуатації та екологічний контроль установок спалювання відходів.

2. Призначення та роль установок спалювання

Установки спалювання відходів (УСВ) використовуються для:

- зменшення кількості відходів, що підлягають захороненню;
- знешкодження небезпечних речовин;
- утилізації теплової енергії (система *Waste-to-Energy*);
- скорочення площ полігонів та обсягів забруднення довкілля.

Відповідно до Директиви ЄС 2000/76/ЄС та Закону України «Про управління відходами» (2023), спалювання відходів є одним з допустимих методів утилізації, якщо забезпечено екологічну безпеку процесу.

3. Класифікація установок спалювання

1. За видом відходів:

- побутові (ТПВ);
- промислові;
- медичні;
- небезпечні (токсичні, хімічні).

2. **За типом камери спалювання:**
 - решітчасті (з рухомими колосниками);
 - ротаційні (обертові барабани);
 - киплячого шару;
 - піролізні (спалювання з обмеженим доступом кисню).
3. **За розміщенням:**
 - стаціонарні;
 - мобільні установки (для віддалених територій або надзвичайних ситуацій).

4. Основні етапи процесу спалювання

1. **Підготовка відходів:**
 - подрібнення, змішування, попереднє сушіння, подача в піч.
2. **Основне горіння:**
 - температура 850–1200 °C (для небезпечних відходів — ≥ 1100 °C);
 - повне згоряння в присутності достатньої кількості повітря.
3. **Допалювання газів:**
 - утримання при 850 °C не менше 2 секунд для руйнування органічних сполук.
4. **Охолодження димових газів:**
 - швидке зниження температури до < 200 °C для запобігання утворенню діоксинів.
5. **Очищення газів:**
 - механічне (фільтри), хімічне (абсорбери, нейтралізатори).
6. **Видалення залишків (шлаку, золи):**
 - збір, охолодження, тимчасове зберігання, утилізація або захоронення.

5. Вимоги до експлуатації установок

1. **Температурний режим:** підтримання стабільних 850–1200 °C.
2. **Контроль подачі повітря і відходів.**
3. **Безперервна робота систем очищення димових газів.**
4. **Автоматизований контроль параметрів:** температура, викиди, кисень, CO₂.
5. **Технічне обслуговування:** регулярна перевірка пальників, датчиків, фільтрів.
6. **Облік роботи:** ведення журналів експлуатації, обліку відходів, складу димових газів.

6. Системи очищення димових газів

- **Механічні:** циклони, рукавні фільтри, електрофільтри.
- **Хімічні:** скрубери, реактори нейтралізації (вапно, сода).
- **Каталітичні:** знищення діоксинів, фуранів, NO_x.

- **Комбіновані:** послідовне очищення різних типів забруднень.

Основна мета очищення: зниження концентрацій шкідливих речовин до рівня, нижчого за ГДК, встановлені нормативами ЄС і України.

7. Продукти спалювання

- **Шлак (8–10 % маси відходів):** може бути стабілізований та використаний у дорожньому будівництві.
- **Зола (1–3 %):** потребує спеціального захоронення.
- **Газоподібні продукти:** CO₂, NO_x, SO₂, HCl, HF, діоксини, фурани.
- **Стічні води:** від промивання газів, потребують очищення.

8. Енергетичне використання теплоти

Сучасні установки працюють за принципом **Waste-to-Energy (WtE)**, тобто виробляють електроенергію або тепло.

- ККД систем — 70–80 %.
- Енергія використовується для опалення або подачі в електромережу.

Приклади:

- *Amager Bakke (Копенгаген)* — поєднання спалювання відходів з виробництвом тепла.
- *Spittelau (Відень)* — архітектурно-екологічний комплекс спалювання ТПВ.

9. Моніторинг та екологічна безпека

- Контроль параметрів у режимі реального часу (CO₂, NO_x, SO₂, пил).
- Періодичний аналіз золи, шлаку, стічних вод.
- Дотримання граничних норм:
 - пил — ≤ 10 мг/м³;
 - HCl — ≤ 10 мг/м³;
 - діоксини — $\leq 0,1$ нг/м³.

Вимоги: забезпечення безперервного моніторингу, калібрування приладів, звітування до органів екологічного контролю.

10. Проблеми та перспективи

Проблеми:

- висока собівартість будівництва і експлуатації;
- необхідність попереднього сортування відходів;
- ризик утворення токсичних сполук при неправильному режимі.

Перспективи:

- застосування піролізу та плазмових технологій;
- використання енергії спалювання в системах централізованого теплопостачання;
- впровадження комплексних полігонно-спалювальних комплексів.

Контрольні питання

1. У чому полягає основна мета спалювання відходів?
2. Які типи установок спалювання використовуються в Україні?
3. Які вимоги до температурного режиму камери спалювання?
4. Назвіть основні етапи процесу спалювання.
5. Які методи очищення димових газів застосовуються?
6. Які основні продукти утворюються при спалюванні?
7. Що таке система Waste-to-Energy?
8. Які показники контролюються під час експлуатації установок?
9. Які основні екологічні ризики спалювання відходів?
10. Які сучасні тенденції розвитку технологій спалювання?

Рекомендована література

1. Закон України «Про управління відходами» (2023).
2. Директива 2000/76/ЄС «Про спалювання відходів».
3. Ковальчук І.П. *Технології утилізації та знешкодження відходів*. — К.: НУБіП, 2021.
4. UNEP. *Waste-to-Energy: Global Review and Outlook*. — 2020.
5. Європейська Комісія. *Best Available Techniques (BAT) for Waste Incineration*. — 2019.

Тема 14: «Комплексні схеми переробки відходів виробництва»

1. Вступ

Проблема утворення та накопичення виробничих відходів є однією з найважливіших екологічних і економічних проблем сучасності. Промислові підприємства різних галузей утворюють великі обсяги відходів, значна частина яких може бути повторно використана як вторинна сировина. Застосування **комплексних схем переробки** дозволяє мінімізувати відходи, зменшити навантаження на довкілля та підвищити ефективність використання природних ресурсів.

Мета лекції: розглянути основні принципи, методи та технології комплексної переробки виробничих відходів, а також практичні приклади впровадження систем «замкненого циклу» у промисловості.

2. Поняття та класифікація виробничих відходів

Виробничі відходи — це залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, що утворюються у процесі виробництва продукції, втрати яких є неминучими.

Класифікація:

- **За походженням:** металургійні, хімічні, енергетичні, машинобудівні, харчові, сільськогосподарські.
- **За агрегатним станом:** тверді, рідкі, газоподібні.
- **За ступенем небезпечності:** безпечні, малонебезпечні, небезпечні, високонебезпечні.
- **За можливістю використання:**
 - відходи, що можуть бути використані повторно;
 - відходи, що підлягають утилізації після оброблення;
 - відходи, що підлягають знешкодженню чи захороненню.

Вторинні матеріальні ресурси (ВМР) — це відходи виробництва і споживання, які після відповідної підготовки можуть бути повторно використані у виробництві.

3. Принципи комплексної переробки відходів

1. **Ієрархія поводження з відходами:** запобігання → повторне використання → переробка → енергетичне використання → знешкодження/захоронення.

2. **Комплексність:** одночасне вилучення кількох корисних компонентів з одного виду відходів.

3. **Замкнений виробничий цикл:** мінімізація утворення відходів і максимальне повернення продуктів у виробництво.

4. **Безвідходне виробництво:** оптимізація технологічних процесів, що дозволяє мінімізувати відходи до технологічно досяжного рівня.

5. **Принцип економічної доцільності:** утилізація має бути не лише екологічно, а й економічно обґрунтованою.

4. Основні технологічні методи переробки виробничих відходів

4.1. Механічні методи

- сортування;
- подрібнення, гранулювання;
- сепарація (магнітна, електростатична, гравітаційна);
- збагачення та підготовка вторинної сировини.

4.2. Термічні методи

- спалювання (отримання теплової енергії);
- піроліз (термічне розкладання без доступу повітря);
- плазмова переробка (високотемпературне знешкодження).

4.3. Хімічні методи

- нейтралізація кислотно-лужних відходів;
- осадження металів;
- екстракція та рекуперація цінних компонентів.

4.4. Біотехнологічні методи

- компостування;
- анаеробне зброджування з утворенням біогазу;
- біоре mediaція ґрунтів, забруднених промисловими відходами.

5. Комплексні схеми переробки для різних галузей

5.1. Металургійна промисловість

- Переробка шлаків на будівельні матеріали (цемент, щебінь).
- Вилучення кольорових металів з пилу та шлаків.
- Використання доменного газу як енергоносія.

5.2. Хімічна промисловість

- Регенерація кислот і лугів.
- Використання побічних продуктів як реагентів у суміжних процесах.
- Очищення та повторне використання промислових стічних вод.

5.3. Енергетика

- Використання золи та шлаків ТЕС у будівництві.
- Рекуперація тепла з димових газів.

5.4. Харчова та аграрна промисловість

- Використання відходів тваринництва для біогазу.
- Переробка відходів рослинництва на компост або паливні гранули.

6. Організаційно-економічні аспекти

- Включення переробки у технологічний цикл підприємства.
- Використання систем екологічного менеджменту ISO 14001.
- Економічні стимули: податкові пільги, «зелені» кредити, система розширеної відповідальності виробника.
- Облік економічного ефекту: скорочення витрат на сировину, енергозбереження, зниження плати за розміщення відходів.

7. Екологічні аспекти впровадження комплексних схем

- Зменшення обсягів відходів, що захоронюються.
- Зниження викидів у повітря, воду, ґрунт.
- Поліпшення санітарно-гігієнічного стану промислових зон.
- Формування екологічно орієнтованої промислової політики.

8. Приклади успішних реалізацій

- **ArcelorMittal (Україна):** повторне використання металургійного пилу у виробництві агломерату.
- **Данія:** 98% відходів використовуються повторно або переробляються (система «Zero Waste»).
- **Німеччина:** утилізація 80% промислових відходів у будівництві.

9. Висновки

Комплексні схеми переробки виробничих відходів є ключовим елементом **циркулярної економіки**.

Вони забезпечують:

- ефективне використання ресурсів;
- зменшення екологічних ризиків;
- розвиток екологічно безпечних технологій;
- гармонізацію з європейськими стандартами управління відходами.

10. Рекомендована література

1. Закон України «Про управління відходами», 2023.
2. Національна стратегія управління відходами до 2030 року.
3. Ковальчук І.П. *Технології утилізації та знешкодження відходів*. — К.: НУБіП, 2021.
4. Європейська комісія. *Best Available Techniques (BAT) for Waste Treatment*, 2019.
5. UNEP (2020). *Circular Economy and Industrial Waste Recovery*.

Тема 15: «Утилізація доменних шлаків»

Лекція 15.1: Утворення та характеристика доменних шлаків

1. Вступ

Доменне виробництво є основним етапом металургійного циклу, на якому з руди отримують чавун. У процесі виплавки утворюється велика кількість побічних продуктів — зокрема **шлаків**, що становлять близько **250–350 кг на 1 т чавуну**.

Накопичення шлаків є серйозною екологічною проблемою, тому їх **утилізація та повторне використання** мають важливе значення для реалізації принципів **циркулярної економіки та сталого розвитку**.

2. Процес утворення доменних шлаків

2.1. Характеристика процесу

Під час плавки у доменній печі відбувається:

- відновлення заліза з оксидів руди;
- видалення пустої породи;
- утворення шлаку — суміші оксидів, що не беруть участі у металургійній реакції.

2.2. Основні компоненти шлаку:

- **CaO (окис кальцію)** — головний флюс, знижує температуру плавлення;
- **SiO₂ (діоксид кремнію)** — основний неметалевий компонент руди;
- **Al₂O₃ (оксид алюмінію)** — формує структуру шлаку;

- **MgO, FeO, MnO** — вторинні компоненти, що впливають на в'язкість і температуру плавлення.

3. Класифікація доменних шлаків

За ступенем основності:

- Кислі шлаки ($\text{CaO/SiO}_2 < 1$);
- Основні шлаки ($\text{CaO/SiO}_2 > 1$);
- Нейтральні шлаки ($\text{CaO/SiO}_2 \approx 1$).

За структурою та способом охолодження:

- **Гранульовані (водяне охолодження)** — аморфна структура, висока реакційна здатність;
- **Повітряно-охолоджені** — кристалічна структура, менша активність.

4. Фізико-хімічні властивості

Показник	Значення / Характеристика
Густина	2,7–3,2 г/см ³
Температура плавлення	1350–1500 °C
Водопоглинання	до 10%
Активність	висока для граншлаків

5. Екологічні проблеми шлакових відвалів

- **Зайняття великих площ земель** — порушення ландшафтів;
- **Фільтрація токсичних компонентів** (важкі метали) у підземні води;
- **Пилові викиди** при пересипанні шлаку;
- **Теплове забруднення** навколишнього середовища.

6. Шляхи мінімізації негативного впливу

- Переробка шлаків безпосередньо на виробництві;
- Використання у виробництві будматеріалів;
- Відновлення металів із шлаку;
- Застосування принципів **zero waste metallurgy**.

7. Висновки до лекції 1

- Доменні шлаки — потенційно цінна вторинна сировина.
- Ефективне використання шлаків дозволяє зменшити екологічні ризики, економити енергоресурси та підвищувати ефективність металургії.
- Основним напрямком є створення замкнутого циклу шлакового господарства.

Лекція 15.2: Технології утилізації та використання доменних шлаків

1. Основні напрями утилізації

1. **Будівельна галузь**
 - виробництво цементу (шлакопортландцемент);
 - виготовлення бетону, цегли, плитки;
 - використання шлаку як щебеню у дорожньому будівництві.
2. **Сільське господарство**
 - нейтралізація кислотності ґрунтів (вапнування);
 - покращення структури ґрунтів.
3. **Металургійне виробництво**
 - повторне використання фракцій шлаку у шихті;
 - вилучення залишкового металу.

2. Методи переробки шлаків

Метод	Суть процесу	Результат
Водне гранулювання	Різке охолодження струменем води	Граншлаки для цементу
Повітряне охолодження	Повільне охолодження	Кристалічний щебінь
Комбіноване охолодження	Повітря + вода	Регульована структура
Сортування та подрібнення	Механічна підготовка	Фракційні матеріали

3. Використання у виробництві цементу

- Гранульовані шлаки мають гідравлічну активність і можуть частково замінювати портландцементний клінкер.
- **Шлакопортландцемент** — дешевший, екологічніший і має менше викидів CO₂.
- Вміст шлаку у цементі може досягати **70–80%**.

4. Екологічні та економічні переваги утилізації

- Зниження кількості відходів, що потрапляють у навколишнє середовище.
- Економія природних ресурсів (вапняку, глини, енергії).
- Зменшення витрат підприємств на зберігання шлаків.
- Зниження викидів парникових газів.

5. Приклади реалізації в Україні

- **АрселорМіттал Кривий Ріг** — виробництво гранульованого шлаку для експорту.
- **Криворізький цементний завод** — використання доменних шлаків у цементі.

- **Запоріжсталь** — повторна утилізація металовмісних шлаків.

6. Перспективні технології утилізації

- **Нанотехнологічна модифікація** шлакових матеріалів для підвищення міцності бетону.
- **Термічне активування** шлаків для отримання активних цементуючих компонентів.
- **Вилучення рідкісних металів** (Ti, V, Cr) із шлакових залишків.

7. Екологічна оцінка

Для оцінки екологічного ефекту застосовують:

- показники зменшення маси відходів;
- скорочення площі відвалів;
- зниження енергоспоживання на одиницю продукції;
- еколого-економічний баланс утилізації.

8. Висновки до лекції 2

- Утилізація доменних шлаків — ключовий елемент ресурсозбереження у металургії.
- Розвиток технологій переробки дозволяє зменшити екологічні ризики та сприяє переходу до «зеленої металургії».
- Пріоритетним напрямом є створення інтегрованих комплексів переробки відходів виробництва.

Рекомендована література

1. Грицай В.І. *Утилізація промислових відходів металургії*. — Київ: НТУУ «КПІ», 2020.
2. Ковальчук І.П. *Технології поводження з відходами промисловості*. — Київ: НУБіП, 2021.
3. Європейська комісія. *Best Available Techniques (BAT) for Ferrous Metals Processing*, 2022.
4. ДСТУ 8802:2018. *Шлаки доменні. Технічні умови*.

Тема 16: Утилізація сталеплавильних шлаків

1. Мета лекції

- Ознайомити студентів із процесом утворення сталеплавильних шлаків, їх властивостями та складом.
- Розкрити основні напрями утилізації сталеплавильних шлаків у промисловості.

- Оцінити екологічні та економічні переваги повторного використання шлаків.
- Показати роль утилізації сталеплавильних шлаків у системі циркулярної економіки.

2. Ключові поняття

- **Сталеплавильний шлак** — побічний продукт, який утворюється при виплавці сталі у конвертерах, мартенах або електропечах.
- **Основність шлаку (В)** — співвідношення CaO/SiO_2 , яке визначає його хімічну активність.
- **Гідравлічна активність** — здатність матеріалу вступати у реакцію з водою з утворенням цементоподібних сполук.
- **Стабілізація шлаку** — технологічні процеси, що забезпечують його безпечне використання у промисловості.

3. Утворення сталеплавильних шлаків

Сталеплавильні шлаки утворюються при очищенні розплавленого металу від домішок у процесі перероблення чавуну в сталь. Основні джерела утворення:

- **Киснево-конвертерне виробництво сталі (ККП);**
- **Електропічне виробництво сталі (ЕПС);**
- **Мартенівський процес.**

Кількість утворених шлаків — **100–200 кг на 1 т сталі.**

4. Хімічний склад сталеплавильних шлаків

Основні компоненти:

- **CaO (35–50 %)** — забезпечує основність і гідравлічну активність;
- **SiO_2 (10–20 %)** — впливає на в'язкість шлаку;
- **FeO , Fe_2O_3 (15–30 %)** — визначають магнітні властивості;
- **MnO (2–8 %)** — підвищує механічну міцність;
- **MgO (2–10 %)** — зменшує гідратаційне розширення.

Також можуть бути присутні P_2O_5 , Al_2O_3 , S, TiO_2 .

5. Фізико-хімічні властивості

- **Щільність:** 2,8–3,6 г/см³
- **Пористість:** 5–25 %
- **Водопоглинання:** 1–5 %
- **Міцність на стиск:** до 100 МПа
- **Температура плавлення:** 1400–1600 °С

Залежно від режиму охолодження розрізняють:

- **Кристалічні шлаки** (повільне охолодження);
- **Гранульовані шлаки** (швидке охолодження водою).

6. Класифікація сталеплавильних шлаків

1. За технологічним процесом:

- Конвертерні шлаки;
- Електропічні;
- Мартенівські.

2. За структурою:

- Гранульовані;
- Кристалічні;
- Аморфні.

3. За напрямом використання:

- Будівельні;
- Металургійні (повторна переробка);
- Сільськогосподарські;
- Екологічні.

7. Основні напрями утилізації сталеплавильних шлаків

7.1. Будівельна промисловість

- Використання як добавки у цемент (до 10–15 % у складі клінкеру).
- Використання як заповнювач у бетоні, шлакоблоках, дорожньому покритті.
- Виробництво мінеральної вати, будівельних плит.

Переваги:

- зниження собівартості будматеріалів;
- економія природної сировини (щебеню, піску).

Недоліки: потреба у стабілізації для запобігання розширенню при гідратації.

7.2. Металургійне повторне використання

- Вилучення металевих включень за допомогою магнітної сепарації (до 20 % металу).
- Використання як флюсу при доменному плавленні.
- Повернення шлаку у сталеплавильну шихту після оброблення.

7.3. Сільське господарство

- Використання шлаків як **меліорантів** для нейтралізації кислих ґрунтів.
- Постачання **мікроелементів (Mn, Mg, Ca)**.

Умова використання: контроль вмісту важких металів (Cr, Pb, Zn).

7.4. Екологічне будівництво

- Використання шлаків для **ізоляції полігонів ТПВ**.
- Засипка шахт, кар'єрів, рекультивація порушених земель.
- Формування техногенних геоматеріалів для інженерних споруд.

8. Технології перероблення сталеплавильних шлаків

1. **Механічна обробка:** подрібнення, сортування, грохочення.
2. **Магнітна сепарація:** вилучення металевих включень.
3. **Термічна обробка:** стабілізація матеріалу при 600–800 °С.
4. **Хімічна стабілізація:** нейтралізація лугів кислотами.
5. **Грануляція:** швидке охолодження для отримання гранульованого шлаку, придатного до цементу.

9. Екологічні аспекти

- Шлакові відвали займають великі площі (до 25 % промислових територій).
- Вимивання важких металів у ґрунт і воду.
- Пиловиділення та забруднення атмосфери.
- Потенційна радіоактивність деяких шлаків (особливо мартенівських).

Шляхи мінімізації впливу:

- рекультивація територій;
- екранування шлакових відвалів;
- вторинна переробка;
- екологічний моніторинг складів шлаку.

10. Економічна ефективність утилізації

Переваги для підприємств:

- зменшення витрат на утилізацію відходів;
- отримання додаткової сировини (метал, будматеріали);
- зниження плати за розміщення відходів;
- підвищення екологічного іміджу підприємства.

11. Приклади практичного використання

Країна Частка утилізації шлаків Основні напрями

Японія	95 %	Будівництво, дорожні покриття
Німеччина	85 %	Цемент, дорожнє будівництво
США	70 %	Засипка кар'єрів, будматеріали
Україна	30–40 %	Дорожнє будівництво, цемент

12. Перспективи

- Розвиток технологій **повної переробки шлаків**.
- Використання **нанотехнологій** для модифікації властивостей шлаків.
- Впровадження **європейських стандартів управління відходами (EN 15167)**.
- Розвиток **індустрії шлакових матеріалів** як складової циркулярної економіки.

13. Висновки

1. Сталеплавильні шлаки — цінна вторинна сировина, що може використовуватися у промисловості.
2. Їх утилізація дозволяє суттєво зменшити негативний вплив металургії на довкілля.
3. Перспективним є розвиток замкнених циклів “виробництво — відходи — ресурс”.
4. Комплексний підхід до перероблення сталеплавильних шлаків — ключ до сталого розвитку металургійної галузі.

Рекомендована література

1. Грицай В.І. *Утилізація металургійних шлаків*. — Київ: НТУУ «КПІ», 2021.
2. Ковальчук І.П. *Промислові відходи: технології переробки та утилізації*. — Львів: ЛНТУ, 2020.
3. Європейська комісія. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production*, 2022.
4. ДСТУ 8970:2019. *Шлаки сталеплавильні. Технічні умови*.
5. Кірюшин В.В. *Технології вторинної переробки промислових відходів*. — Харків: ХНУРЕ, 2019.

Тема 17: Утилізація шлаків феросплавного виробництва

1. Вступ

Феросплавне виробництво — одна з найенергоємніших і екологічно навантажених галузей металургії.

У процесі виплавки феросплавів утворюються значні обсяги шлаків, що є побічним продуктом термічної обробки руд, флюсів і металів. Щороку у світі накопичуються мільйони тонн таких відходів, які при нерациональному зберіганні створюють серйозну небезпеку для довкілля.

Основна мета утилізації шлаків — повторне використання цінних компонентів, зменшення обсягів відходів і мінімізація негативного впливу на екосистеми.

2. Утворення та характеристика шлаків феросплавного виробництва

2.1. Види феросплавів

Основні види продукції феросплавного виробництва:

- Феромарганець (FeMn);
- Феросиліцій (FeSi);
- Ферохром (FeCr);
- Феромолібден (FeMo);
- Ферованадій (FeV) тощо.

2.2. Утворення шлаків

Шлаки утворюються під час відновлення руд у руднотермічних печах. Вони складаються з оксидів компонентів руди (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , MnO , FeO , Cr_2O_3) і флюсів, які взаємодіють із домішками металу.

2.3. Фізико-хімічні властивості

- Густина: 2,7–3,5 г/см³;
- Твердість: 5–7 за шкалою Мооса;
- Температура плавлення: 1200–1600 °C;
- Стійкість до агресивних середовищ;
- Здатність до швидкого охолодження (утворення аморфних гранул).

3. Основні напрями утилізації шлаків

3.1. Вилучення металів

Шлаки містять значну кількість металів (до 20–30%), тому можуть бути вторинною сировиною.

Застосовуються такі методи:

- **Магнітна сепарація** — вилучення заліза, феросплавів;
- **Гравітаційне збагачення** — відокремлення важких металевих фракцій;
- **Електромагнітне збагачення** — для шлаків із низьким вмістом металу.

3.2. Використання у будівництві

- Виробництво цементу та бетонів (заміна природних мінеральних добавок);
- Використання в дорожньому будівництві як щебінь, підсипка, заповнювач;
- Виробництво шлакової пемзи, керамзиту, мінеральної вати.

Таке застосування дозволяє зменшити використання природного каменю, піску, глини.

3.3. Використання у виробництві нових матеріалів

- **Склошлакові композиції** — для теплоізоляції та декоративних покриттів;
- **Шлаколужні цементи** — з високою корозійною стійкістю;
- **Керамічні матеріали** — основа для облицювальних плиток.

4. Екологічні аспекти

Шлаки можуть містити важкі метали (Cr, Mn, V, Pb, Zn), що здатні вимиватися під дією атмосферних опадів.

Основні заходи екологічної безпеки:

- Попереднє охолодження і стабілізація шлаків;
- Нейтралізація лужних компонентів;
- Використання герметичних полігонів або бетонних карт для тимчасового зберігання;
- Проведення моніторингу ґрунтів і вод поблизу місць складування.

5. Економічна ефективність утилізації

Рациональне використання шлаків дає такі економічні переваги:

- Зменшення витрат на утилізацію відходів і закупівлю природної сировини;
- Повернення металів у виробничий цикл;
- Розвиток вторинного ринку будівельних матеріалів;
- Зниження плати за розміщення відходів.

У розвинених країнах (Німеччина, Японія, Швеція) частка повторного використання шлаків перевищує 80%.

6. Законодавчі та нормативні аспекти

Основні документи:

- **Закон України «Про управління відходами» (2023 р.)** — визначає вимоги до обліку, утилізації, транспортування шлаків;
- **ДСТУ 3210-95** — класифікація промислових відходів;
- **Директива ЄС 2008/98/ЄС** — про відходи та відновлення ресурсів.

Підприємства повинні мати **паспорт відходів, дозвіл на поводження з ними**, а також розробляти **плани утилізації**.

7. Приклади успішної утилізації

1. Нікопольський завод феросплавів (Україна)

Впроваджено магнітно-гравітаційну установку для вилучення марганцю. Отримані продукти — марганцева концентрована сировина та шлак для цементного виробництва.

2. **Finnferro (Фінляндія)** Всі шлаки використовуються у дорожньому будівництві; рівень утилізації — 98%

3. **Tata Steel (Індія)** Розроблена технологія виготовлення керамічних блоків на основі ферохромових шлаків.

8. Висновки

- Шлаки феросплавного виробництва — важливий техногенний ресурс, а не лише відхід.
- Ефективна утилізація сприяє зменшенню навантаження на довкілля та розвитку циркулярної економіки.
- Впровадження сучасних технологій переробки дозволяє досягти **повного використання шлаків** як вторинної сировини.

Контрольні питання

1. Які основні типи шлаків утворюються у феросплавному виробництві?
2. Які фізико-хімічні властивості шлаків визначають їх утилізаційний потенціал?

3. Які методи застосовуються для вилучення металів зі шлаків?
4. Які напрямки повторного використання шлаків є найбільш ефективними?
5. Які нормативно-правові документи регулюють поводження зі шлаками в Україні?

Тема 18: Утилізація окалини прокатних цехів

1. Вступ

Окалина прокатних цехів є одним з найбільш поширених відходів металургійного виробництва. Вона утворюється під час **нагрівання сталевих заготовок і гарячого прокатування** металу, коли залізо на поверхні реагує з киснем повітря, утворюючи оксиди.

Утилізація окалини має **важливе значення**:

- економічне — дозволяє повернути до виробництва до 75% заліза;
- екологічне — зменшує накопичення твердих відходів;
- технологічне — сприяє зниженню енергоспоживання при виплавці сталі.

2. Характеристика окалини прокатних цехів

2.1. Визначення

Окалина — це продукт окиснення заліза та легувальних елементів сталі на її поверхні під час гарячої обробки тиском або нагрівання.

2.2. Хімічний склад

- FeO — 40–50 %
- Fe_2O_3 — 30–40 %
- Fe_3O_4 — 10–20 %
- домішки: SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MnO , C

2.3. Фізичні властивості

- Густина: 4,5–5,2 г/см³
- Вміст заліза: 60–75 %
- Колір: темно-сірий або чорний
- Механічні властивості: крихкий, легко подрібнюється

3. ДЖЕРЕЛА УТВОРЕННЯ ОКАЛИНИ

1. **Нагрівальні печі** — при окисненні поверхні заготовок перед прокатуванням.
2. **Прокатні кліті** — під час гарячої деформації.
3. **Охолоджувальні пристрої** — при контакті гарячого металу з повітрям і водою.
4. **Гідрозбірники** — при змиванні окалини водою з поверхні металу.

4. Кількісні характеристики

- Утворення окалини становить **1,5–2,5 %** від маси прокату.
- При річному обсязі виробництва 1 млн тонн сталі утворюється до **20–25 тис. тонн окалини**.
- До 70 % окалини збирається в гідрозбірниках у вигляді шламів.

5. Методи збору і підготовки окалини

5.1. Механічний збір

- Очищення жолобів, лотків, піддонів вручну або механічними скребками.
- Застосування вібраційних решіток і транспортерів.

5.2. Гідрозмив

- Використання води для змивання окалини в шламозбірники.
- Отримана суспензія подається у відстійники.

5.3. Зневоднення і сушіння

- Центрифугування або фільтрування шламів.
- Термічна сушка до вологості 5–10 %.

5.4. Магнітна сепарація

- Відділення металевих частинок від неметалевих домішок.
- Отримання концентрату з вмістом Fe понад 70 %.

6. Напрями утилізації окалини

6.1. Металургійна утилізація

- Використання у доменному, агломераційному та мартенівському виробництві.
- Застосування у вигляді **брикетів або гранул** як залізовмісна сировина.
- Переваги:
 - зменшення витрат руди;
 - скорочення втрат металу;
 - покращення структури агломерату.

6.2. Хімічна переробка

- Відновлення заліза з окалини у відновлювальних печах:
$$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$$
- Отримання оксидів заліза для виробництва **пігментів, каталізаторів, феритів**.

6.3. Використання у будівельній галузі

- Додавання в **цемент, бетон, асфальтобетон** як мінеральний наповнювач.
- Використання у виготовленні **залізобетонних блоків** та дорожніх сумішей.

6.4. Інноваційні технології

- Виробництво **порошків** для **3D-друку** металевих деталей.
- Використання у **водоочисних фільтрах** як сорбентів для важких металів.

7. Екологічні та економічні переваги

Показник	Результат
Зменшення обсягів відходів	до 90 %
Економія заліза	60–70 кг/т прокату
Зменшення викидів CO ₂	5–10 %

Зниження навантаження на шламонакопичувачі суттєве

Таким чином, утилізація окалини сприяє **ресурсоефективному виробництву і зменшенню екологічних ризиків**.

8. Нормативно-правове забезпечення

- **Закон України «Про управління відходами» (2023)** — встановлює вимоги до поводження з відходами та їх утилізації.
- **ДСТУ 3210-95** — класифікація промислових відходів.
- **ISO 14001:2015** — система екологічного менеджменту.
- **Національний перелік відходів України (2021)** — код відходу окалини 10 02 10.

9. Приклади утилізації на підприємствах

- **ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»** — використовує окалину у шихті для агломерату.
- **ММК ім. Ілліча (Маріуполь)** — застосовує магнітну сепарацію та брикетування.
- **Запоріжсталь** — впроваджено технологію зневоднення та повернення окалини у доменний процес.

10. Висновки

1. Окалина є цінним вторинним ресурсом, який необхідно повертати у виробництво.
2. Основні напрями утилізації — металургійна, хімічна та будівельна.
3. Утилізація окалини забезпечує зниження втрат металу, економію енергоресурсів і поліпшення стану довкілля.
4. Перспективним є впровадження комплексних систем збору, сепарації та відновлення заліза на всіх етапах прокатного процесу.

Тема 19: Утилізація відпрацьованих травильних розчинів

1. Вступ

Травлення металів — один із ключових процесів підготовки поверхні у металургії, машинобудуванні, трубному та прокатному виробництвах.

Його метою є видалення окалини, іржі, окислів та забруднень перед подальшими технологічними операціями (оцинковування, фарбування, прокат, зварювання тощо).

Під час тривалого використання травильні розчини насичуються продуктами реакції травлення (солями металів) і втрачають активність, утворюючи відпрацьовані травильні розчини (ВТР).

Ці відходи є небезпечними для довкілля, оскільки містять кислоти, солі важких металів і органічні домішки.

З огляду на це, утилізація та регенерація травильних розчинів є важливим завданням сучасної екотехнології та ресурсоощадного виробництва.

2. Характеристика відпрацьованих травильних розчинів

2.1. Склад і властивості

Відпрацьовані розчини містять:

- залишкову кислоту (HCl , H_2SO_4 , HNO_3 тощо);
- солі металів (FeCl_2 , FeCl_3 , ZnCl_2 , CuSO_4);
- органічні інгібітори;
- завислі частинки (оксиди металів, продукти корозії).

Основні властивості:

- рН 0,5–2,0 (висока кислотність);
- висока електропровідність;
- наявність токсичних іонів важких металів (Cr^{3+} , Ni^{2+} , Pb^{2+});
- агресивність до матеріалів обладнання.

3. Джерела утворення ВТР

Галузь промисловості	Вид ванни	травильної	Основні забрудники
Чорна металургія	HCl , H_2SO_4		FeCl_2 , FeCl_3
Кольорова металургія	HNO_3 , HF		Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+}
Машинобудування	HCl , H_2SO_4		Fe^{2+} , масла, окалини
Гальванічні цехи	HCl , H_2SO_4 , HNO_3		Cr , Zn , Ni

Обсяг утворення становить від 0,3 до 1,5 м³ ВТР на 1 т металу, залежно від процесу.

4. Екологічна небезпека ВТР

- **Хімічна агресивність** (кислотність $\text{pH} < 2$).
- **Токсичність** через вміст іонів важких металів.
- **Корозійна дія** на труби, резервуари, бетонні конструкції.
- **Забруднення водних об'єктів і ґрунтів** у разі несанкціонованих скидів.
- **Виділення газоподібного водню** при контакті з металами → вибухонебезпечність.

Таким чином, ВТР належать до відходів III класу небезпеки, що вимагає спеціального поводження та контролю.

5. Основні методи утилізації та переробки ВТР

5.1. Хімічна нейтралізація

Мета — **зниження кислотності** до безпечного рівня перед подальшою обробкою або утилізацією.

Реакції нейтралізації:

- $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
- $2\text{HCl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- $\text{FeCl}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{NaCl}$

Переваги: простота, доступність реагентів.

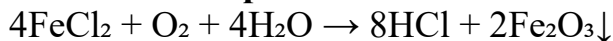
Недоліки: утворення великої кількості шламів гідроксидів металів.

5.2. Регенерація травильних розчинів

Мета — **повторне використання кислоти** у виробничому процесі.

Методи регенерації:

1. **Термічний** (пірогідроліз):



- Продукти: відновлена кислота (HCl) та оксид заліза (Fe_2O_3).
- Fe_2O_3 використовується як пігмент або компонент цементу.

2. **Мембранна регенерація (електродіаліз, діаліз):**

- Селективне відділення кислотних іонів через мембрани.
- Отримують концентровану кислоту і розчин солей.
- Енергоєфективний процес, придатний для HCl та H_2SO_4 .

3. **Іонний обмін:**

- Кислота регенерується шляхом обміну йонів між розчином і смолою.
- Обмежене промислове застосування через вартість смол.

5.3. Металургійна переробка осадів

- Осади гідроксидів заліза можна переробляти у **червоний пігмент Fe_2O_3** .
- Залізовмісні розчини — **добавка у цемент або фероматеріали**.
- Використання CaCl_2 (продукту нейтралізації) як **антиобліднювача**.

6. Комбіновані технології очищення та утилізації

Сучасні підходи передбачають **поєднання декількох методів** для досягнення максимального ефекту:

1. **Нейтралізація + Мембранна сепарація** → очищена вода + концентрат солей.
2. **Пірогідроліз + Зворотне використання кислоти**.
3. **Осадження + Фільтрація + Сушіння осаду** → мінімізація шламів.

Перевага комбінованих методів — **ресурсозбереження та екологічна безпека**.

7. Приклади промислових технологій

Технологія	Принцип	Продукти
Пірогідроліз (HCl)	Термічне розкладання FeCl_2	HCl, Fe_2O_3
Мембранна регенерація	Іонний перенос через мембрани	Кислота, солі
Нейтралізація	Осадження гідроксидів	$\text{Fe}(\text{OH})_3$, CaCl_2
Біохімічне очищення	Використання мікроорганізмів	Очищена вода, біомаса

8. Використання продуктів утилізації

- Fe_2O_3 — пігмент у лакофарбовій промисловості;
- CaCl_2 — антиобліднювальна суміш для доріг;
- ZnSO_4 , CuSO_4 — як сировина у хімічному виробництві;
- Очищена вода — повертається у технічний цикл.

9. Нормативне забезпечення та вимоги

- Закон України «Про управління відходами» (2023) — основні вимоги до поводження з небезпечними відходами;
- ДСП 173-96 — санітарні норми поводження з відходами;
- ISO 14001:2015 — системи екологічного менеджменту;
- Національний перелік відходів (2021): код 11 01 05 — «Відпрацьовані травильні розчини».

10. Екологічна та економічна ефективність утилізації

Показник	Без утилізації	З утилізацією (пірогідроліз)
Витрати кислоти	100%	↓ 60–70%
Обсяг відходів	100%	↓ 80%
Енергоспоживання	—	Помірне
Отримання товарних продуктів	—	Fe_2O_3 , HCl
Екологічна безпека	Висока	Низька

11. Висновки

1. Відпрацьовані травильні розчини — небезпечні відходи, що потребують спеціальної утилізації.
2. Найефективнішими методами є **регенерація (пірогідроліз, мембранна сепарація)**.
3. Утилізація дозволяє **знижити обсяг відходів і повернути цінні ресурси**.
4. Комбіновані технології — оптимальний шлях для впровадження принципів **циркулярної економіки** у металургійному виробництві.

Тема 20: Утилізація твердих відходів коксохімічного виробництва

1. Мета та завдання лекції

Мета: надати системне розуміння природи, небезпек та сучасних шляхів утилізації твердих відходів коксохімічного виробництва, оцінити їх ресурсну та екологічну цінність.

Завдання: класифікація твердих відходів; характеристика фізико-хімічних властивостей; аналіз методів переробки і використання; розгляд нормативно-правових і організаційних аспектів.

2. Вступ. Походження і обсяги твердих відходів

Коксохімічне виробництво генерує значні обсяги твердих відходів: шлами газоочищення, смоляна гуща, вугільний пил, золи, фільтраційні матеріали та відпрацьовані каталізатори. Джерела їх утворення — газоочисні установки, конденсатори, відстійники, стоки з охолоджувальних та дегазаційних установок. Ефективне поводження з такими відходами — ключовий елемент екологічного менеджменту коксохімічних підприємств.

3. Класифікація та характеристика твердих відходів

3.1 Основні групи:

- **Мінеральні:** золи, шлаки, частково обезвуглецьовані матеріали (містять SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO тощо).
- **Органічні:** смоляна гуща, пічна сажа, залишки смолистих фракцій (ПАУ, феноли).
- **Змішані шлами:** містять як мінерали, так і високотоксичні органічні компоненти.

3.2

Фізико-хімічні

властивості

(коротко):

висока зольність у мінеральних фракціях; наявність токсичних органічних сполук (феноли, нафталін, ПАУ) у смоляних залишках; можливе присутність важких металів у шламах. Ці параметри визначають спосіб утилізації та потребу в додаткових заходах знешкодження

4. Екологічні ризики при зберіганні та захороненні

- Ґрунтове і підґрунтове воду забруднення токсинами і важкими металами;
 - викиди летких органічних речовин при висиханні/підігріві;
 - ризик самозаймання органічних залишків;
 - утворення канцерогенних продуктів при неконтрольованому спалюванні.
- Через це пріоритет — переробка/утилізація з відновленням ресурсів, а не просте захоронення.

5. Методи утилізації твердих відходів

(практична класифікація з перевагами/обмеженнями)

5.1 Фізико-механічні методи

- **Брикетування/грануляція:** створення паливних або шихтових брикетів; зменшує пиління та полегшує транспортування; може застосовуватися для повернення в шихту або використання як вторинне паливо.

5.2 Термічні методи

- **Спалювання/ко-спалювання:** зменшує об'єм і дає енергію, але потребує очищення димових газів; при неконтрольованому процесі — ризик утворення токсичних продуктів.
- **Піроліз/газифікація:** отримання синтез-газу, рідких фракцій і технічного вуглецю; підходить для смолистих залишків і змішаних відходів. Плазмова обробка — ефективний спосіб знешкодження з утворенням інертного шлаку.

5.3 Хімічні та металургійні методи

- **Випалювання/виплавка** шлаків для отримання металевих концентратів (наприклад заліза), вилучення металів кислотним або лужним вилуговуванням. Ці методи доцільні при високому вмісті металів.

5.4 Використання у будівництві та матеріалознавстві

- **Добавки у цемент і бетон,** використання спечених шлаків як заповнювача або щебеню — економічний варіант повторного використання мінеральної частини відходів.

5.5 Комплексні підходи

- Послідовність: дегідrataції → брикетування → піроліз/ко-спалювання або поділ на фракції з подальшою спеціалізованою переробкою. Такий підхід забезпечує максимальне відновлення ресурсів і мінімізацію ризиків.

6. Економічна доцільність і оцінка ефективності

- Окупність встановлення модерних переробних ліній впливає з економії на захороненні, реалізації вторинних продуктів (металеві концентрати, паливо, добавки для цементу) та зменшення екологічних ризиків/штрафів.
- Аналітичні огляди показують, що комплексні підходи (регенерація + енергоутилізація) забезпечують кращу екологічну й економічну ефективність, ніж ізольовані методи.

7. Перспективні напрями досліджень і впровадження

- Підвищення використання піролізу й плазмової газифікації; розвиток мембранних та сорбційних технологій для виділення цінних фракцій; інтеграція промислових відходів у виробництво будівельних матеріалів; ко-переробка з іншими відходами (RDF, відходи пластиків) у коксувальних установках.

8. Висновки

1. Тверді відходи коксохімії мають суттєвий потенціал як вторинні ресурси (вуглець, метали, мінерали), але часто супроводжуються високою токсичністю.

2. Пріоритет — комплексна переробка: дегідратація → поділ на фракції → брикетування/піроліз/випалювання/використання в будівництві.

3. Нормативні інструменти (паспорт відходу, моніторинг) та системи менеджменту забезпечують контроль і правову базу для впровадження практик замкненого циклу.

Література

1. Kiseleva T.V., *Environmental and Economic Management of Coke Plants* — аналіз сучасних підходів до управління екологічними ризиками коксохімічного виробництва.

2. Mishra L. et al., *Coke wastewater treatment methods: Mini review*, 2021 — огляд методів очищення стічних вод (включно з описом шламів і рекомендаціями для переробки).

3. ЕРА — документи з оцінки впливу й поводження з відходами коксування (оцінка небезпек і рекомендації щодо утилізації).

4. ORSANCO / галузеві технічні матеріали — практичні кейси з мінімізації фенольних відходів і оптимізації охолодження/збірки твердої фракції.

5. ДСТУ 2195-99 «Технічний паспорт відходу» — нормативний документ щодо паспортизації відходів в Україні (форма/заповнення).

6. Огляди і статті про використання відходів у будівництві та піроліз (рецензії 2018–2023 рр.).

Тема 21: Утилізація відходів виробництва магнію

1. Мета та завдання лекції

2.

Мета: Ознайомити здобувачів із джерелами утворення, складом та властивостями відходів магнієвого виробництва, методами їх знешкодження та утилізації, а також можливостями повторного використання вторинних матеріальних ресурсів.

Завдання:

- визначити основні види твердих, рідких і газоподібних відходів при виробництві магнію;
- розглянути сучасні технології утилізації та переробки шламів, пилу, шлаків і солей;
- проаналізувати екологічні наслідки неутилізованих відходів;
- ознайомити з напрямками комплексного використання вторинної сировини.

2. Короткі теоретичні відомості

2.1. Характеристика магнієвого виробництва

Магній отримують різними методами:

- **електролізом розплавлених солей (MgCl_2 , MgF_2);**
- **термічним (доломітово-кремнієвим) способом**, що базується на відновленні оксиду магнію кремнієм або феросиліцієм при високих температурах.

Процес супроводжується утворенням великої кількості твердих відходів, які є небезпечними для довкілля через високу лужність, наявність важких металів і хлоридів.

2.2. Основні види відходів магнієвого виробництва

1. **Шлаки відновлення (доломітово-кремнієві)** — суміш оксидів кальцію, магнію, кремнію, заліза, алюмінію.
2. **Соляні шлаки електролізу** — містять MgCl_2 , KCl , NaCl , CaCl_2 , MgO , Mg(OH)_2 .
3. **Пил магнієвих печей** — суміш MgO , CaO , Fe_2O_3 , SiO_2 , а також леткі сполуки.
4. **Відходи травлення і промивання** — містять кислоти, луги, солі важких металів.
5. **Відпрацьовані флюси і вогнетриви** — містять фториди, оксиди, частково металевий магній.

2.3. Екологічні проблеми відходів магнієвого виробництва

- **Лужність шлаків** ($\text{pH} > 10$) призводить до забруднення ґрунтів і водою.
- **Хлориди та фториди** підвищують мінералізацію вод, погіршуючи якість питної води.
- **Пил магнію** є вибухонебезпечним при контакті з повітрям.
- **Наявність важких металів** у шламах спричиняє токсичний вплив на біоценози.

2.4. Методи утилізації твердих відходів

1. **Використання шлаків як вторинної сировини:**
 - у виробництві будівельних матеріалів (цемент, бетон, заповнювачі);
 - у дорожньому будівництві як підсипка;
 - як флюс у металургії.
2. **Вилучення магнію з шлаків і солей:**
 - гідрохімічне вилуговування з наступною електролітичною регенерацією магнію;
 - термічне відновлення залишкового MgO .
3. **Переробка соляних шлаків:**
 - розділення солей KCl , NaCl , MgCl_2 методом розчинення та кристалізації;
 - повторне використання хлоридів у технологічному циклі.

4. Утилізація пилу:

- уловлювання за допомогою рукавних фільтрів і циклонів;
- повернення до сировинної шихти після грануляції.

5. Використання відходів як добавок у виробництві вогнетривів.

2.5. Методи знешкодження небезпечних компонентів

- **Нейтралізація лужних відходів** слабкими кислотами або природними мінералами (гіпс, крейда).
- **Стабілізація важких металів** цементацією або термічною обробкою.
- **Знешкодження хлоридів** через випарювання або іонний обмін.

2.6. Комплексна переробка

На сучасних підприємствах упроваджуються **системи безвідходного виробництва**, де шлаки, пил і солі розглядаються як **вторинні матеріальні ресурси**. Наприклад:

- шлаки — у виробництві будівельних сумішей;
- пил — як добавка у вогнетривку цеглу;
- розчини — для рекуперації солей $MgCl_2$.

3. Економічна та екологічна ефективність

Комплексна утилізація відходів дозволяє:

- знизити обсяги захоронення на 70–90%;
- скоротити споживання природної сировини;
- зменшити негативний вплив на навколишнє середовище;
- отримати додаткові доходи від реалізації вторинних матеріалів.

4. Висновки

1. Відходи магнієвого виробництва містять цінні компоненти (Mg, Ca, Si, Cl, F), які доцільно вилучати та повторно використовувати.
2. Найбільш перспективними є технології комплексної переробки шлаків і солей з отриманням будівельних матеріалів.
3. Зменшення утворення та безпечна утилізація відходів є важливою складовою сталого розвитку хімічної промисловості.

5. Рекомендована література

1. Гончарук В. В. Екологічні технології у промисловості. — Київ: Либідь, 2019.
2. Клюс П. І. Технології утилізації промислових відходів. — Харків: НТУ «ХП», 2021.
3. Металургія магнію: довідник технолога. — М.: Металургія, 2018.
4. Коваль С. А. Екологічна безпека промислових підприємств. — Дніпро: НМетАУ, 2020.

6. Контрольні питання

1. Які основні види твердих відходів утворюються у виробництві магнезії?
2. Чому шлаки магнезійного виробництва є екологічно небезпечними?
3. Які методи утилізації соляних шлаків застосовуються?
4. Які продукти можна отримати при переробці шлаків?
5. У чому полягає перевага замкненого циклу водообороту на підприємствах магнезійної промисловості?

Тема 22: Утилізація відходів алюмінієвого виробництва

1. Мета та завдання лекції

Мета:

Надати студентам знання про види, властивості та небезпеку відходів алюмінієвого виробництва, розглянути сучасні технології їх утилізації та переробки з метою мінімізації негативного впливу на довкілля.

Завдання:

- охарактеризувати джерела утворення твердих, рідких і газоподібних відходів у виробництві алюмінію;
- розглянути фізико-хімічні властивості червоного шламу, пилу, фторидів, відпрацьованих вуглецевих матеріалів;
- вивчити технології утилізації червоного шламу, фтористих сполук, відходів електролізу;
- проаналізувати екологічні ризики та економічну доцільність повторного використання відходів.

2. Короткі теоретичні відомості

2.1. Загальна характеристика алюмінієвого виробництва

Алюміній отримують переважно з бокситів за допомогою Баєрського процесу (одержання гідроксиду алюмінію з наступним прожарюванням до Al_2O_3) і електролізу розплавленого глинозему у криоліті.

На кожен тону виробленого алюмінію припадає близько 2–2,5 тону відходів, більшість із яких — червоний шлам, вуглецевий пил, фторвмісні сполуки та електролітні залишки.

2.2. Основні види відходів алюмінієвого виробництва

1. **Червоний шлам** — залишок після вилуговування бокситів у процесі одержання глинозему.

Склад: Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 , Na_2O , CaO .

Властивості: сильнолужний (pH 10–13), токсичний, пилоподібний.

2. **Фторвмісні відходи електролізу:**

- газоподібні фториди (HF , CF_4 , C_2F_6);
- тверді — фториди натрію та алюмінію.

3. **Відпрацьовані аноди та катоди** — містять вуглець, фториди, ціаніди, оксиди металів.

4. **Пил і шлаки** — утворюються при обробці алюмінію, переплавленні та литті.

2.3. Екологічні проблеми

- забруднення поверхневих і підземних вод лужними стоками;
- розпилення червоного шламу, що викликає ураження дихальних шляхів;
- накопичення відходів у шламонакопичувачах (ризик прориву дамб);
- викиди фторидів — токсичні для рослин і тварин;
- утворення важкорозкладних органофторидів.

3. Методи утилізації відходів алюмінієвого виробництва

3.1. Утилізація червоного шламу

1. Виробництво будівельних матеріалів:

- цементні клінкери, цегла, черепиця, легкі заповнювачі;
- виробництво залізорудних концентратів (вилучення Fe_2O_3).

2. Отримання корисних компонентів:

- вилучення TiO_2 , Ga, Sc, V;
- осадження $\text{Al}(\text{OH})_3$ і повторне використання у виробництві.

3. Нейтралізація та рекультивація:

- додавання гіпсу або кислот для зниження pH;
- використання у складі ґрунтових сумішей для рекультивації кар'єрів.

3.2. Утилізація фторидних відходів

- Абсорбція HF у вапнякових розчинах із утворенням CaF_2 (фториту);
- Регенерація кріоліту (Na_3AlF_6) із фторидних розчинів;
- Фторвмісний пил може бути повернений до електролізних ванн після очищення.

3.3. Переробка вуглецевих відходів

- Піроліз анодних залишків із відділенням летких компонентів;
- Використання вуглецевого пилу як паливо або наповнювач у будівельних матеріалах;
- Регрануляція і повернення до виробництва нових анодів.

3.4. Використання шлаків та пилу

- у виробництві абразивних матеріалів;
- як добавки до цементів;
- як сировина для отримання алюмінатів та феритів.

4. Сучасні екологічні технології

- Мембранні процеси для очищення лужних стоків;
- Плазмова плавка червоного шламу з отриманням мінерального шлаку та металевго концентрату;

- **Біотехнології** для біорозкладання органічних сполук у шламових відстійниках;
- **Замкнені водооборотні системи** та повторне використання промивних вод.

5. Економічна та екологічна ефективність

- Переробка 1 т червоного шламу дозволяє отримати до 0,3 т будівельних матеріалів.
- Зменшення викидів фторидів у повітря — до 90%.
- Зниження ризику прориву шламосховищ і рекультивація земель.

6. Висновки

1. Відходи алюмінієвого виробництва є екологічно небезпечними, але містять значну кількість цінних компонентів.
2. Основним напрямом утилізації є використання червоного шламу у будівельній індустрії та вилучення кольорових металів.
3. Комплексна утилізація дозволяє знизити шкідливий вплив на довкілля та підвищити ресурсоефективність виробництва.

7. Рекомендована література

1. Гончарук В. В. **Екологічні технології промислових виробництв.** — Київ: Либідь, 2019.
2. Ключ П. І. **Переробка та утилізація промислових відходів.** — Харків: НТУ «ХПІ», 2021.
3. Шаповал В. П. **Відходи кольорової металургії: технології знешкодження та переробки.** — Дніпро: НМетАУ, 2020.
4. ISO 14001:2015 — Environmental management systems — Requirements with guidance for use.
5. Wang S., Zhu Z. H. **Characterization and utilization of red mud.** *Environmental Science & Technology*, 2019.

8. Контрольні питання

1. Які основні види відходів утворюються при виробництві алюмінію?
2. Що таке червоний шлам і чому він небезпечний?
3. Як можна використовувати червоний шлам у будівельній індустрії?
4. Які способи утилізації фторвмісних сполук застосовуються?
5. Які заходи дозволяють зменшити обсяги відходів електролізу?

Тема 23: Утилізація відходів при переробці свинцю та цинку

1. Вступ

Металургійна промисловість, особливо свинцева та цинкова, є джерелом значних обсягів твердих, рідких і газоподібних відходів, що містять токсичні сполуки важких металів (Pb, Zn, Cd, As, Sb). Їх утилізація є важливою складовою екологічної безпеки та раціонального використання ресурсів.

2. Основні джерела відходів свинцевого та цинкового виробництва

1. Відходи свинцевого виробництва:

- шлаки агломерації та плавлення;
- пил аспіраційних систем;
- шлами газоочистки;
- використані акумулятори.

2. Відходи цинкового виробництва:

- шлаки після випалу цинкових концентратів;
- пил електрофільтрів;
- феритні відходи після очищення розчинів;
- гіпсові осади з процесів очищення стічних вод.

3. Склад і характеристики відходів

- **Свинцеві шлаки:** містять PbO, FeO, SiO₂, CaO, а також домішки Zn, Cu, As, Sb.
- **Цинкові шлаки:** складаються з ZnO, Fe₂O₃, SiO₂, Al₂O₃, а також домішок Cd і Pb.
- **Шлами газоочистки:** містять до 30–40% Pb і Zn у вигляді оксидів і сульфатів.

Ці відходи належать до небезпечних і потребують спеціальних методів знешкодження або залучення до вторинного виробництва.

4. Методи утилізації відходів

4.1. Пірометалургійні методи

- **Відновлення вуглецем або CO:** переробка свинцевих та цинкових шлаків у відновних печах.
- **Електротермічна переробка:** вилучення Pb і Zn у вигляді металів чи сплавів.
- **Випалювання пилів:** для отримання оксидів, що повертаються в основне виробництво.

4.2. Гідрометалургійні методи

- **Сірчаноокислотне вилуговування:** розчинення Zn, Pb та Cd із пилів та шлаків.
- **Осадження металів сірководнем або залізом.**

- **Іонообмінні та сорбційні процеси:** очищення розчинів від важких металів.

4.3. Комбіновані схеми

Застосовують послідовність операцій:
вилуговування → очищення розчину → електроліз або осадження → переробка залишку.

4.4. Використання відходів як вторинної сировини

- Шлаки після вилучення металів — у виробництві цементу, бетону, дорожніх покриттів.
- Гіпсові осади — у виробництві будівельного гіпсу.
- Залізовмісні залишки — у доменному або агломераційному виробництві.

5. Екологічні аспекти

- Зниження викидів свинцю, цинку, кадмію в атмосферу;
- Очищення стічних вод від розчинних солей важких металів;
- Безпечне складування відходів після вилучення токсичних компонентів;
- Перехід на замкнені цикли водообігу.

6. Приклади сучасних технологій

- **Waelz-процес** — відновлення цинкових шлаків у обертових печах;
- **Ausmelt** — багатофункціональна плавильна технологія для Pb, Zn, Cu;
- **HydroZinc** — гідрометалургійна переробка цинковмісних пилів.

7. Висновки

- Відходи свинцевого та цинкового виробництв є цінною вторинною сировиною.
- Найефективнішими є комбіновані пірометалургійно-гідрометалургійні методи.
- Утилізація таких відходів забезпечує економію ресурсів і зниження екологічного навантаження.

8. Рекомендована література

1. Боярко Г.Ю. *Технології переробки промислових відходів*. — К.: Ліра, 2020.
2. Тарасов В.І. *Екологічні аспекти кольорової металургії*. — Дніпро: НМетАУ, 2018.
3. Коробов М.В. *Металургія свинцю та цинку*. — К.: Техніка, 2019.
4. Кулик М.І., Пономаренко А.М. *Утилізація та переробка відходів промисловості*. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2021.
5. Європейська комісія. *Best Available Techniques (BAT) for Non-Ferrous Metals Industries*, 2017.

Тема 24: Утилізація відходів при переробці мідно-нікелевої сировини

1. Вступ

Переробка мідно-нікелевих руд є складним металургійним процесом, що супроводжується утворенням великої кількості твердих, рідких і газоподібних відходів. Основними токсичними компонентами є сполуки міді (Cu), нікелю (Ni), кобальту (Co), сірки (S), а також арсену (As) і селену (Se). Рациональна утилізація цих відходів сприяє зменшенню екологічного навантаження та поверненню цінних металів у виробництво.

2. Основні джерела утворення відходів

1. **Шлаки плавки та конвертування** — містять FeO, SiO₂, Cu, Ni, Co.
2. **Пил та шлами газоочистки** — містять дрібнодисперсні частинки Cu, Ni, Co, Zn, Pb, As.
3. **Відвали рудозбагачення (хвости флотації)** — містять залишкові метали, сульфідні, реагенти флотації.
4. **Стічні води** — містять іони важких металів, сірчані та хлоридні сполуки.

3. Характеристика твердих відходів

- **Мідно-нікелеві шлаки:** мають склоподібну структуру, містять 0,3–2,5% Cu, 0,1–0,6% Ni, до 40% FeO.
- **Флотаційні хвости:** містять до 0,05% Cu і Ni, сірчані сполуки, кремнезем.
- **Пил газоочистки:** висококонцентровані метали (до 20% Cu, 5% Ni) — перспективна вторинна сировина.

4. Екологічна небезпека відходів

- Висока токсичність важких металів (Cu, Ni, Co, As);
- Забруднення поверхневих і ґрунтових вод;
- Окиснення сульфідів із утворенням кислоти (кислотний дренаж);
- Пиління шлакових відвалів і вторинне забруднення атмосфери.

5. Методи утилізації відходів

5.1. Пірометалургійні методи

- **Повернення шлаків у плавильні агрегати (рециркуляція):** часткове вилучення Cu, Ni, Co.
- **Випалювання пилів** для одержання оксидів металів.
- **Електротермічна переробка** концентрованих шламів.

5.2. Гідрометалургійні методи

- **Кислотне вилуговування (H₂SO₄, HCl):** вилучення Cu, Ni, Co зі шламів та пилів.
- **Аммонійне вилуговування:** селективне розчинення нікелю і кобальту.

- **Іонний обмін, екстракція, сорбція:** очищення розчинів і повернення металів.

5.3. Біотехнологічні методи

- Використання бактерій *Thiobacillus ferrooxidans* для окиснення сульфідів та вилуговування металів.

- Ефективно застосовується для переробки хвостів флотації.

5.4. Використання шлаків у будівництві

- Виробництво цементу, мінеральної вати, дорожніх матеріалів.
- Умовою використання є стабілізація важких металів (склоподібна форма або цементация).

6. Комбіновані технології утилізації

- **Пірометалургійно-гідрометалургійна схема:** плавлення пилів → вилуговування → осадження металів.

- **Плазмохімічна переробка:** концентрування Cu і Ni у металічній фазі, шлак — безпечний.

- **Комплексна переробка флотаційних хвостів:** біовилуговування → цементация → повторне використання.

7. Екологічна оцінка технологій

Метод	Екологічна ефективність	Економічна доцільність	Побічні продукти
Пірометалургійний	Середня	Висока	Шлак, пил
Гідрометалургійний	Висока	Середня	Стічні розчини
Біотехнологічний	Дуже висока	Помірна	Біомаса, шлам

8. Приклади промислових технологій

- **Норильський комбінат (РФ):** повернення мідно-нікелевих пилів у плавку.

- **“Outokumpu” (Фінляндія):** гідрометалургійне вилуговування шлаків.

- **“Vale Inco” (Канада):** біотехнологічне вилуговування хвостів флотації.

9. Висновки

1. Відходи мідно-нікелевого виробництва містять цінні метали, що доцільно вилучати.

2. Комбіновані пірометалургійно-гідрометалургійні схеми забезпечують високу ефективність утилізації.

3. Біотехнологічні методи — екологічно безпечна альтернатива традиційним процесам.

4. Використання шлаків у будівництві знижує обсяги відвалів і екологічне навантаження.

10. Рекомендована література

1. Боярко Г.Ю. *Технології переробки промислових відходів*. — К.: Ліра, 2020.
2. Тарасов В.І. *Екологічні технології кольорової металургії*. — Дніпро: НМетАУ, 2019.
3. Смирнов В.В. *Металургія міді та нікелю*. — К.: Техніка, 2021.
4. Кулик М.І. *Утилізація промислових відходів: технології та екологічна оцінка*. — Львів: ЛНУ, 2020.
5. European Commission. *Best Available Techniques (BAT) for Non-Ferrous Metals Industries*, 2017.

Тема 25: Переробка та утилізація залізовмісних шламів газоочисних споруд

1. Вступ

Залізовмісні шлами газоочисних споруд утворюються в процесах очищення газів металургійних підприємств (доменного, мартенівського, конвертерного та агломераційного виробництва). Вони є одним із найбільш масових відходів чорної металургії та потребують раціональної переробки, оскільки містять значну кількість заліза у вигляді оксидів, карбонатів та гідроксидів. Утилізація цих відходів є важливим елементом **ресурсозбереження та екологічної безпеки**.

2. Джерела утворення залізовмісних шламів

1. **Газоочисні споруди доменних печей** — шлами, що містять Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , вуглець, CaO , SiO_2 .
2. **Конвертерні газоочистки** — пил і шлам, насичений залізом, вапном, фосфором.
3. **Мартенівські печі** — шлами з підвищеним вмістом FeO , Fe_2O_3 , MnO .
4. **Агломераційні фабрики** — пил та осад з Fe , Zn , Pb , Ca .

3. Хімічний склад і властивості залізовмісних шламів

Компонент	Вміст, %	Примітка
Fe (загальний)	30–65	у вигляді оксидів Fe_2O_3 , Fe_3O_4
C	5–15	у вигляді пилу коксу
SiO_2	5–20	неметалеві домішки
CaO	3–15	флюси
Zn, Pb	0,1–1,0	шкідливі домішки
Волога	30–60	визначає технологічні особливості переробки

Шлами є дрібнодисперсними (0,1–50 мкм), мають підвищену вологість і схильність до злежування, що ускладнює їх транспортування та зберігання.

4. Екологічні проблеми зберігання залізовмісних шламів

- Забруднення ґрунтів та підземних вод при фільтрації стоків з шламонакопичувачів;
- Утворення пилу при висиханні відкритих відвалів;
- Втрата великої кількості заліза, що може бути використане повторно;
- Необхідність великих площ для складування.

5. Методи переробки залізовмісних шламів

5.1. Агломерація

- Використання шламів у шихті агломераційного виробництва.
- Попереднє зневоднення, змішування з аглошихтою, сушіння, грануляція.
- Перевага: повне повернення заліза у металургійний цикл.
- Недолік: обмеження через вміст Zn і Pb.

5.2. Брикетування та окомкування

- Формування зневоднених шламів у брикети з добавкою в'язучих (цемент, бітум, вапно).
- Використання як домішок до доменної або електропічної шихти.
- Ефект: зниження пиління, зручність транспортування, повернення металу у виробництво.

5.3. Пірометалургійна переробка

- Відновлення заліза вуглецем у відновних печах:
$$[\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}]$$
- Отримання металізованого продукту (DRI) з вмістом Fe до 85–90%.
- Може комбінуватися з виробництвом чавуну або феросплавів.

5.4. Гідрометалургійна обробка

- Вилуговування шкідливих домішок (Zn, Pb) кислотами.
- Після очищення шлам використовується як залізорудна добавка.

5.5. Використання в будівельній галузі

- Виробництво цементу, цегли, шлакопортландцементу, дорожніх сумішей.
- Залізовмісні шлами — активна мінеральна добавка після термообробки.

6. Сучасні технологічні рішення

1. **Технологія “Pelletizing–DRI”:** грануляція → сушіння → відновлення в обортовій печі.
2. **Комбінована схема:** гідрометалургійне очищення → брикетування → металургійна переробка.
3. **Плазмова переробка шламів:** концентрування Fe, видалення Zn та Pb у летку фазу.

7. Екологічні та економічні переваги утилізації

- Повернення до 90% заліза у виробництво;
- Зменшення площі відвалів і ризику пилового забруднення;
- Зниження витрат на рудну сировину;
- Можливість комплексного вилучення цінних компонентів (Zn, Pb, Mn).

8. Висновки

1. Залізовмісні шлами газоочистки — цінна вторинна сировина, придатна для повторного використання.
2. Найефективнішими є технології брикетування та пірометалургійного відновлення.
3. Для екологічної безпеки необхідне попереднє очищення шламів від шкідливих домішок.
4. Комплексна утилізація сприяє переходу металургії на безвідходні технології.

9. Рекомендована література

1. Боярко Г.Ю. *Технології переробки промислових відходів*. — К.: Ліра, 2020.
2. Паньків В.М. *Екологічні основи металургійного виробництва*. — Львів: ЛНУ, 2019.
3. Тарасов В.І. *Технології утилізації металургійних шламів*. — Дніпро: НМетАУ, 2021.
4. Коробов М.В. *Безвідходні процеси чорної металургії*. — К.: Техніка, 2018.
5. European Commission. *Best Available Techniques (BAT) for Iron and Steel Production*, 2017.

Тема 26: Переробка брухту чорних металів

1. Вступ

Брухт чорних металів — це цінна вторинна сировина, яка утворюється при виготовленні, експлуатації, ремонті та демонтажі металевих конструкцій і виробів. Його переробка є важливим напрямом ресурсозбереження, оскільки дозволяє зменшити споживання природних рудних ресурсів, скоротити енергетичні витрати та знизити негативний вплив металургії на довкілля.

Використання металобрухту як сировини для виробництва сталі сприяє формуванню замкнених матеріальних циклів та розвитку циркулярної економіки.

2. Класифікація брухту чорних металів

Брухт поділяється за кількома ознаками:

2.1. За походженням:

- **Виробничий (технологічний)** — утворюється в процесі прокатного, машинобудівного та зварювального виробництва;
- **Споживчий (зношений)** — від демонтажу конструкцій, транспортних засобів, побутових приладів тощо.

2.2. За хімічним складом:

- Брухт вуглецевої сталі;
- Брухт легованих сталей (містить Cr, Ni, Mo, Mn);
- Брухт чавуну.

2.3. За розміром і якістю:

- Великогабаритний, дрібний, змішаний;
- Забруднений/чистий, із покриттями або без них.

3. Значення переробки брухту чорних металів

- Зниження потреби у видобутку залізної руди;
- Економія електроенергії (до 60–70% порівняно з виробництвом сталі з руди);
- Скорочення викидів CO₂ на 1,5–2 т на кожен тону сталі;
- Зменшення кількості відходів на полігонах;
- Повернення цінних легуючих елементів у виробництво.

4. Технологічна схема переробки брухту

Основні етапи:

1. Збір і транспортування брухту;
2. Сорткування та класифікація;
3. Очищення від забруднень (олій, фарб, пластику, неметалів);
4. Розрізання, подрібнення, пресування;
5. Переплавлення у сталеплавильних агрегатах;
6. Рафінування та легування металу;
7. Виливання у заготовки.

5. Методи підготовки брухту до плавки

5.1. Механічна підготовка

- Розрізання газополум'яним або плазмовим різанням;
- Подрібнення у шредерах;
- Пресування у пакети для зменшення об'єму.

5.2. Магнітна сепарація

Видалення неметалевих та кольорових домішок.

5.3. Термічне очищення

Спалювання органічних домішок, фарб, масел у термічних печах.

5.4. Хімічне очищення

Використання кислот або лужних розчинів для видалення окалини та забруднень.

6. Технології переплавлення брухту

6.1. Електродугові печі (ЕДП)

- Основна технологія виплавки сталі з брухту;
- Температура — до 1800 °C;
- Використовується електроенергія, кисень, флюси.

Переваги: високий рівень автоматизації, екологічність, можливість регулювання складу сталі.

6.2. Індукційні печі

- Для невеликих обсягів або легованих сталей;
- Менше викидів пилу і газів;
- Висока якість металу.

6.3. Киснево-конвертерний процес

- Часткове використання брухту (до 25–30%) разом із рудною сировиною.
- Дає змогу зменшити вуглецевий слід виробництва сталі.

7. Екологічні аспекти переробки брухту

- Зменшення кількості відходів чорної металургії;
- Економія енергоресурсів і зниження парникових викидів;
- Зменшення забруднення вод та ґрунтів від шламів і шлаків;
- Зниження потреби у шламонакопичувачах та хвостосховищах;
- Підвищення рівня **екологічної безпеки металургійних підприємств**.

8. Сучасні інноваційні підходи

1. Автоматизоване сортування брухту з використанням спектрометрів.
2. Плазмові установки для термічного очищення.
3. Безокисні технології плавки (EAF+ARC).
4. Використання штучного інтелекту для оптимізації складу шихти.
5. Комплексні системи утилізації пилу і шлаків, що утворюються при плавці.

9. Економічна ефективність

- Збільшення частки вторинної сировини на 1% дозволяє заощадити до 2% енергії;
- Переробка 1 т брухту замість руди економить до 1,5 т CO₂, 1,4 т залізної руди і 740 кг вугілля;
- Висока рентабельність завдяки зниженню витрат на видобуток і транспортування руди.

10. Висновки

1. Переробка брухту чорних металів — ключовий елемент сталого розвитку металургії.
2. Використання сучасних методів сортування, очищення і плавки сприяє зниженню енергоспоживання.
3. Розвиток технологій переробки брухту є важливим напрямом екологізації виробництва.
4. Повторне використання металів — основа циркулярної економіки.

11. Рекомендована література

1. Паньків В.М. *Екологічні технології металургійного виробництва*. — Львів: ЛНУ, 2021.
2. Боярко Г.Ю. *Технології переробки промислових відходів*. — Київ: Ліра, 2020.
3. Тарасов В.І. *Ресурсозберігаючі процеси в чорній металургії*. — Дніпро: НМетАУ, 2019.
4. Коробов М.В. *Безвідходні технології в металургії*. — К.: Техніка, 2018.
5. World Steel Association. *Sustainable Steel: Indicators 2023*.
6. European Commission. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production*, 2017.

Тема 27: Переробка брухту кольорових металів

1. Вступ

Кольорові метали (мідь, алюміній, цинк, свинець, нікель тощо) мають високу економічну цінність і широке застосування у промисловості. Їхня первинна металургія супроводжується значними енергетичними витратами та екологічними ризиками. Переробка брухту кольорових металів є **ресурсозберігаючою та екологічно доцільною технологією**, що дозволяє:

- зменшити споживання природної сировини;
- скоротити викиди парникових газів;
- знизити навантаження на довкілля;
- забезпечити повторне використання цінних елементів.

2. Класифікація брухту кольорових металів

2.1. За видом металу:

- **Алюмінієвий брухт** — профілі, фольга, банки, проводи;
- **Мідний брухт** — кабелі, труби, електродеталі;
- **Цинковий брухт** — покриття, сплави, гальванічні відходи;
- **Свинцевий брухт** — акумулятори, труби, кабельна оболонка;
- **Нікелевий та кобальтовий брухт** — деталі хімічного обладнання, турбіни, каталізатори.

2.2. За ступенем чистоти:

- **Первинний (чистий)** — без домішок інших металів;
- **Змішаний** — сплави або брухт із покриттям;
- **Забруднений** — із фарбою, пластиком, мастилом тощо.

2.3. За походженням:

- **Виробничий (технологічний)** — стружка, обрізки, дефектні деталі;
- **Споживчий (зношений)** — від побутової та електронної техніки, транспорту.

3. Економічне та екологічне значення

- Переробка 1 т алюмінієвого брухту економить до **95% енергії** порівняно з виробництвом алюмінію з руди.
- Вторинна мідь забезпечує до **35% світового виробництва** міді.
- Утилізація кольорових металів зменшує потребу у видобутку руд і скорочує кількість відходів збагачення.
- Переробка брухту дозволяє зменшити **викиди CO₂, SO₂ та пилу** в атмосферу.

4. Загальні етапи переробки брухту кольорових металів

1. Збір і транспортування;
2. Сорткування за видом металу та складом;
3. Механічне очищення від домішок;
4. Подрібнення та пресування;
5. Плавка і рафінування;
6. Отримання сплавів або чистих металів.

5. Методи очищення і підготовки брухту

- **Механічні:** подрібнення, магнітна та електростатична сепарація;
- **Хімічні:** розчинення покриттів у кислотах або лугах;
- **Термічні:** спалювання фарб, полімерів, масел;
- **Електролітичні:** для отримання високочистих металів (Cu, Ni).

6. Технології переплавлення

6.1. Алюмінієвий брухт

- Переплавлення у **ревербераторних або індукційних печах**;
- Очищення розплаву від неметалевих домішок соляними флюсами;
- Виробництво вторинних алюмінієвих сплавів.

6.2. Мідний брухт

- Переплавлення у **електропечах або конвертерах**;
- Електролітичне рафінування для одержання міді 99,99% чистоти;
- Використання шлаків у цементній промисловості.

6.3. Свинцевий брухт

- Переробка акумуляторів методом **пірометалургійного плавлення**;
- Вилучення свинцю з пасти та ґрат;
- Рафінування від сурми, миш'яку, олова.

6.4. Цинковий та нікелевий брухт

- Цинкові відходи — Waelz-процес або дистиляційна переробка;
- Нікель — гідрометалургійне вилуговування з подальшим осадженням металу.

7. Екологічні аспекти переробки

- Зниження токсичного навантаження на ґрунти та водойми;
- Зменшення викидів важких металів при видобутку руд;
- Утилізація супутніх відходів — шлаків, пилів, шламів;
- Організація **замкнених водооборотних систем** у плавильних цехах.

8. Приклади сучасних технологій

- **HydroCopper™** — гідрометалургійна технологія переробки мідного брухту;
- **Eco-Bat** — безсвинцева переробка акумуляторів;
- **ALUREC (Hydro Aluminium)** — високоефективне плавлення алюмінію з мінімальними втратами;
- **Waelz Kiln Technology** — відновлення цинку з шлаків і пилів.

9. Висновки

1. Переробка брухту кольорових металів є одним із ключових напрямів **циркулярної економіки**.
2. Вторинна металургія дозволяє зменшити споживання енергії та природних ресурсів.
3. Впровадження сучасних екологічно безпечних технологій підвищує рівень **екологічної ефективності металургії**.
4. Розвиток системи збору та сортування брухту є необхідною умовою сталого розвитку промисловості.

Рекомендована література

1. Боярко Г.Ю. *Технології переробки промислових відходів*. — К.: Ліра, 2020.
2. Тарасов В.І. *Екологічні аспекти кольорової металургії*. — Дніпро: НМетАУ, 2019.
3. Паньків В.М. *Ресурсозбереження у металургії та машинобудуванні*. — Львів: ЛНУ, 2021.
4. Кулик М.І. *Металургія кольорових металів*. — К.: Техніка, 2018.
5. European Commission. *Best Available Techniques (BAT) for Non-Ferrous Metals Industries*, 2017.