

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра екології

С. С. Душкін

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять і самостійної роботи

з навчальної дисципліни
«ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ»

для здобувачів напряму підготовки
101 «Екологія»

Харків ХНАДУ 2025

УДК 504.05:628.4:620.9

ББК

Методичні вказівки до практичних занять і самостійної роботи : з дисципліни «Технології захисту довкілля» / уклад. Станіслав Сергійович Душкін ; Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків : ХНАДУ, 2025. – 36 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно вимог освітньо-наукової програми «Екологічна безпека» третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю 101 Екологія під навчальне аудиторне навантаження 16 годин (8 практичних занять).

Зміст лекцій відповідає робочій програмі навчальної дисципліни ОК 2.4 «Технології захисту довкілля» 2024 р.

Мова навчання – державна

Душкін С.С., 2025

ХНАДУ, 2025

ЗМІСТ

<i>Вступ</i>	4
<i>T.1 Наукові та технологічні основи захисту довкілля</i>	
ПР 1. Аналіз технологічних процесів підприємства на відповідність екологічним стандартам.....	6
ПР 2. Розрахунок показників екологічної ефективності технологічних процесів (викиди, енергоспоживання, утилізація відходів).....	9
Самостійна робота за темою 1.....	12
<i>T.2 Стратегічні напрямки технологій захисту довкілля</i>	
ПР 3. Моделювання впровадження технологій очищення в системах промислових підприємств.....	14
ПР 4. Аналіз кейсів впровадження «зелених» технологій в Україні та ЄС.....	17
Самостійна робота за темою 2.....	19
<i>T.3 Наукові основи створення енергозберігаючих технологій</i>	
ПР 5. Розрахунок енергетичної ефективності технологічних процесів.....	21
ПР 6. Розроблення схеми енергозбереження для конкретного підприємства.....	24
Самостійна робота за темою 3.....	27
<i>T.4 Основні принципи організації маловідходного виробництва</i>	
ПР 7. Розроблення технологічної схеми маловідходного виробництва для вибраної галузі.....	29
ПР 8. Екологічно-економічне обґрунтування проекту рециклінгу.....	32
Самостійна робота за темою 4.....	35

ВСТУП

Сучасний стан довкілля характеризується зростанням антропогенного навантаження, виснаженням природних ресурсів, погіршенням якості повітря, води, ґрунтів і збільшенням кількості відходів промислового та побутового походження. Ці тенденції вимагають від науковців і практиків розроблення інноваційних підходів до управління природоохоронними процесами, упровадження екологічно безпечних технологій і формування системи сталого розвитку на всіх рівнях виробництва.

Дисципліна «Технології захисту довкілля» має на меті формування у здобувачів третього рівня вищої освіти (докторів філософії) глибоких знань про наукові основи, методи та інструменти екотехнологічного захисту природного середовища, а також розвиток здатності до наукових досліджень у сфері підвищення екологічної ефективності промислових і енергетичних процесів.

Особливість навчальної дисципліни полягає у поєднанні науково-теоретичної підготовки з аналізом практичних технологічних рішень, що застосовуються у промисловості, енергетиці, транспорті, аграрному секторі. Значна увага приділяється оцінюванню екологічних параметрів технологічних процесів, використанню альтернативних джерел енергії, енергозбереженню, утилізації та рециклінгу відходів.

Курс структуровано за чотирма основними тематичними блоками:

Тема 1. Наукові та технологічні основи захисту довкілля.

Розглядаються принципи екологічної безпеки, закономірності формування техногенного навантаження, методи оцінки ефективності природоохоронних технологій, сучасні тенденції екологічного моніторингу.

Тема 2. Стратегічні напрямки технологій захисту довкілля.

Висвітлюються інноваційні напрями розвитку екотехнологій, системи очищення викидів і стічних вод, біотехнологічні та цифрові рішення у сфері охорони довкілля, а також впровадження принципів «зеленої» економіки та циркулярного виробництва.

Тема 3. Наукові основи створення енергозберігаючих технологій.

Розглядаються теоретичні основи енергозбереження, методи зменшення вуглецевого сліду, використання альтернативних джерел енергії (біогаз, e-fuels, вторинні ресурси), а також енергоефективність промислових технологій.

Тема 4. Основні принципи організації маловідходного виробництва.

Висвітлюються підходи до проектування екологічно безпечних і замкнених технологічних циклів, методи мінімізації та перероблення відходів, екологічно-економічне обґрунтування маловідходних виробництв.

Вивчення дисципліни забезпечує здобувачам здатність:

- критично аналізувати сучасні технології захисту довкілля та їх екологічну ефективність;
- розробляти та оптимізувати власні технологічні рішення з урахуванням вимог сталого розвитку;

- виконувати наукові дослідження, спрямовані на вдосконалення систем захисту довкілля, енергозбереження та управління відходами.

Таким чином, курс «Технології захисту довкілля» формує цілісне уявлення про наукові, методологічні та прикладні засади створення і впровадження сучасних технологій, спрямованих на збереження природного середовища та гармонізацію взаємодії суспільства з природою.

ТЕМА 1 НАУКОВІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1.

Аналіз технологічних процесів підприємства на відповідність екологічним стандартам

Мета заняття: сформувати у здобувачів вищої освіти практичні навички аналізу екологічної безпеки технологічних процесів, ознайомити з методами оцінювання впливу виробничої діяльності на довкілля та критеріями відповідності екологічним стандартам (ISO 14001, Директиви ЄС, національне законодавство України); розвинути здатність системно оцінювати екологічні ризики та пропонувати інженерно-технологічні рішення для їх зменшення.

План заняття

1. Принципи екологічної стандартизації
2. Система ISO 14001:2015, структура екологічного менеджменту
3. Директива ЄС 2010/75/EU «Про промислові викиди» та її адаптація в Україні
4. Основні показники екологічної ефективності технологічних процесів

Нормативно-правова база екологічного управління

В Україні та Європейському Союзі існує розгалужена система екологічного законодавства й стандартів, що регламентують вимоги до промислової діяльності, управління відходами, викидами та впровадження систем екологічного менеджменту.

Для аналізу технологічних процесів підприємств важливо орієнтуватися у таких документах:

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» – базовий нормативно-правовий акт, який визначає основні принципи державної політики у сфері охорони природи, раціонального використання природних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки.

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>

2. Закон України «Про управління відходами» (2023) – документ, гармонізований із законодавством ЄС, який регламентує поводження з промисловими, побутовими та небезпечними відходами, запроваджує принципи циркулярної економіки.

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>

3. Міжнародний стандарт ISO 14001:2015 «Environmental Management Systems – Requirements with Guidance for Use» – визначає структуру, елементи та принципи системи екологічного менеджменту (EMS), що застосовується на підприємствах у всьому світі для підвищення екологічної ефективності.

<https://www.iso.org/standards/popular/iso-14000-family>

4. Директива ЄС 2010/75/EU «Про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення – IPPC)» – ключовий європейський

нормативний акт, який встановлює вимоги до інтегрованого управління викидами, скидами, утворенням відходів і застосування найкращих доступних технологій (BAT).

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0075>

5. BREF-довідники (Best Available Techniques Reference Documents) – офіційні документи Європейської комісії, що містять опис найкращих доступних технологій (BAT) для різних галузей промисловості (металургія, енергетика, хімічне виробництво тощо).

<https://bureau-industrial-transformation.jrc.ec.europa.eu/reference>

6. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України – національний орган, який координує реалізацію екологічної політики, впровадження екостандартів і гармонізацію законодавства з директивами ЄС.

<https://mepr.gov.ua/>

7. Європейська агенція з навколишнього середовища (EEA) – надає щорічні звіти, аналітичні огляди, бази даних та карти екологічного стану європейського простору.

<https://www.eea.europa.eu/>

Ключові показники екологічної ефективності

Напрямок впливу	Основні параметри контролю	Одиниці виміру	Приклади нормативів
Атмосферне повітря	Викиди NO _x , SO ₂ , CO ₂ , пилу	мг/м ³	Директива 2010/75/EU
Водні ресурси	Концентрація БСК, ХСК, нафтопродуктів	мг/дм ³	ГДС (ДСТУ 4172:2003)
Відходи	Кількість, клас небезпеки, частка утилізації	т/рік, %	ISO 14024, нац. класифікація
Енергоспоживання	Питома витрата енергії на одиницю продукції	кВт·год/т	EN 16258, ISO 50001

Завдання для практичної роботи

1. Обрати підприємство або виробничу ділянку;
2. Сформулювати коротку характеристику об'єкту;

Наприклад: Асфальтобетонний завод – установка для змішування мінеральних матеріалів і бітуму при температурі 160–180 °С. Основні джерела забруднення – пил, оксиди азоту, леткі органічні сполуки.

3. Скласти таблицю, у якій зазначити всі можливі види впливу;

№	Сфера впливу	Джерело забруднення	Основні речовини	Характер впливу
1	Атмосфера	Димові гази сушильного барабана	Пил, NO _x , SO ₂	Хімічне забруднення повітря
2	Водні ресурси	Мийка техніки, опади з території	Нафтопродукти, завислі речовини	Забруднення стічних вод
3	Ґрунти	Тимчасові склади сировини	Пил, бітум	Місцеве забруднення ґрунтів
4	Енергоресурси	Використання природного газу	CO ₂	Вуглецеві викиди

4. Збір нормативної документації: допустимі норми для відповідного типу підприємства, вимоги щодо моніторингу та контролю, приклади ВАТ-рішень (Best Available Techniques);

5. Порівняти реальні або умовні показники з нормативами, зробити висновок;

Показник	Фактичне значення	Гранично допустиме значення	Джерело нормативу	Висновок
Пил, мг/м ³	110	50	Директива 2010/75/EU	Порушення
NO _x , мг/м ³	180	200	BREF (Large Combustion Plants)	Відповідає
Витрати води, м ³ /т	0,9	0,7	ISO 14046	Надмірне
Частка утилізації відходів, %	45	70	ISO 14024	Недостатньо

6. Зробити розрахунок інтегрального екологічного ризику;

Використати просту модель оцінки ризику:

$$R = P \times C,$$

де R – рівень екологічного ризику, P – імовірність виникнення події (0–1), C – наслідки (умовна шкала: 1–5).

Джерело	P	C	R = P×C	Клас ризику
Пиловиділення	0,8	4	3,2	Високий
Викиди NO _x	0,5	2	1,0	Середній
Стічні води	0,3	3	0,9	Середній
Відходи	0,2	2	0,4	Низький

Висновок: домінуючий фактор ризику – пиловиділення, необхідне встановлення фільтраційної системи.

7. Сформулювати рекомендації щодо технічних, організаційних та управлінських рішень;

8. Прозвітувати про виконання.

Контрольні питання

1. Які основні принципи екологічної стандартизації і як вони впливають на проектування технологічних процесів?

Назвіть ключові вимоги стандарту ISO 14001:2015 щодо екологічного менеджменту.

2. Що таке директива ЄС 2010/75/EU і які її основні цілі для промислових викидів?

3. Які основні показники екологічної ефективності технологічних процесів і в яких одиницях їх вимірюють?

4. Які джерела нормативної інформації потрібно зібрати при аналізі конкретного підприємства?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 2.

Розрахунок показників екологічної ефективності технологічних процесів (викиди, енергоспоживання, утилізація відходів)

Мета заняття: набути практичних навичок розрахунку ключових показників екологічної ефективності технологічних процесів: обсягів викидів (CO_2 , NO_x , SO_2 , пил), енергоспоживання на одиницю продукції та коефіцієнтів/часток утилізації відходів. Навчитися використовувати нормативні коефіцієнти викидів (emission factors), інтерпретувати результати й формулювати інженерні рекомендації для підвищення екологічної ефективності.

План заняття

1. Методи і підходи до розрахунку викидів і енергоспоживання
2. Нормативні джерела коефіцієнтів викидів і енергоінфо – ISO, IPCC, ЕЕА, національні довідники
3. Приклади розрахунків (пальнові викиди, енергоінтенсивність, коефіцієнт утилізації)
4. Інтерпретація показників і їх використання в екологічному менеджменті

Короткі теоретичні відомості та джерела (з активними посиланнями)

1. Методи і підходи

Розрахунок прямих викидів від спалювання палива (масовий підхід):

$$E_{\text{CO}_2} = Q \times C \times O \times \frac{44}{12}$$

де E_{CO_2} - маса CO_2 (т),

Q - кількість палива (т або m^3),

C - масова доля вуглецю у паливі (т С / т палива),

O - коефіцієнт окиснення (частка вуглецю, що окиснена до CO_2).

Метод з використанням коефіцієнтів викидів (Emission Factors):

$$E = Q \times EF$$

де EF - коефіцієнт викидів (кг / одиниця палива або кг / одиниця продукції).

Розрахунок питомого енергоспоживання:

$$EI = \frac{E_{\text{ен}}}{Q_{\text{пр}}} \text{ (кВт-год/т або МДж/одиниця продукції).}$$

Коефіцієнт утилізації відходів:

$$U = \frac{M_{\text{утил}}}{M_{\text{заг}}} \times 100\%$$

2. Довідникова інформація

1. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories — методологія та EF для палива.

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>

<https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>

2. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – коефіцієнти для NO_x, SO₂, PM.

<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023/emep-eea-guidebook-2023>

https://efdb.apps.eea.europa.eu/?source=%7B%22track_total_hits%22%3Atrue%2C%22query%22%3A%7B%22match_all%22%3A%7B%7D%7D%2C%22display_type%22%3A%22tabular%22%7D

3. Європейська директива і BREF (BAT) документи (для технологій).

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0075>

<https://bureau-industrial-transformation.jrc.ec.europa.eu/reference>

4. ISO / EN/ національні стандарти з енергоменеджменту і енергетичної інвентаризації: ISO 50001, EN 16258.

<https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html>

5. Національні довідники/нормативи України (ГДВ/ГДС) – сайти Верховної Ради і Міністерства.

<https://zakon.rada.gov.ua/>

<https://mepr.gov.ua>

Приклади формул і короткі пояснення (для виконання розрахунків)

1. Викиди CO₂ від спалювання рідкого палива (на прикладі дизеля)

Використаємо EF (з IPCC або нац. джерела): наприклад EF_{CO₂} = 2,68 кг CO₂/л дизеля. Якщо спалили 10 000 л:

$$E_{CO_2} = 10\,000 \text{ л} \times 2,68 \frac{\text{кг CO}_2}{\text{л}} = 26\,800 \text{ кг} = 26,8 \text{ т CO}_2.$$

2. Викиди SO₂ від опалення вугіллям (за вмістом S)

$$E_{SO_2} = Q \times S \times \frac{64}{32} \text{ (перевід S} \rightarrow \text{SO}_2\text{)}.$$

Якщо Q = 100 т вугілля, S = 0.01 (1 %):

$$E_{SO_2} = 100 \times 0,01 \times 2 = 2 \text{ т SO}_2.$$

3. Питома витрата енергії (енергоінтенсивність)

Якщо енергоспоживання заводу E_{ен} = 2 000 000 кВт·год/рік і виробництво Q_{пр} = 5 000 т продукції:

$$EI = 2\,000\,000 : 5\,000 = 400 \text{ кВт ргод/т.}$$

4. Коефіцієнт утилізації відходів

Якщо утворено загалом 1 000 т відходів, а утилізовано 420 т:

Завдання до практичного заняття

1. Вибір об'єкта та збір вихідних даних

Обрати той же об'єкт, що й у ПР1, або інший (теплоелектростанція, цех, ТЕЦ, асфальтобетонний завод тощо).

Зібрати дані (фактичні або умовні): обсяги спожитого палива (літри/т), електроенергії (кВт·год), кількість продукції (т), маса відходів (т), частка утилізації (т).

Приклад даних (умовні):

Дизель спалено: 10 000 л/рік;

Прямі електровитрати: 200 000 кВт·год/рік;

Вироблено продукції: 1 200 т/рік;

Відходів утворено: 150 т/рік; утилізовано – 60 т/рік.

2. Визначення коефіцієнтів викидів

Знайти EF для обраних показників у IPCC/EMEP або національних джерел.

Приклад: $EF_{CO_2, \text{дизель}} = 2,68 \text{ кг } CO_2/\text{л}$; $EF_{NO_x, \text{дизель}} = 0,07 \text{ г/kWh}$

3. Розрахунок прямих викидів

Виконати розрахунки:

3.1 $E_{CO_2} = Q \times E_{FCO_2}$ (перевести в т).

3.2 Розрахувати інші викиди (NO_x , SO_2 , РМ) аналогічно.

3.3 Розрахувати питомі викиди на одиницю продукції:

$$E_{CO_2, \text{питм}} = \frac{E_{CO_2}}{Q_{\text{пр}}} \text{ (т } CO_2/\text{т продукц.)}$$

Окремо розрахувати емісію, що пов'язана з електроенергією (Score 2), використавши коефіцієнт викидів електромережі (т CO_2 /MWh) для конкретної країни/регіону.

Приклад розрахунку (умовні числа):

- CO_2 від дизеля: $10\,000 \text{ л} \times 2,68 \text{ кг/л} = 26,800 \text{ кг} = 26,8 \text{ т}$

- Питома викидів: $26,8/1,200 = 0,0223 \text{ т } CO_2/\text{т} = 22,3 \text{ кг } CO_2/\text{т}$

4. Розрахунок енергоефективності

Розрахувати питома енергоспоживання $EI = E_{\text{ен}}/Q_{\text{пр}}$

Порівняти з галузевими нормативами або кращими практиками (ВАТ) – знайти у BREF чи у ISO/EN джерелах.

5. Розрахунок показників поводження з відходами

Коефіцієнт утилізації: $U = M_{\text{утил}}/M_{\text{заг}} \times 100\%$

Частка захоронення, частка енергетичного використання (waste-to-energy) – при наявності даних.

Оцінити потенціал покращення (наприклад, підвищити утилізацію з 40% до 70% – обчислити зниження захоронення й можливе збільшення вторинної сировини).

6. Інтерпретація, висновки та пропозиції

Порівняти отримані показники з нормативами (ГДВ, ВАТ, галузеві референтні значення).

Визначити «вузькі місця»: що дає найбільший внесок у викиди / енерговитрати / відходи.

Сформулювати рекомендації (технічних, організаційних, інвестиційних) з очікуваним ефектом (наприклад, заміна котла, рекуперація тепла → економія X кВт·год/рік → зниження CO_2 на Y т/рік).

Самостійна робота за темою 1

Мета самостійної роботи поглибити знання здобувачів вищої освіти про міжнародну та національну нормативно-правову базу у сфері охорони довкілля, ознайомитися з сучасними підходами до екологічного моніторингу технологічних процесів, а також осмислити історичну еволюцію природоохоронних технологій; розвинути навички самостійного аналітичного пошуку, роботи з нормативними документами, науковими джерелами та узагальнення матеріалів у вигляді короткого есе.

Завдання для виконання

1. Опрацювати чинні нормативно-правові акти України та ЄС у сфері охорони довкілля (закони, директиви, стандарти ISO).
2. Провести огляд наукових джерел, присвячених сучасним методам екологічного моніторингу промислових процесів.
3. Підготувати коротке есе (2–3 сторінки) на тему: «Еволюція природоохоронних технологій у XX–XXI ст.: від фільтра до циркулярної економіки».

Рекомендований порядок (алгоритм) виконання

Етап 1. Вивчення нормативно-правових актів (4 години)

Мета – сформулювати розуміння ключових міжнародних і національних документів, які визначають політику охорони довкілля та технологічні вимоги до промисловості.

Основні документи для опрацювання:

- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»
- Закон України «Про управління відходами»
- Директива ЄС 2010/75/EU «Про промислові викиди»
- Директива 2008/98/EC «Про відходи» (Waste Framework Directive)
- група стандартів ISO 14000, зокрема: ISO 14001:2015 – системи екологічного менеджменту, ISO 14004:2016 – керівні принципи щодо впровадження, ISO 14031:2013 — оцінювання екологічної ефективності.

Поради:

Під час опрацювання звертайте увагу на ключові поняття: запобігання забрудненню, сталий розвиток, інтегроване управління, найкращі доступні технології (BAT).

Коротко випишіть 5–7 базових принципів екологічної політики, спільних для України та ЄС.

Етап 2. Огляд наукових джерел з екологічного моніторингу (4 години)

Мета – ознайомитись із сучасними методами оцінювання екологічного стану технологічних процесів.

Рекомендовані напрями пошуку:

- моніторинг викидів в атмосферу (сенсорні системи, дрони, дистанційне зондування);

- моніторинг водних скидів (IoT, автоматичні пробовідбірники);
- моніторинг відходів і поводження з ними;
- цифрові платформи екологічних даних (GIS, AI-аналітика).

Форма представлення: скласти коротку таблицю або текстовий огляд (1 стор.) з характеристикою не менше трьох сучасних методів моніторингу, зазначивши їх переваги, недоліки та сферу застосування.

Етап 3. Підготовка есе (7 годин)

Мета – показати розуміння історичної еволюції природоохоронних технологій у світі та в Україні.

Рекомендована структура есе:

Вступ – актуальність питання, глобальні екологічні виклики XX–XXI ст.

Основна частина – три історичні етапи:

- 1) 1950–1980-ті рр. – формування “очисних” технологій (фільтри, нейтралізація).
- 2) 1990–2010-ті рр. – розвиток концепції Cleaner Production, енергозбереження, ISO 14000.
- 3) 2010–2025 рр. – перехід до циркулярної економіки, цифрових екотехнологій, декарбонізації.

Висновки – роль науки і технологій у формуванні екологічної безпеки майбутнього.

Порада:

Використовуйте приклади реальних технологій або підприємств (очищення стічних вод, утилізація CO₂, вторинна сировина, зелена енергетика).

Очікувані результати

- розуміти систему нормативних документів і стандартів у сфері охорони довкілля;
- знати сучасні методи екологічного моніторингу промислових процесів;
- уміти узагальнювати історичну інформацію та аргументовано висловлювати власну думку щодо розвитку екотехнологій.

Контрольні питання

1. Назвіть 5–7 базових принципів екологічної політики, спільних для України та ЄС.
2. Які основні документи слід вивчити при ознайомленні з нормативною базою?
3. Поясніть різницю між запобіганням забрудненню та лікувальними заходами.
4. Назвіть три сучасні методи моніторингу викидів в атмосферу.
5. У короткій формі опишіть етапи підготовки есе «Еволюція природоохоронних технологій».
6. Які показники використовуються для оцінювання екологічної ефективності за ISO 14031?
7. Які принципи Cleaner Production і як вони відрізняються від BAT?

ТЕМА 2. СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМКИ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3.

Моделювання впровадження технологій очищення в системах промислових підприємств.

Мета заняття: набути практичних навичок побудови та аналізу моделей систем очищення викидів і стічних вод промислових підприємств. Навчитися використовувати розрахункові підходи для оцінки екологічної, енергетичної та економічної ефективності впровадження природоохоронних технологій; розвинути здатність застосовувати результати моделювання для обґрунтування рішень щодо екологічної модернізації виробництва.

План заняття

1. Принципи моделювання технологічних систем очищення.
2. Типи моделей: аналітичні, імітаційні, енергетико-екологічні.
3. Основні показники ефективності систем очищення.
4. Приклад побудови спрощеної моделі технології очищення.
5. Інтерпретація результатів і обґрунтування екологічного ефекту.

Короткі теоретичні відомості та джерела (з активними посиланнями)

1. Сутність моделювання природоохоронних технологій

Моделювання є ключовим етапом при розробці екологічних систем промислових підприємств. Воно дозволяє прогнозувати вплив технологічних змін на довкілля, визначати оптимальні параметри процесів очищення та оцінювати ефективність інвестицій у природоохоронне обладнання.

Типові етапи екологічного моделювання:

- визначення об'єкта – джерел викидів або стічних вод;
- вибір технології очищення (механічна, біологічна, хімічна, термічна);
- побудова матеріально-енергетичного балансу;
- розрахунок показників ефективності;
- аналіз варіантів і вибір оптимального рішення.

2. Типи моделей

Аналітичні – використовують формули балансу речовини, енергії, масообміну (наприклад, для абсорбційних або фільтраційних процесів).

Імітаційні – цифрові або табличні моделі, які дозволяють відтворювати роботу технологічної системи за допомогою програм (Excel, MATLAB, Python, OpenLCA).

Енергетико-екологічні – враховують споживання енергії, витрати на реагенти, обсяг зменшення викидів і формують інтегральний індекс ефективності.

3. Основні показники оцінки ефективності

Ступінь очищення:

$$\eta = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

де C_{in} — концентрація забруднювача на вході, C_{out} — на виході.

Питоме енергоспоживання:

$$E_i = \frac{E_{заг}}{Q_{оч}}$$

де $E_{заг}$ — загальні витрати енергії, $Q_{оч}$ — обсяг очищених газів або води.

Екологічна ефективність (інтегральний показник):

$$EI = \frac{R_{env}}{E + C}$$

де R_{env} — зниження обсягів викидів або відходів, E — енергетичні витрати, C — економічні витрати на впровадження.

Довідникова інформація та нормативна база

BREF – Best Available Techniques Reference Documents

<https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference>

Директива ЄС 2010/75/EU «Про промислові викиди (ІРРС)»

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0075>

ISO 14001:2015 – Environmental Management Systems

<https://www.iso.org/iso-14001-environmental-management.html>

European Environment Agency (EEA) – база даних про викиди та технології очищення <https://www.eea.europa.eu>

UNEP Cleaner Production Toolkit

Завдання до практичної роботи

1. Обрати промисловий об'єкт або ділянку (наприклад: ТЕЦ, металургійний комбінат, цементний завод, харчове виробництво). Коротко описати технологічний процес і основні джерела забруднення.

2. Скласти структурну схему системи очищення. Визначити елементи: вхідний потік (забруднення), блок очищення (обладнання), вихідний потік (очищене середовище), побічні продукти (осад, шлам, газ).

3. Розрахувати показники ефективності

Використати формули для визначення ступеня очищення, питомого енергоспоживання та індексу ефективності.

Приклад вихідних даних (умовних):

Параметр	Позначення	Значення	Одиниці
Вміст пилу до очищення	C_{in}	350	мг/м ³
Після фільтрації	C_{out}	40	мг/м ³
Витрати електроенергії	$E_{заг}$	5 000	кВт·год/добу
Обсяг очищеного повітря	$Q_{оч}$	250 000	м ³ /добу

Вартість експлуатації	С	3 000	грн/добу
-----------------------	---	-------	----------

Розрахунок

1. Ступінь очищення

$$\eta = \frac{350 - 40}{350} \times 100 = 88,6\%$$

2. Питоме енергоспоживання

$$E_i = \frac{5000}{250000} = 0,02 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$$

3. Індекс екологічної ефективності (умовно, при $R_{env}=310 \text{ мг} / \text{м}^3$)

$$EI = \frac{310}{5000 + 3000} = 0,03875$$

4. Порівняння варіантів

- провести розрахунок для двох альтернатив (наприклад, циклону та рукавного фільтра);
- зробити висновок, який варіант забезпечує найкраще співвідношення ефекту та витрат.

5. Візуалізація

Побудувати спрощену блок-схему або графічну модель (у PowerPoint, Word або від руки): джерело → система очищення → очищене повітря → осад.

6. Висновок

Підготувати короткий висновок (10–15 речень) із зазначенням:

- основних екологічних ефектів (зниження викидів, економія енергії);
- доцільності впровадження технології;
- можливостей для подальшої модернізації.

Приклад оформлення таблиці результатів

Показник	Варіант 1 (Циклон)	Варіант 2 (Рукавний фільтр)	Найкращий результат
Ступінь очищення, %	75	90	90
Питоме енергоспоживання, кВт·год/м ³	0,015	0,021	0,015
Вартість обслуговування, грн/доба	1 800	2 700	1 800
Індекс ефективності EI	0,031	0,038	0,038
Висновок: рукавний фільтр має вищу екологічну ефективність, хоча потребує більших енерговитрат.			

Контрольні питання

1. Які типи моделей використовуються при моделюванні систем очищення?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 4.

Аналіз кейсів впровадження «зелених» технологій в Україні та ЄС.

Мета заняття: закріпити знання щодо практичного впровадження екологічно орієнтованих технологій на підприємствах різних галузей економіки; навчитися проводити аналіз і порівняння прикладів («кейсів») реалізації «зелених» технологій, визначати їхні екологічні, енергетичні та економічні ефекти; розвинути здатність критично оцінювати доцільність адаптації міжнародного досвіду для українських умов.

План заняття

1. Основні принципи та критерії «зелених» технологій.
2. Аналіз кейсів з різних секторів економіки (енергетика, транспорт, виробництво, агропромисловість).
3. Оцінка екологічної, енергетичної та економічної ефективності впроваджених рішень.
4. Визначення можливостей інтеграції «зелених» технологій у національну екополітику.

Короткі теоретичні відомості

Поняття «зеленої технології» охоплює будь-яке технічне або організаційне рішення, яке мінімізує вплив виробництва на довкілля, зменшує споживання ресурсів і сприяє переходу до сталого розвитку.

До них належать:

- системи енергоефективності (когенераційні установки, рекуперація тепла);
- відновлювані джерела енергії (сонячні, вітрові, біогазові установки);
- технології очищення води, повітря, перероблення відходів;
- цифрові екосистеми управління енергоспоживанням;
- циркулярні виробництва (Zero Waste, Cradle-to-Cradle).

Критерії оцінки «зелених» технологій:

Екологічний ефект (E_e): скорочення викидів CO_2 , NO_x , пилу, зменшення кількості відходів.

Енергетичний ефект (E_{en}): зменшення питомого енергоспоживання на одиницю продукції.

Економічний ефект (E_{ec}): зниження витрат, підвищення конкурентоспроможності, короткий термін окупності.

Загальний індекс ефективності можна виразити у вигляді:

$$I_{eco} = \frac{E_e + E_{en}}{E_{ec}}$$

де I_{eco} – інтегральний показник сталого ефекту технології.

Джерела інформації для аналізу

Ellen MacArthur Foundation – Circular Economy Case Studies

<https://ellenmacarthurfoundation.org>

European Environment Agency (EEA) – «Green Transition Reports»
<https://www.eea.europa.eu/en/europe-environment-2025>

UNEP – Green Industry Platform <https://www.greenindustryplatform.org>

EcoBusiness Group (Україна) – кейси українських підприємств
<https://ecolog-ua.com/>

Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України –
 екологічні програми <https://mepr.gov.ua>

Завдання до практичної роботи

1. Обрати два кейси впровадження «зелених» технологій – один з України, інший із країн ЄС. Сфери для вибору:

- енергетика (сонячні, вітрові, когенераційні системи);
- промисловість (очищення викидів, замкнуті цикли виробництва);
- агропромисловість (біогаз, повторне використання стоків);
- транспорт (електромобільність, альтернативні палива).

2. Описати обрані приклади за структурою таблиці:

<i>Параметр</i>	<i>Кейс 1 (Україна)</i>	<i>Кейс 2 (ЄС)</i>
Назва підприємства / проєкту		
Сектор економіки		
Суть технологічного рішення		
Мета впровадження		
Джерело фінансування		
Рік реалізації		

3. Оцінити екологічну, енергетичну та економічну ефективність. Для цього використати показники:

- скорочення викидів (т CO₂/рік або %);
- економія енергії (кВт·год/рік або %);
- термін окупності (роки).

Наприклад

Показник	Україна	ЄС
Скорочення викидів CO ₂	3500 т/рік	5200 т/рік
Економія енергії 1	8%	22%
Термін окупності	5 років	4 роки

4. Розрахувати інтегральний показник сталого ефекту (Ieco) для обох кейсів.

5. Порівняти результати та зробити висновок:

- який кейс має вищу інтегральну ефективність;
- які чинники забезпечили успіх (державна підтримка, інноваційні технології, менеджмент).

6. Сформулювати рекомендації для адаптації успішних європейських рішень в Україні.

Самостійна робота за темою 2

Мета самостійної роботи розвинути у здобувачів здатність застосовувати сучасні міжнародні стандарти та нормативи для оцінки екологічної ефективності технологій очищення води й повітря; навчитися здійснювати критичний аналіз екотехнологій у контексті власного наукового дослідження; Сформувані практичні навички роботи з документами BREF (BAT Reference Documents), узагальнення прикладів передових екологічних технологій та представлення результатів у вигляді презентації й аналітичного есе.

Завдання для виконання

1. Опрацювати презентацію з прикладами екологічних технологій, дотичних до теми власного дисертаційного дослідження.
2. Вивчити стандарти ЄС щодо викидів, зокрема BREF-довідники та принципи застосування BAT (Best Available Techniques).
3. Підготувати коротке есе (2–3 сторінки) на тему: «Перспективні напрями розвитку технологій очищення води й повітря».

Рекомендований порядок (алгоритм) виконання

Етап 1. Опрацювання презентації з прикладами екотехнологій (4 години)

Мета: показати взаємозв'язок між власним напрямом дослідження і практичними рішеннями у сфері екотехнологій.

Обрати 3–5 прикладів технологій, які безпосередньо стосуються теми дисертації (енергетика, транспорт, водоочищення, утилізація відходів, біотехнології, замкнені цикли виробництва).

Для кожного прикладу коротко описати:

- мету впровадження технології;
- принцип дії;
- екологічний ефект (зменшення викидів, економія енергії, замкненість циклу);
- реальний приклад застосування (підприємство, країна, рік).

Етап 2. Вивчення стандартів ЄС щодо викидів і довідників BREF (4 години)

Мета: навчитися орієнтуватися у системі європейських екологічних стандартів, що визначають вимоги до промислових технологій.

Ознайомитись із базовими принципами BAT – Best Available Techniques:

- технології, що забезпечують мінімальний вплив на довкілля при економічній доцільності;
- використовуються для визначення нормативів викидів і проектування нових виробництв.

Вивчити структуру і приклади BREF-документів за галузями:

- Large Combustion Plants – енергетика;
- Waste Incineration – спалювання відходів;
- Food, Drink and Milk Industries – харчова промисловість;

- Surface Treatment of Metals – машинобудування.

Ознайомитись із методами оцінювання Emission Limit Values (ELV) і Energy Efficiency Indicators (EEI).

Етап 3. Підготовка есе «Перспективні напрями розвитку технологій очищення води й повітря» (7 годин)

Мета: проаналізувати тенденції розвитку екологічних технологій і представити власне бачення майбутніх напрямків їх вдосконалення.

Рекомендована структура есе:

Вступ – коротко про актуальність проблеми забруднення води та повітря у світі.

Огляд сучасного стану – приклади технологій, що використовуються нині (мембранні фільтри, біореактори, фотокаталітичні системи, скрубери, адсорбери).

Інноваційні рішення – нові підходи: наноматеріали, біотехнології, замкнені системи рециркуляції, цифрове управління процесами очищення.

Перспективи розвитку – поєднання біотехнологій і штучного інтелекту, енергоефективні методи, інтеграція очищення з утилізацією CO₂.

Висновки – основні тенденції, бар'єри впровадження, роль науки і політики ЄС у стимулюванні інновацій.

Порада:

Обов'язково навести приклади з міжнародної практики. Як приклад: Skytree (Нідерланди, DAC CO₂), Veolia (Франція, водоочищення), Siemens Water Technologies (Німеччина), Kurita (Японія).

Очікувані результати

- уміти знаходити та аналізувати довідники BREF/BAT за галузями;
- розуміти принципи формування нормативів викидів і критерії ефективності технологій;
- представити приклади сучасних екотехнологій у власній сфері досліджень;
- уміти узагальнити тенденції розвитку очищення води та повітря у вигляді короткого аналітичного есе.

Контрольні питання

1. Поясніть сутність принципу «Best Available Techniques» (BAT).
2. Які джерела інформації використовують для пошуку BAT для галузі?
3. Назвіть три приклади технологій, що підвищують енергоефективність на підприємстві.
4. Опишіть етапи підготовки презентації з прикладами екотехнологій.
5. Які метрики слід використовувати для оцінки еко-ефекту (відсоток, т CO₂, кВт·год)?
6. Як визначити, чи може технологія бути масштабована для українського підприємства?
7. Які дані потрібно зібрати для аналізу ефективності перероблення відходів у кейсі?

ТЕМА 3 НАУКОВІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПРАКТИЧНА РОБОТА 5.

Розрахунок енергетичної ефективності технологічних процесів

Мета заняття: опанувати методи оцінювання енергетичної ефективності технологічних процесів промислових підприємств; навчитися визначати питомі показники енергоспоживання, енергетичний баланс та коефіцієнт корисного використання енергії; Сформувати практичні навички аналізу втрат енергії та розроблення рекомендацій щодо підвищення енергоефективності.

План заняття

1. Основні поняття енергоефективності технологічних систем.
2. Види енергетичних витрат у промислових процесах.
3. Методи розрахунку енергетичних показників.
4. Побудова енергетичного балансу виробництва.
5. Аналіз резервів енергозбереження

Короткі теоретичні відомості

Енергетична ефективність – це здатність технологічної системи забезпечувати необхідний технологічний результат при мінімальному споживанні енергоресурсів.

Для кількісного оцінювання використовують енергетичний баланс, який показує співвідношення між отриманою, корисно використаною та втраченою енергією.

Основні показники енергетичної ефективності:

Коефіцієнт корисного використання енергії (ККЕ):

$$\eta = \frac{E_{\text{кор}}}{E_{\text{заг}}} \times 100\%$$

де $E_{\text{кор}}$ – корисно використана енергія,

$E_{\text{заг}}$ – загальні витрати енергії.

Питоме енергоспоживання:

$$E_{\text{пит}} = \frac{E_{\text{заг}}}{Q}$$

де Q – кількість продукції, одиниць роботи або маса сировини.

Показник енергоемності продукції:

$$E_{\text{ем}} = \frac{E_{\text{заг}}}{B}$$

де B – вартість або економічний еквівалент продукції (грн).

Потенціал енергозбереження:

$$P_{\text{ен}} = E_{\text{факт}} - E_{\text{опт}}$$

де $E_{\text{факт}}$ – фактичні витрати,

$E_{\text{опт}}$ – нормативні або оптимальні витрати енергії.

Джерела інформації (з активними посиланнями)

1. ISO 50001:2018 – Energy Management Systems
<https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html>
2. International Energy Agency (IEA) – Industrial Energy Efficiency
<https://www.iea.org/energy-system/energy-efficiency-and-demand/energy-efficiency>
3. UNIDO – Energy Management and System Optimization Manual
<https://www.unido.org>
4. European Commission – Energy Efficiency Directive (2012/27/EU)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0027>
5. EEA – Energy and Environment Reports
<https://www.eea.europa.eu/en>

Завдання до практичної роботи

1. Обрати технологічний процес підприємства (енергетичний, машинобудівний, харчовий, транспортний) та зібрати або задати вихідні дані для розрахунку енергоспоживання: потужність обладнання (кВт); час роботи (год); кількість виготовленої продукції або обробленої сировини; вид енергоносія (електроенергія, газ, пара тощо).
2. Побудувати спрощений енергетичний баланс системи.
3. Розрахувати основні показники енергоефективності (η , Епит, Рен).
4. Визначити резерви енергозбереження та сформулювати пропозиції щодо оптимізації процесу.

Приклад вихідних даних

Показник	Позначення	Значення	Одиниці
Потужність обладнання	P	75	кВт
Тривалість роботи	t	10	год
Обсяг продукції	Q	25	т
Нормативне енергоспоживання	$E_{\text{опт}}$	650	кВт·год/т

Розрахунок:

Фактичні витрати енергії: $E_{\text{факт}} = P \times t = 75 \times 10 = 750$ кВтс год

Питоме енергоспоживання: $E_{\text{пит}} = E_{\text{факт}}/Q = 750/25 = 30$ кВт год/т

Коефіцієнт ефективності:

$$\eta = \frac{E_{\text{опт}}}{E_{\text{факт}}} \times 100 = \frac{650}{750} \times 100 = 86,7\%$$

Потенціал енергозбереження: $P_{\text{ен}} = 750 - 650 = 100$ кВт год/т

Хід виконання роботи

Етап 1. Теоретичний – знайомитись із базовими поняттями енергетичного балансу та показниками ефективності.

Етап 2. Аналітичний – побудувати енергетичну схему технологічного процесу (вхідні енергоресурси – втрати – корисна енергія). Розрахувати основні показники ефективності за наведеними формулами.

Етап 3. Практичний:

Визначити вузли з найбільшими втратами енергії.

Запропонувати технічні заходи з енергозбереження (модернізація обладнання, теплоізоляція, рекуперація тепла, автоматизація керування).

Етап 4. Узагальнення – оформити таблицю розрахунків і короткий висновок щодо енергетичної ефективності процесу.

Приклад таблиці результатів

Показник	Формула	Розраховане значення	Одиниці
Фактичне енергоспоживання	$P \times t$	750	кВт·год
Питоме енергоспоживання	$E_{\text{факт}} / Q$	30	кВт·год/т
Коефіцієнт ефективності	$E_{\text{опт}} / E_{\text{факт}}$	0,867	-
Потенціал енергозбереження	$E_{\text{факт}} - E_{\text{опт}}$	100	кВт·год/т

Показник	Формула	Розраховане значення	Одиниці
Фактичне енергоспоживання	$P \times t$	750	кВт·год
Питоме енергоспоживання	$E_{\text{факт}} / Q$	30	кВт·год/т
Коефіцієнт ефективності	$E_{\text{опт}} / E_{\text{факт}}$	0,867	-
Потенціал енергозбереження	$E_{\text{факт}} - E_{\text{опт}}$	100	кВт·год/т

Висновок: технологічний процес має достатньо високий рівень ефективності ($\approx 87\%$), але існує потенціал зменшення енергоспоживання на 13%, що може бути досягнуто модернізацією електроприводу та застосуванням рекупераційної системи.

Контрольні питання

1. Дайте визначення енергетичної ефективності та поясніть її значення для промисловості.
2. Як побудувати спрощений енергетичний баланс системи (що включити)?
3. Як обчислити питоме енергоспоживання (формула та приклад одиниць)?
4. Що таке коефіцієнт корисного використання енергії (ККЕ) і як його розрахувати?
5. Як визначити потенціал енергозбереження $E_{\text{факт}} - E_{\text{опт}}$?
6. Які вузли підприємства найчастіше мають найбільші енергетичні втрати?
7. Назвіть 5 технічних заходів для зниження енергоспоживання і очікувані ефекти.
8. Як оцінити економічну доцільність заміни обладнання (показники для розрахунку)?
9. Які дані треба зібрати перед проведенням розрахунків?
10. Як оформити результати розрахунків у вигляді таблиці та висновків?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 6

Розроблення схеми енергозбереження для конкретного підприємства

Мета заняття: набути навичок розроблення системних заходів з енергозбереження для промислових підприємств різних галузей; навчитися будувати структурну схему енергетичних потоків, виявляти втрати енергії та пропонувати технічні рішення для їх мінімізації; закріпити вміння застосовувати принципи енергоаудиту та методи оптимізації енергоспоживання.

План заняття

1. Аналіз енергетичних потоків на підприємстві.
2. Виявлення вузлів із найбільшими втратами енергії.
3. Розроблення структури схеми енергозбереження.
4. Оцінка ефективності запропонованих заходів.
5. Формування рекомендацій щодо впровадження.

Короткі теоретичні відомості

Підприємства споживають енергію у вигляді електроенергії, тепла, палива, пари, води тощо.

Ефективність використання цих ресурсів залежить від технологічних процесів, стану обладнання, рівня автоматизації та управління енергопостачанням.

Розроблення схеми енергозбереження включає такі етапи:

1. Енергетичний аудит (energy audit): аналіз поточних витрат енергоресурсів і визначення основних споживачів.
2. Енергетичне картування (energy mapping): побудова схеми потоків енергії – від джерела до кінцевого споживача.
3. Ідентифікація втрат: пошук зон неефективності (теплові втрати, надлишкові витрати електроенергії, недовантажене обладнання).
4. Формування технічних рішень: впровадження когенерації, рекуперації тепла, модернізації освітлення, заміни двигунів, впровадження системи ISO 50001.
5. Оцінка ефекту: розрахунок очікуваної економії енергії та зменшення викидів CO₂.

Рекомендовані джерела

1. UNIDO Energy Management Handbook
<https://www.unido.org/publications>
2. European Commission – Energy Efficiency in Industry
<https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency>
3. ISO 50001:2018 Energy Management Systems
<https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html>

4. International Energy Agency – Industry Energy Data
<https://www.iea.org/data-and-statistics>

5. EcoBusiness Group (Україна) – Практики енергоефективності
<https://ecolog-ua.com/>

Завдання до практичної роботи

1. Обрати промислове підприємство (реальне або умовне) із зазначенням його галузі та типових технологічних процесів.

2. Зібрати (або змодельовати) дані про енергоспоживання за видами енергоносіїв:

- електроенергія, теплова енергія, газ, вода, паливо;
- річне споживання (у кВт·год, Гкал, м³ тощо);
- вартість ресурсів.

3. Побудувати структурну схему енергетичних потоків підприємства у вигляді спрощеної блок-схеми.

4. Визначити вузли з найбільшими втратами енергії (за аналізом питомого споживання).

5. Запропонувати 5–7 заходів з енергозбереження – технічних та організаційних.

6. Оцінити очікувану економію енергії та зменшення викидів CO₂.

7. Побудувати узагальнену схему енергозбереження підприємства, у якій показати взаємозв'язок джерел, споживачів і заходів оптимізації.

Приклад опису об'єкта

Підприємство: ТОВ «Метал-Пром»

Галузь: машинобудування

Основні енергоспоживачі: компресорна станція, зварювальні установки, система вентиляції, фарбувальна камера.

Середньорічне споживання електроенергії: 2,8 млн кВт·год.

Приклад таблиці аналізу енергоспоживання

Цех / процес	Споживання, тис. кВт·год/рік	Частка, %	Основні втрати
Компресорна станція	650	23,2	Витоки повітря, низька ефективність компресорів
Зварювальна дільниця	720	25,7	Перевантаження, старі трансформатори
Вентиляція	480	17,1	Надлишковий повітрообмін
Фарбувальна камера	350	12,5	Тепловтрати
Інше обладнання	600	21,5	Загальні технологічні втрати

Розрахунок очікуваної економії енергії

Заходи	Опис	Очікувана економія, %	Зменшення CO ₂ , т/рік
Встановлення частотних перетворювачів	Оптимізація роботи компресорів	12	95
Модернізація освітлення (LED)	Заміна ламп у цехах	8	45
Теплоізоляція трубопроводів	Зменшення втрат тепла	6	60
Встановлення рекуператора повітря	Використання теплого повітря на вентиляції	10	80
Впровадження системи енергомоніторингу	Автоматичний облік споживання	5	30

Загальна очікувана економія – **≈41%** електроенергії, зменшення викидів CO₂ – **310 т/рік**.

Контрольні запитання

1. Що включає етап енергетичного аудиту і які його цілі?
2. Як побудувати енергетичну карту (energy mapping) підприємства?
3. Які критерії використовувати при відборі заходів (витрати, ефект, термін окупності)?
4. Наведіть приклад заходу з очікуваною економією і способом її розрахунку.
5. Як оцінити вплив модернізації освітлення на загальне енергоспоживання?
6. Які показники використовуються для оцінки ефекту рекуперації тепла?
7. Як інтегрувати систему моніторингу енергії (EMS) у план енергозбереження?
8. Які ризики та обмеження враховувати при впровадженні заходів енергозбереження?
9. Які джерела даних використовувати для нормативного порівняння (IEA, ISO 50001)?
10. Як презентувати проєкт заходів керівництву – які ключові показники підкреслити?

Самостійна робота за темою 3

Мета самостійної роботи поглибити знання здобувачів щодо сучасних методів кількісного оцінювання викидів вуглецю, оволодіти підходами до аналізу енергоефективності промислових процесів, а також дослідити перспективні технології відновлюваної енергії, що використовуються в промисловості; розвинути навички науково-аналітичного мислення, порівняльного оцінювання технологій і підготовки коротких аналітичних звітів.

Завдання для виконання

1. Опрацювати методики оцінювання викидів CO₂ на основі міжнародних стандартів (IPCC, ISO, GHG Protocol).
2. Провести огляд інноваційних рішень у сфері енергоефективності в промислових галузях.
3. Підготувати міні-звіт (2–3 сторінки) на тему: «Порівняльний аналіз технологій відновлюваної енергії для промисловості».

Рекомендований порядок (алгоритм) виконання

Етап 1. Опрацювання методик оцінювання викидів CO₂ (2 години)

Мета: навчитися визначати кількість прямих і непрямих парникових викидів на підприємстві, користуючись міжнародно визнаними підходами.

Ключові поняття:

Score 1 – прямі викиди від спалювання палива;

Score 2 – непрямі викиди від споживання електроенергії;

Score 3 – інші опосередковані викиди (логістика, ланцюги постачання).

Завдання:

Обрати власну технологічну ділянку (з дисертаційної теми), виконати розрахунок Score 1 і Score 2 викидів для умовного року роботи.

Етап 2. Огляд інноваційних рішень у сфері енергоефективності (4 години)

Мета: зібрати інформацію про сучасні інженерні та організаційні рішення, спрямовані на підвищення ефективності використання енергоресурсів.

Рекомендовані напрямки для аналізу:

- рекуперація тепла у промислових установках;
- когенераційні системи (СНР);
- використання надлишкового тиску або теплоти процесів;
- енергоефективні електроприводи та системи управління;
- цифрові енергомоніторингові платформи (Smart EMS).

Корисні ресурси:

1. International Energy Agency (IEA) – <https://www.iea.org/>
2. UNIDO Industrial Energy Efficiency Program – <https://www.unido.org>

3. ISO 50001:2018 – системи енергоменеджменту.

<https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html>

Завдання:

Підготувати таблицю або короткий опис не менше трьох сучасних енергоефективних рішень, указавши:

<i>№</i>	<i>Технологія / рішення</i>	<i>Галузь застосування</i>	<i>Орієнтовний ефект</i>	<i>Джерело</i>
1				
2				
3				

Етап 3. Міні-звіт «Порівняльний аналіз технологій відновлюваної енергії для промисловості» (8 годин)

Мета: проаналізувати різні типи відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) з точки зору придатності до промислового застосування.

Рекомендована структура звіту:

Вступ – короткий опис потреби у декарбонізації промисловості.

Порівняння основних технологій:

- сонячна енергетика (PV, CSP) – приклади: BASF Solar Park, Climeworks PV integration.
- вітрова енергія – промислові комплекси з власними турбінами.
- біоенергетика – біогазові установки, використання біомаси.
- геотермальна та гібридна енергетика.

Критерії порівняння:

- енергетична ефективність (кВт·год/м² або тис. кВт·год/т сировини);
- інвестиційна вартість (€/кВт);
- термін окупності;
- зниження CO₂ (т/рік).

Висновки:

- визначити найдоцільнішу технологію для конкретної галузі (власна оцінка);
- аргументувати вибір екологічними й економічними показниками.

Очікувані результати

- знати міжнародні підходи до оцінювання викидів CO₂ (IPCC, ISO, GHG Protocol);
- уміти розраховувати Score 1 і Score 2 викиди для промислових процесів;
- орієнтуватися в сучасних енергоефективних технологіях і стандартах ISO 50001;
- уміти проводити порівняльний аналіз ВДЕ для промислових застосувань і формулювати обґрунтовані висновки.

Контрольні питання

1. Що таке Score 1, Score 2 і Score 3 викиди – наведіть приклади джерел для кожного.

2. Які переваги систем ISO 50001 для промислових підприємств?

ТЕМА 4. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ МАЛОВІДХОДНОГО ВИРОБНИЦТВА

ПРАКТИЧНА РОБОТА 7

Розроблення технологічної схеми маловідходного виробництва для вибраної галузі

Мета заняття: сформувати у здобувачів практичні навички проєктування маловідходних технологічних процесів на основі принципів циркулярної економіки; навчитися будувати технологічні схеми з мінімізацією втрат ресурсів, повторним використанням відходів та інтеграцією утилізаційних технологій у виробничий цикл.

План заняття

1. Основні принципи маловідходного виробництва.
2. Аналіз сировинних та енергетичних потоків у виробництві.
3. Розроблення структурної схеми замкнутого технологічного циклу.
4. Визначення можливостей утилізації побічних продуктів.
5. Оцінка екологічного ефекту від впровадження маловідходної схеми.

Короткі теоретичні відомості

Маловідходне виробництво – це організація технологічних процесів, за якої відходи не утворюються або утворюються у мінімальній кількості, а їхнє подальше використання забезпечується у межах замкнутого циклу. Його основу становлять принципи циркулярної економіки – збереження ресурсів, повторне використання, перероблення та енергетична утилізація.

Основні принципи:

1. Замкнутість циклу виробництва: відходи одного процесу стають сировиною для іншого.
2. Мінімізація первинних ресурсів: використання вторинної сировини, відновлюваних матеріалів.
3. Комплексна переробка сировини: максимальне вилучення корисних компонентів.
4. Інтеграція енергетичних процесів: рекуперація тепла, повторне використання енергії.
5. Використання екологічно безпечних технологій: уникнення токсичних реагентів, зниження небезпечних викидів.

Типові приклади маловідходного виробництва:

- замкнуті цикли водопостачання у хімічній і металургійній промисловості;
- повторне використання полімерних і скляних відходів у будівництві;
- перероблення біологічних залишків у біогазових установках;
- використання відпрацьованого тепла у системах опалення підприємства.

Джерела інформації (з активними посиланнями)

1. Ellen MacArthur Foundation – Circular Economy Case Studies
<https://ellenmacarthurfoundation.org>
2. European Environment Agency (EEA) – Waste and Circular Economy
<https://www.eea.europa.eu/themes/waste>
3. Directive 2008/98/EC on Waste (Waste Framework Directive)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0098>
4. UNEP — Global Waste Management Outlook
<https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook>
5. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України – Управління відходами <https://mepr.gov.ua>

Завдання до практичної роботи

1. Обрати галузь промисловості (металургія, машинобудування, хімічна, харчова, агропромислова тощо).
2. Описати базову технологічну схему підприємства (у спрощеному вигляді).
3. Визначити основні джерела утворення відходів та типи побічних продуктів (газоподібні, рідкі, тверді).
4. Провести аналіз матеріальних потоків: кількість і склад сировини, продукції, відходів, утилізованої частини.
5. Розробити маловідходну технологічну схему, передбачивши:
 - повторне використання сировини або води;
 - енергетичну утилізацію органічних залишків;
 - вторинне застосування матеріалів у суміжних процесах;
 - очищення викидів і повернення речовин у цикл виробництва.
- 6 Побудувати структурну схему у вигляді блок-схеми (вхідні ресурси → процеси → продукти → відходи → повторне використання).
7. Оцінити ефективність розробленої схеми за трьома показниками:
 - коефіцієнт використання сировини (K_c),
 - рівень утилізації відходів (U_b),
 - екологічний ефект (E_e).

Формули для розрахунків

1. Коефіцієнт використання сировини:

$$K_c = \frac{m_{\text{кор}}}{m_{\text{вх}}} \times 100\%$$

де $m_{\text{кор}}$ – маса використаної сировини, що пішла у продукцію,
 $m_{\text{вх}}$ – маса всієї сировини, поданої у процес.

2. Рівень утилізації відходів:

$$U_b = \frac{m_{\text{ут}}}{m_{\text{заг}}} \times 100\%$$

де $m_{\text{ут}}$ – кількість утилізованих відходів,
 $m_{\text{заг}}$ – загальний обсяг відходів.

3. Інтегральний екологічний ефект:

$$E_e = \frac{(K_c + U_v)}{2}$$

Приклад

Галузь: харчова промисловість (виробництво соків).

Вихідна сировина: 1000 кг фруктів.

Отримано готової продукції: 720 кг.

Утворено відходів: 280 кг, з них утилізовано 200 кг (переробка на корм/біогаз).

Розрахунок:

$$K_c = \frac{720}{1000} \times 100 = 72\%$$

$$U_v = \frac{200}{280} \times 100 = 71,4\%$$

$$E_e = \frac{72 + 71,4}{2} = 71,7\%$$

Висновок: схема маловідходного виробництва забезпечує повторне використання понад 70% матеріальних ресурсів і може бути оптимізована шляхом розширення утилізації решти органічних залишків.

Контрольні питання

1. Що таке маловідходне виробництво і які його ключові принципи?
2. Як побудувати структурну блок-схему замкнутого циклу виробництва?
3. Які типи відходів (газоподібні, рідкі, тверді) виникають у вибраній галузі?
4. Як розрахувати коефіцієнт використання сировини K_c (формула і приклад)?
5. Як обчислити рівень утилізації відходів U_v і інтерпретувати результат?
6. Які технології перероблення відходів можна інтегрувати у виробничий цикл?
7. Які етапи проектної роботи і які результати мають бути за 30 хв проектного етапу?
8. Як оцінити екологічний ефект E_e для розробленої схеми?
9. Які показники варто включити до технічного обґрунтування запропонованої схеми?
10. Які організаційні заходи потрібні для впровадження маловідходної схеми на підприємстві?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 8

Екологічно-економічне обґрунтування проекту рециклінгу

Мета заняття: сформувати навички екологічно-економічного аналізу проєктів у сфері перероблення (рециклінгу) відходів; навчитися розраховувати показники економічної ефективності, екологічного ефекту та терміну окупності рециклінгових технологій; розвинути здатність інтегрувати економічні й екологічні критерії для оцінки сталості промислових рішень.

План заняття

1. Поняття та види рециклінгу.
2. Основи екологічного та економічного аналізу проєктів.
3. Методи розрахунку ефективності рециклінгових технологій.
4. Визначення інтегрального екологічно-економічного показника.
5. Формування висновків та пропозицій щодо впровадження проєкту.

Короткі теоретичні відомості

Рециклінг – це процес повторного використання відходів як вторинних матеріальних або енергетичних ресурсів. Він є ключовим елементом циркулярної економіки, забезпечуючи зменшення навантаження на довкілля, збереження природних ресурсів і створення доданої вартості.

Рециклінгові технології поділяються на:

- матеріальний рециклінг – повторне використання матеріалів (металів, скла, полімерів, паперу);
- хімічний рециклінг – перетворення речовин на інші корисні продукти (піроліз, гідроліз, хімічне очищення);
- енергетичний рециклінг – утилізація відходів як джерела енергії (спалювання, біогаз, RDF-паливо).

Для оцінки проєктів рециклінгу враховують дві складові:

1. Економічну ефективність (E_e) – порівняння витрат і прибутків від реалізації технології.
2. Екологічну ефективність (E_k) – скорочення викидів, зменшення обсягів відходів, збереження ресурсів.

Інтегральна оцінка виконується за формулою:

$$I_{\text{реци}} = \alpha \cdot E_e + \beta \cdot E_k$$

де α, β – вагові коефіцієнти (0,5–0,7 залежно від пріоритету),

E_e – відносна економічна ефективність,

E_k – відносна екологічна ефективність.

Рекомендовані джерела

1. European Environment Agency (EEA) – Circular Economy and Recycling
<https://www.eea.europa.eu/themes/waste>

2. UNEP – Global Waste Management Outlook
<https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook>
3. Directive 2008/98/EC on Waste (Waste Framework Directive)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0098>
4. EcoBusiness Group (Україна) – Кейси реалізації проєктів рециклінгу
<https://ecolog-ua.com/>
5. Міністерство захисту довкілля України – Програми управління відходами <https://mepr.gov.ua>

Завдання до практичної роботи

1. Обрати **тип рециклінгового проєкту** (перероблення скла, металів, полімерів, текстилю, органічних відходів тощо).
2. Зібрати або змодельовати вихідні дані:
 - обсяг відходів (т/рік);
 - відсоток утилізації;
 - капітальні витрати (тис. грн);
 - річна економія або прибуток (тис. грн);
 - зменшення викидів CO₂ (т/рік).
3. Розрахувати:
 - економічний ефект (E_e):

$$E_e = \frac{\Pi}{B} \times 100\%$$

де Π – прибуток, B – витрати;

- екологічний ефект (E_k):

$$E_k = \frac{Z_v}{Z_{zag}} \times 100\%$$

де Z_v – обсяг скорочення викидів, Z_{zag} – початковий обсяг;

4. Побудувати екологічно-економічну діаграму: на осі X – економічний ефект, на осі Y – екологічний; позначити положення свого проєкту.

Підготувати коротке обґрунтування доцільності впровадження – 10–12 речень.

Приклад

- Проєкт: перероблення поліетиленових пляшок (PET) у гранули.
 Обсяг відходів – 1000 т/рік.
 Рівень утилізації – 80%.
 Капітальні витрати – 15 млн грн.
 Річний прибуток – 4 млн грн.
 Скорочення викидів CO₂ – 1200 т/рік (із 2000 т).

Розрахунок:

$$E_e = \frac{4}{15} \times 100 = 26,7\%$$

$$E_k = \frac{1200}{2000} \times 100 = 60\%$$

$$I_{\text{рец}} = 0,5 \times 26,7 + 0,5 \times 60 = 43,35$$

Висновок: проєкт має високу екологічну ефективність і прийнятну економічну доцільність. За умови державного співфінансування може бути реалізований у середньостроковій перспективі.

Контрольні питання

1. Що таке рециклінг і які його основні види?
2. У чому полягає екологічна ефективність рециклінгу?
3. Які показники використовуються для економічної оцінки проєктів?
4. Як розраховується інтегральний екологічно-економічний показник?
5. Які чинники впливають на рентабельність переробних підприємств?
6. Як проєкти рециклінгу сприяють зменшенню викидів CO₂?
7. Які приклади успішних рециклінгових проєктів реалізовано в Україні?
8. Які механізми державної підтримки та «зеленого» фінансування застосовуються у ЄС?
9. Що таке концепція Zero Waste Production і які її основні підходи?
10. Які бар'єри нормативного та технічного характеру можуть завадити впровадженню?

Самостійна робота за темою 4

Мета самостійної роботи Сформувати у здобувачів вищої освіти глибоке розуміння концепцій маловідходного виробництва та циркулярної економіки, навчити оцінювати сучасні підходи до управління промисловими відходами, виявляти можливості повторного використання ресурсів і розробляти власні аналітичні пропозиції щодо впровадження принципів Zero Waste Production.

Завдання для виконання

1. Провести аналіз сучасних систем поводження з відходами у промисловості (на прикладі обраної галузі або підприємства).
2. Виконати огляд практичних кейсів «Zero Waste Production» в Україні та світі.
3. Підготувати аналітичну записку (2–3 сторінки) на тему: «Маловідходні технології як складова сталого розвитку».

Рекомендований порядок (алгоритм) виконання

Етап 1. Аналіз сучасних систем поводження з відходами у промисловості (4 години)

Мета: зрозуміти структуру управління відходами у промислових процесах, визначити шляхи мінімізації, повторного використання та утилізації.

Ключові елементи системи поводження з відходами:

- інвентаризація потоків відходів;
- розподіл за класами небезпеки (I–V);
- логістика та тимчасове зберігання;
- методи утилізації, перероблення та рекуперації енергії;
- цифровий моніторинг і звітність (E-Reporting, LCA).

Завдання:

Обрати галузь (металургія, машинобудування, енергетика, харчова промисловість тощо) та зібрати дані про основні види відходів, їх кількість, способи утилізації.

Визначити частку повторного використання матеріалів або вторинної сировини та виявити «вузькі місця» у системі поводження з відходами.

Етап 2. Огляд практичних кейсів «Zero Waste Production» (4 години)

Мета: дослідити реальні приклади впровадження принципів Zero Waste у промисловості, визначити фактори успіху й бар'єри.

Суть підходу Zero Waste – виробничі процеси проектуються так, щоб усі ресурси використовувались повторно, а кількість відходів, що підлягають захороненню або знищенню, прагнула до нуля. Це передбачає інтеграцію технологій waste-to-resource, closed-loop systems, eco-design та industrial symbiosis.

Приклади світових кейсів: Interface Inc. (США) – виробництво килимових покриттів з 100% переробленої сировини, Toyota Motor Corporation

– політика Zero Waste у виробничих процесах; повторне використання промислових масел і пластикових компонентів, Unilever (ЄС) – повна утилізація виробничих відходів на 240 фабриках, ArcelorMittal Europe – використання шлаків у цементній промисловості. Nestle (Швейцарія) – повторне використання води та тепла у виробничих циклах.

Рекомендовані джерела для огляду:

1. Ellen MacArthur Foundation (Circular Economy Case Studies)
<https://ellenmacarthurfoundation.org>

2. OECD – Zero Waste Initiatives
<https://www.oecd.org/environment/waste>

3. UNIDO – Industrial Waste Management Projects
<https://www.unido.org>

EcoBusiness Group Ukraine – національні кейси з повторного використання відходів <https://ecolog-ua.com/>

Завдання:

Обрати 2–3 реальні приклади Zero Waste Production у світі або в Україні та описати: технологічну суть процесу; екологічний ефект (зменшення відходів, економія ресурсів); економічну вигоду; чинники успіху (менеджмент, цифровізація, стандарти).

Узагальнити результати у вигляді короткої аналітичної таблиці.

Етап 3. Підготовка аналітичної записки: «Маловідходні технології як складова сталого розвитку» (7 годин)

Мета: продемонструвати вміння системно мислити, аналізувати взаємозв'язки між технологічними, економічними та екологічними чинниками сталого розвитку.

Рекомендована структура аналітичної записки:

Вступ – чому маловідходне виробництво є ключовим елементом сучасної екологічної політики.

Огляд сучасних підходів – коротко про концепції Zero Waste, Circular Economy, Industrial Symbiosis.

Аналіз практичних технологій – на прикладі 1–2 галузей (металургія, енергетика, хімічна промисловість).

Вплив на сталий розвиток – як маловідходні технології сприяють зменшенню викидів, енерговитрат і зростанню конкурентоспроможності.

Висновки та рекомендації – стратегічні напрями розвитку в Україні.

Очікувані результати

- розуміти принципи організації маловідходного виробництва;
- уміти аналізувати сучасні системи управління відходами в промисловості;
- знати реальні кейси впровадження Zero Waste і їхній вплив на економіку;
- володіти навичками аналітичного узагальнення у форматі короткої політичної або наукової записки.