

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Навчально-науковий інститут інноватики, природокористування та
інфраструктури
Кафедра екології та охорони здоров'я

Гута Володимир Олегович

Розвиток зелених технологій у біопромисловості та їх вплив на довкілля
спеціальність 101 Екологія
освітньо-професійна програма «Екологія та біоекономіка»
кваліфікаційна робота за освітнім ступенем «магістр»

Виконав: студент групи ЕКОЛм-21
Гута Володимир Олегович

підпис

Науковий керівник: к.е.н
Бицюра Л.О.

підпис

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту «__» _____ 20__р.
Завідувач кафедри _____
підпис

Тернопіль – 2024

АНОТАЦІЯ

Гута В. О. Розвиток зелених технологій у біопромисловості та їх вплив на довкілля. – Рукопис. Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 101 «Екологія», Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2024. 49 с.

У кваліфікаційній роботі досліджено теоретичні засади зелених технологій у біопромисловості, їх класифікацію та особливості застосування. Проаналізовано світовий досвід впровадження зелених технологій у біопромислових процесах, визначено їх екологічні аспекти та оцінено вплив на зменшення викидів і забруднень. Здійснено порівняння традиційних технологій з екологічними підходами, підкреслено переваги останніх для довкілля.

У роботі розроблено рекомендації щодо оптимізації використання зелених технологій для покращення екологічної ситуації. Окрему увагу приділено політичним та економічним інструментам підтримки впровадження інноваційних екотехнологій. Запропоновано механізми моніторингу та оцінки ефективності впровадження зелених підходів у біопромисловість.

Huta V. O. Development of Green Technologies in Bioprocessing and Their Impact on the Environment. – Manuscript. Research for the Master's degree in specialty 101 "Ecology," West Ukrainian National University, Ternopil, 2024. 49 pages.

The qualification paper investigates the theoretical foundations of green technologies in bioprocessing, their classification, and application specifics. The study analyzes global experience in implementing green technologies in bioprocessing, identifies their environmental aspects, and evaluates their impact on reducing emissions and pollution. A comparison is made between traditional technologies and ecological approaches, emphasizing the benefits of the latter for the environment.

The study provides recommendations for optimizing the use of green technologies to improve the environmental situation. Special attention is given to political and economic tools to support the implementation of innovative eco-

technologies. Mechanisms for monitoring and evaluating the effectiveness of green approaches in bioprocessing are proposed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗЕЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БІОПРОМИСЛОВОСТІ.....	8
1.1. Поняття зелених технологій та їх класифікація у контексті біопромисловості.....	8
1.2. Світовий досвід впровадження зелених технологій у біопромислових процесах.....	14
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗЕЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ДОВКІЛЛЯ	16
2.1. Екологічні аспекти застосування зелених технологій біопромисловості	16
2.2. Оцінка впливу зелених технологій на зменшення викидів і забруднень	20
2.3. Порівняння традиційних технологій та зелених підходів у біопромисловості.....	26
РОЗДІЛ 3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ЗЕЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ БІОПРОМИСЛОВІСТЬ	31
3.1. Оптимізація використання зелених технологій для покращення екологічної ситуації.....	31
3.2. Політичні та економічні інструменти підтримки впровадження зелених технологій	34
3.3. Механізми моніторингу та оцінки ефективності зелених технологій у біопромисловості.....	37
ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	44

ВСТУП

Зміни клімату, виснаження природних ресурсів і зростання обсягів промислових відходів є серйозними викликами для сучасного суспільства [39]. У цьому контексті виникає нагальна потреба в інноваційних підходах, здатних забезпечити стале використання ресурсів та мінімізувати негативний вплив на довкілля. Одним із таких рішень є впровадження зелених технологій у біопромисловості.

Біопромисловість, яка охоплює різні галузі, пов'язані з використанням біологічних матеріалів, має великий потенціал для реалізації екологічно чистих технологій [17]. Використання зелених технологій дозволяє не лише підвищити ефективність застосування природних ресурсів, а й зменшити обсяги шкідливих викидів і забруднень, створюючи передумови для сталого розвитку. Відновлювані джерела енергії, біорозкладні матеріали та ефективні методи переробки відходів – усе це сприяє зменшенню екологічного навантаження та підвищенню екологічної безпеки

Аналіз зелених технологій у біопромисловості дозволяє оцінити їхню ефективність і потенційний вплив на стан довкілля [28, 41]. Досвід інших країн свідчить про те, що успішне впровадження екологічних підходів може стати важливим кроком на шляху до сталого майбутнього. Це спонукає до вивчення існуючих практик, розробки нових рішень і рекомендацій для впровадження зелених технологій у національну промисловість.

Розвиток зелених технологій у біопромисловості є невід'ємною частиною боротьби з екологічними проблемами сьогодення [7, 46]. Важливо розуміти, як ці технології можуть зменшити негативний вплив промислової діяльності на довкілля та сприяти сталому розвитку суспільства.

Актуальність теми дослідження. Впровадження зелених технологій у біопромисловості зумовлена наростаючими екологічними викликами, які виникають через надмірне використання природних ресурсів, забруднення атмосфери, водних джерел і ґрунтів [20]. Сучасні промислові процеси, зокрема у біопромисловості, спричиняють серйозні екологічні проблеми, такі як викиди

парникових газів і забруднення довкілля токсичними речовинами [45]. Це стимулює пошук нових підходів до виробництва, які є більш екологічно дружніми, і тут важливу роль відіграють зелені технології.

Використання зелених технологій дозволяє мінімізувати негативний вплив промисловості на довкілля, раціонально використовувати ресурси та скоротити кількість викидів шкідливих речовин [21, 22, 50]. Крім того, ці технології сприяють ефективнішому споживанню енергії та відновленню ресурсів, що зумовлює важливість їхнього впровадження як ключового елемента сталого розвитку. З огляду на глобальні виклики, такі як зміна клімату та зменшення біорізноманіття, зелена трансформація виробництва є необхідним кроком для збереження екологічної стабільності.

Світова практика впровадження зелених технологій показує значний прогрес у розвитку екологічно орієнтованих галузей, що створює передумови для переходу до зеленої економіки [37, 47, 48, 49, 51]. Це підкреслює актуальність дослідження даної теми, оскільки воно може стати основою для ефективного впровадження екологічних рішень у біопромисловості, підвищення економічної вигідності виробничих процесів та мінімізації їх впливу на навколишнє середовище. Вивчення питань застосування зелених технологій є важливим внеском у розвиток екологічної безпеки та раціонального природокористування, що відповідає цілям сталого розвитку та збереження ресурсів для наступних поколінь.

Метою дослідження є аналіз та оцінка впливу зелених технологій на екологічну ефективність біопромисловості з розробкою рекомендацій для їх впровадження.

Для досягнення мети поставлено наступні завдання:

1. Розкрити поняття зелених технологій та провести їх класифікацію у контексті біопромисловості.
2. Дослідити світовий досвід впровадження зелених технологій у біопромислових процесах.

3. Провести аналіз екологічних аспектів застосування зелених технологій у біопромисловості.

4. Оцінити вплив зелених технологій на зменшення викидів і забруднень, порівнявши їх з традиційними підходами.

Об'єктом дослідження є процеси використання зелених технологій у біопромисловості.

Предметом дослідження є вплив зелених технологій на екологічну ефективність та сталий розвиток біопромислових процесів.

Методологія дослідження включає аналіз наукової літератури, порівняння традиційних та зелених підходів у біопромисловості, оцінку екологічних аспектів та системний підхід для розробки рекомендацій щодо впровадження зелених технологій.

Апробація результатів дослідження були представлені на VII всеукраїнській студентській науковій конференції «Експериментальні та теоретичні дослідження в контексті сучасної науки» (22 листопада 2024 року, м. Львів) і на VII міжнародній студентській конференції «Глобалізація наукових знань: міжнародна співпраця та інтеграція галузей науки» (29 листопада 2024 року, м. Суми).

Кваліфікаційна робота складається з таких структурних елементів: вступу, трьох розділів, висновків і списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 49 сторінок та містить 9 таблиць.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗЕЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БІОПРОМИСЛОВОСТІ

1.1. Поняття зелених технологій та їх класифікація у контексті біопромисловості

Зелені технології у біопромисловості являють собою інноваційний підхід до промислових процесів, орієнтований на мінімізацію впливу на навколишнє середовище, раціональне використання ресурсів та зниження рівня забруднення [17]. У рамках біопромисловості – галузі, що охоплює біоенергетику, виробництво біоматеріалів, харчову промисловість та біотехнології – застосування зелених технологій дозволяє підвищити ефективність використання природних ресурсів і зменшити екологічне навантаження (табл. 1).

Класифікація зелених технологій у біопромисловості:

1. Біоенергетичні технології. Виробництво біопалива, такого як біоетанол і біодизель [13], базується на використанні рослинної сировини або агропромислових відходів, пропонуючи екологічну альтернативу традиційному викопному паливу, що сприяє зменшенню викидів CO₂ в атмосферу [4]. Біогаз, отриманий шляхом анаеробного бродіння органічної біомаси, слугує ефективним джерелом енергії для теплопостачання та генерації електроенергії. Технології виробництва альтернативного біопалива з водоростей, які дозволяють створювати біомасу для палива, вважаються перспективним напрямком завдяки тому, що вирощування водоростей не вимагає використання родючих земельних ресурсів.

2. Біоматеріали та біополімери. Біорозкладні полімери, такі як полілактид (PLA) та полігідроксиалканоати (PHA), є екологічно чистими матеріалами, які здатні швидко розкладатися в природному середовищі, тим самим запобігаючи утворенню пластикових відходів. Полілактид (PLA) виробляється з поновлюваних ресурсів, таких як кукурудзяний крохмаль, і широко використовується у виготовленні упаковки, одноразового посуду та 3D-друку [3, 6, 38]. Полігідроксиалканоати (PHA), які отримують у процесі ферментації

органічних матеріалів мікроорганізмами, застосовуються для виготовлення упаковки, медичних імплантів і навіть тканин. Використання цих полімерів сприяє зменшенню залежності від традиційних пластикових матеріалів і мінімізує їхній негативний вплив на довкілля.

Таблиця 1

Класифікація зелених технологій у біопромисловості

Категорія	Технологія	Переваги
Біоенергетичні технології	Виробництво біопалива (біостанол, біодизель)	Зменшення викидів CO ₂
	Отримання біогазу	Енергетична автономність
	Альтернативне біопаливо з водоростей	Не потребує родючих земельних ресурсів
Біоматеріали та біополімери	Біорозкладні полімери (PLA, PHA)	Зменшення накопичення пластикових відходів
	Композити на основі біомаси (крохмаль, целюлоза)	Альтернатива традиційним полімерним матеріалам
	Екологічно безпечні смоли та клеї	Замінює нафтохімічні аналоги
Технології переробки відходів	Переробка вторинної біомаси	Використання відходів для кормів, добрив, енергії
	Біологічне очищення середовища	Видалення токсинів і важких металів
	Анаеробне перетворення органічних відходів	Отримання метану і біогазу для енергетики
Зелені технології в харчовій промисловості	Стійке виробництво (ферментація, мікроорганізми)	Зниження використання енергоресурсів
	Альтернативні джерела білка (водорості, гриби, комахи)	Зменшення екологічного впливу тваринництва
	Біологічні добавки та пробіотики	Підвищення якості та безпечності продуктів
Екологічні технології у фармацевтиці	Методи генної інженерії	Менше побічних продуктів, екологічна безпека
	Екологічно чисті антибіотики та ферменти	Мінімізація забруднення водойм і ґрунтів
Ресурсозбереження та енергозбереження	Екологічно чисте виробництво	Зниження використання води, енергії, сировини
	Повторне використання ресурсів (рециркуляція води, енергії)	Зменшення витрат і екологічного навантаження

3. Технології переробки відходів. Переробка вторинної біомаси, яка включає відходи агропромисловості, лісової та харчової промисловості, дозволяє створювати корми, добрива або отримувати енергію, ефективно використовуючи побічні продукти цих галузей [24, 26, 36, 44]. Біологічне очищення середовища за допомогою біофільтрів, сорбентів та ферментів сприяє видаленню токсичних речовин і важких металів із води, ґрунту та повітря, забезпечуючи екологічну безпеку. Анаеробне перетворення органічних відходів, зокрема побутових і промислових, є технологією, що дозволяє отримувати метан і біогаз, які можуть бути використані для генерації електроенергії, сприяючи зниженню впливу на довкілля.

4. Зелені технології в харчовій промисловості. Стійке виробництво передбачає використання ферментаційних технологій і мікроорганізмів, що дозволяє значно скоротити споживання енергоресурсів у процесі виготовлення харчових продуктів. Альтернативні джерела білка, такі як продукти на основі водоростей, грибів, комах або культивованих клітин, пропонують екологічно чисті рішення, зменшуючи негативний вплив, пов'язаний із традиційним тваринництвом. Біологічно активні добавки, включно з пробіотиками, є натуральними компонентами, які сприяють підвищенню якості харчових продуктів і забезпечують їхню безпеку для споживачів.

5. Екологічні технології у фармацевтиці

Методи генної інженерії, засновані на використанні генетично модифікованих мікроорганізмів і рослин, забезпечують виробництво лікарських засобів із мінімальними побічними продуктами, що дозволяє значно знизити екологічне навантаження [12, 33]. Екологічно чисті антибіотики та ферменти, які легко розкладаються у природних умовах, сприяють мінімізації забруднення водних ресурсів і ґрунтів, забезпечуючи їхню безпечність для довкілля.

6. Ресурсозбереження та енергозбереження

Екологічно чисте виробництво передбачає зменшення споживання води, енергії та сировини шляхом впровадження технологій, спрямованих на ефективне використання ресурсів [31]. Рециркуляція води й енергії у виробничих

процесах сприяє зниженню витрат і зменшенню впливу на навколишнє середовище, забезпечуючи стійкість та ефективність виробництва.

Отже, впровадження зелених технологій у біопромисловість дозволяє перейти від лінійної до циркулярної економіки, де відходи одного процесу можуть слугувати сировиною для іншого, що сприяє екологічній стійкості. Це також зменшує залежність від традиційних ресурсів, знижуючи їх вартість та забруднення. Зелені технології підтримують сталий розвиток і мають велике значення для забезпечення екологічної безпеки на глобальному рівні.

1.2. Світовий досвід впровадження зелених технологій у біопромислових процесах

Впровадження зелених технологій у біопромисловість є важливою частиною глобальної стратегії сталого розвитку, спрямованої на зменшення негативного впливу промисловості на навколишнє середовище, економію ресурсів та зниження викидів парникових газів [34]. Досвід провідних країн демонструє значні інвестиції в дослідження, розробку та застосування екологічно безпечних технологій у біоенергетиці, виробництві біоматеріалів, харчовій промисловості та біофармацевтиці, підтверджуючи важливість інтеграції екологічних підходів у виробничі процеси (табл. 2).

Біоенергетика є одним із ключових напрямів зелених технологій, оскільки біопаливо зменшує залежність від викопних джерел енергії та скорочує викиди вуглецю.

Сполучені Штати є лідером у виробництві біоетанолу на основі кукурудзи, що сприяє енергетичній незалежності країни, знижує імпорт нафти та зменшує вуглецевий слід у транспортній сфері. Біоетанол широко використовується як добавка до бензину, що підвищує попит на аграрну продукцію і підтримує сільське господарство [2].

У ЄС, особливо в Німеччині, Франції та Нідерландах, активно розвивається сектор біогазу, що виробляється з органічних залишків, зокрема агропромислових та харчових відходів. Біогаз застосовується для отримання

тепла, електроенергії та як транспортне паливо, що знижує залежність від традиційного палива та допомагає досягти екологічних цілей.

У Швеції біоенергетика відіграє значну роль: майже половина енергетичних потреб країни покривається відновлюваними джерелами, зокрема біомасою. Лісові відходи використовуються для виробництва біопалива та біогазу, що допомагає знижувати викиди CO₂ та створює передумови для енергетично сталого майбутнього.

Біоматеріали та біорозкладні полімери є перспективною заміною традиційним нафтополімерам у промислових галузях, особливо в упаковці та виробництві товарів широкого вжитку.

Німеччина є провідною країною у виробництві біоматеріалів, включаючи біопластики для пакування, які розкладаються без забруднення навколишнього середовища. Державне фінансування сприяє розвитку досліджень у цій галузі, що дозволяє зменшити пластикове забруднення та замінювати звичайні пластики у харчовій, косметичній та інших індустріях [11].

Японські дослідники активно розробляють біополімери для заміни поліетилену та інших звичайних пластиків. Основну увагу приділяють біопластикам для упаковки, що швидко розкладаються у природі, сприяючи зниженню рівня пластикових відходів, що особливо важливо для країн із високою щільністю населення та обмеженими природними ресурсами.

Переробка органічних відходів на біогаз є основним напрямом зелених технологій, що перетворює відходи на корисні ресурси та знижує екологічне навантаження.

Данія є лідером у сфері виробництва біогазу з органічних відходів, який використовується для виробництва електроенергії, тепла та як паливо для транспорту. Ферми в Данії оснащені установками для анаеробного розкладу органічних матеріалів, що дає змогу не лише отримувати енергію, але й підвищувати родючість ґрунтів завдяки використанню органічних залишків як добрив.

Нідерланди активно використовують аграрні відходи для виробництва біогазу та добрив, сприяючи сталому розвитку сільського господарства, запобігаючи забрудненню ґрунтів та вод і виробляючи електроенергію для місцевих громад.

Харчова індустрія активно впроваджує новітні технології для підвищення ефективності, економії ресурсів і створення альтернативних джерел білка.

Фінляндія активно працює над новими джерелами білка, такими як водорості, гриби та комахи, що дозволяє значно зменшити залежність від традиційного тваринництва та його вплив на екологію. Це сприяє зниженню викидів парникових газів і водоспоживання, необхідних для традиційного виробництва білків.

Ізраїльські компанії розробляють технології вирощування культивованого м'яса, яке виробляється в лабораторних умовах без участі тварин. Це дозволяє знизити вплив на довкілля, зокрема вуглецевий слід та потребу у воді, водночас надаючи екологічно чисті продукти.

Біофармацевтична індустрія запроваджує нові методи, які знижують рівень хімічних відходів та мінімізують екологічне навантаження.

В Сполучених Штатах активно використовуються технології генної інженерії для виробництва лікарських засобів, що зменшує кількість шкідливих побічних продуктів, які можуть потрапити в навколишнє середовище. Також у США розробляють препарати на основі рослинних компонентів, які швидко розкладаються [12].

Як один із центрів біофармацевтики, Швейцарія активно застосовує зелені технології для створення екологічно чистих ліків та вакцин, що знижує обсяг хімічних відходів і ризик забруднення природного середовища.

Використання енергоефективних рішень та систем повторного використання ресурсів є важливою частиною сталого розвитку у біопромисловості.

Таблиця 2

Застосування зелених технологій у біопромисловості

Категорія	Країна	Деталі
Біоенергетика	США	Виробництво біоетанолу з кукурудзи для зменшення вуглецевого сліду та імпорту нафти.
	Європейський Союз	Виробництво біогазу з органічних залишків для тепла, електроенергії та палива.
	Швеція	Використання біомаси, включаючи лісові відходи, для задоволення половини енергетичних потреб.
Біоматеріали та біополімери	Німеччина	Виробництво біопластиків для упаковки, що швидко розкладаються без шкоди довкіллю.
	Японія	Розробка біополімерів для заміни поліетилену в упаковці, зменшення пластикових відходів.
Переробка органічних відходів	Данія	Виробництво біогазу з органічних відходів для електроенергії та тепла, підвищення родючості ґрунтів.
	Нідерланди	Використання аграрних відходів для біогазу, добрив і електроенергії, сприяння сталому розвитку.
Харчова індустрія	Фінляндія	Розробка білкових продуктів з водоростей, грибів та комах для зменшення впливу на екологію.
	Ізраїль	Вирощування культивованого м'яса для зниження вуглецевого сліду та споживання води.
Біофармацевтика	США	Використання генетично модифікованих мікроорганізмів для створення ліків з мінімальними побічними продуктами.
	Швейцарія	Розробка екологічно чистих ліків та вакцин для зменшення хімічних відходів.
Енергоефективні рішення	Франція	Використання систем повторного використання води та утилізації тепла у виноробстві та харчовій промисловості.
	Південна Корея	Системи енергозбереження, сонячні панелі та біогазові установки для зниження витрат ресурсів.
Циркулярна економіка	Європейський Союз	Фінансування проєктів замкненого циклу для екологічної стійкості виробництва.
	Китай	Технології переробки відходів для зменшення сміття та ефективного використання ресурсів.

Франція активно впроваджує системи повторного використання води та енергії, особливо у харчовій промисловості та виноробстві, що значно знижує витрати ресурсів. Багато компаній також використовують системи утилізації тепла, підвищуючи енергоефективність.

У Південній Кореї поширені системи енергозбереження та повторного використання ресурсів у сільському господарстві та промисловості, включаючи використання сонячних панелей, біогазових установок та системи для збереження води.

Циркулярна економіка є важливим підходом зелених технологій, що передбачає повторне використання ресурсів та мінімізацію відходів.

Європейський Союз активно підтримує концепцію циркулярної економіки, фінансуючи проекти, які впроваджують системи замкненого циклу. Це зменшує залежність від викопних ресурсів і сприяє екологічній стійкості виробничих систем [18].

У Китаї циркулярна економіка інтегрується в біопромисловість завдяки технологіям переробки відходів, що зменшує обсяги сміття та підвищує ефективність використання ресурсів.

Отже, світовий досвід свідчить, що зелені технології відіграють ключову роль у забезпеченні сталого розвитку. Вони зменшують екологічний вплив промислових процесів, сприяють економічному зростанню, створюють нові робочі місця та стимулюють інновації. Ці технології забезпечують основу для досягнення екологічних цілей, таких як скорочення викидів, збереження природних ресурсів та підтримка біорізноманіття, що є критично важливим для сталого розвитку людства.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗЕЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ДОВКІЛЛЯ.

2.1. Екологічні аспекти застосування зелених технологій біопромисловості

Біопромисловість є невід’ємною складовою сучасного підходу до створення екологічно стійкого суспільства. Вона формує майбутнє, в якому природні ресурси використовуються раціонально, а вплив людської діяльності на довкілля мінімізується. Це досягається завдяки розробці та впровадженню зелених технологій, які спрямовані на оптимізацію ресурсів, запобігання забрудненню, зменшення екологічного навантаження та підтримку природного балансу. Такі технології розглядаються як ефективний інструмент для вирішення глобальних екологічних викликів, зокрема зміни клімату, виснаження ресурсів та забруднення довкілля [27], а також сприяють переходу до економіки замкнутого циклу, забезпечуючи економічні та екологічні вигоди. У цьому контексті варто детальніше розглянути ключові аспекти, які демонструють роль зелених технологій у біопромисловості (табл. 3).

Однією з головних переваг зелених технологій у біопромисловості є їхній потенціал у зниженні рівня викидів парникових газів, що є основною причиною глобального потепління. Традиційні промислові процеси призводять до значних викидів таких газів, як вуглекислий газ (CO_2), метан (CH_4) та оксиди азоту (N_2O), які негативно впливають на атмосферу. Зелені технології пропонують екологічно безпечні альтернативи, серед яких використання біопалива, виробництво біоматеріалів [5, 42] і впровадження інноваційних методів карбонового захоплення [30]. Біопаливо, що виробляється з органічної сировини, є відновлюваним енергетичним ресурсом, який виділяє менше CO_2 під час згоряння, оскільки біомаса, що використовується для його виготовлення, абсорбує вуглекислий газ під час свого росту. Водночас біоматеріали, такі як біопластики й біополімери, не лише зменшують залежність від нафтових продуктів, а й сприяють скороченню викидів, оскільки вони швидко розкладаються в природному середовищі. Додатково технології захоплення та

зберігання вуглецю дозволяють знизити його концентрацію в атмосфері, сприяючи стабілізації клімату.

Таблиця 3

Ключові аспекти та внесок зелених технологій у біопромисловість

Аспект	Опис	Приклади/Рішення
Зменшення викидів парникових газів	Використання альтернативних джерел енергії для зменшення впливу на клімат.	Біопаливо (на основі біомаси), біоматеріали (біопластики), технології карбонового захоплення.
Утилізація та переробка відходів	Перетворення відходів на корисні ресурси для зменшення забруднення довкілля.	Виробництво біогазу з органічних відходів, створення компосту, біопластики, які швидко розкладаються у природі.
Скорочення використання хімікатів	Замінення синтетичних хімікатів на екологічно безпечні аналоги для захисту природи й здоров'я людей.	Біопестициди на основі натуральних речовин, біодобрива (мікроорганізми, що фіксують азот), екологічне очищення стічних вод.
Раціональне використання води	Збереження водних ресурсів шляхом впровадження ефективних систем очищення та повторного використання.	Біофільтрація (використання мікроорганізмів і рослин), рециклінг води в замкнених циклах, очищення водою водними рослинами (очерет, водорості).
Енергозбереження	Створення екологічно чистих джерел енергії, що зменшують залежність від викопних ресурсів і сприяють сталому розвитку.	Біоенергетика (біомаса), мікробіологічні паливні елементи, інноваційні системи теплоізоляції та переробки теплової енергії.
Рішення проблеми пластикових відходів	Створення матеріалів, які розкладаються природним шляхом, для зменшення забруднення пластиком.	Біопластики (на основі рослинної сировини), компостовані упаковки, екологічні продукти з тривалим життєвим циклом.
Збереження біорізноманіття	Захист природних екосистем і відновлення пошкоджених територій для підтримки природного балансу.	Сталі методи вирощування культур, біотехнології для очищення ґрунтів і води, моніторинг і захист рідкісних видів у заповідниках і природоохоронних зонах.

Ще одним важливим аспектом є утилізація та переробка відходів [44], що дає змогу зменшити кількість сміття, яке забруднює довкілля. Біопромисловість активно використовує органічні відходи для створення біогазу – екологічно чистого джерела енергії, яке можна використовувати для опалення, виробництва електроенергії чи як паливо для транспорту. Окрім цього, органічні залишки перетворюються на високоякісні компост та добрива, які не лише відновлюють родючість ґрунтів, але й запобігають їх виснаженню. Особливу роль у цьому відіграють біопластики, які замінюють традиційні полімери й швидко розкладаються в природному середовищі, вирішуючи проблему накопичення пластику, що є одним із найбільших викликів сучасного світу.

Скорочення використання шкідливих хімічних речовин також є одним із пріоритетів біопромисловості. Традиційні методи в сільському господарстві та промисловості часто передбачають використання великої кількості хімікатів, які забруднюють воду, ґрунт і повітря, а також шкодять здоров'ю людей та тварин. У відповідь на це зелена біотехнологія пропонує використання природних замінників, таких як біопестициди, які створюються на основі натуральних речовин чи мікроорганізмів, що дозволяє ефективно контролювати шкідників без шкоди для екосистем. Біодобрива, які виготовляються за допомогою бактерій і грибів, забезпечують родючість ґрунтів природним шляхом, що є екологічно безпечним рішенням для сільського господарства. Також біологічні методи очищення вод і відходів у промисловості мінімізують потребу у використанні токсичних реагентів, сприяючи захисту водних ресурсів.

Рациональне управління водними ресурсами – це ключовий екологічний виклик, який успішно вирішується завдяки впровадженню зелених технологій у біопромисловості. Забруднення та дефіцит води стають дедалі серйознішою проблемою у світі, але використання біофільтрації дозволяє ефективно очищувати воду від токсинів, важких металів та органічних забруднень. Замкнуті цикли водокористування, які забезпечують рециклінг води, значно скорочують її споживання на підприємствах, що сприяє збереженню природних джерел [8]. Також водні рослини, такі як очерет чи водорості, природним шляхом очищують

водойми, допомагаючи відновлювати їхню екологічну рівновагу та зберігати біорізноманіття.

Енергозбереження у біопромисловості є одним із найперспективніших напрямків розвитку [10]. Використання відновлюваних джерел енергії, таких як біомаса, дозволяє виробляти екологічно чисту енергію, яка зменшує залежність від викопних ресурсів. Інноваційні мікробіологічні паливні елементи, які генерують електроенергію за допомогою органічних речовин і мікроорганізмів, відкривають нові можливості для створення стійких енергетичних систем. Удосконалення технологій теплоізоляції, збереження та переробки теплової енергії сприяє зниженню споживання традиційної енергії та скороченню викидів, пов'язаних із її виробництвом.

Проблема накопичення пластикових відходів вирішується завдяки створенню біорозкладних матеріалів, таких як біопластики, які повністю розкладаються в природних умовах протягом декількох місяців. Компостовані упаковки є ефективним рішенням для зменшення кількості пластику на звалищах, а еко-продукти з довготривалим життєвим циклом сприяють екологічно свідомому споживанню, яке мінімізує негативний вплив на навколишнє середовище.

Біопромисловість також сприяє збереженню біорізноманіття, яке є основою стійкості екосистем. Використання екологічно дружніх методів у сільському господарстві дозволяє мінімізувати шкоду для природи, а біотехнології [38] допомагають відновлювати деградовані екосистеми, очищувати ґрунти й водойми. У природоохоронних зонах застосовуються технології моніторингу та захисту рідкісних видів, які перебувають під загрозою зникнення, що сприяє збереженню природних ресурсів для майбутніх поколінь.

Отже, біопромисловість із використанням зелених технологій стає ключовою складовою сталого розвитку, сприяючи збереженню ресурсів, відновленню екосистем і формуванню нових стандартів екологічної відповідальності. Її впровадження допомагає знайти баланс між економічним

зростанням і захистом довкілля, створюючи платформу для екологічно стійкого майбутнього.

2.2. Оцінка впливу зелених технологій на зменшення викидів і забруднень

Зелені технології стали невід’ємною частиною сучасної екологічної політики, спрямованої на забезпечення сталого розвитку суспільства. Їх основна мета полягає у зниженні негативного впливу людської діяльності на навколишнє середовище, що є одним із найважливіших завдань для досягнення екологічної рівноваги. У світлі глобальних викликів, таких як зміна клімату, стрімке зменшення природних ресурсів і деградація екосистем, зелені технології набувають особливого значення [29]. Їх використання передбачає створення та застосування інноваційних підходів і рішень, які мінімізують шкідливі викиди, покращують енергоефективність і сприяють раціональному використанню ресурсів.

Тернопільська область має значний потенціал для інтеграції зелених технологій у ключові галузі економіки, зокрема в промисловість і сільське господарство. Як регіон з багатими природними ресурсами та активною економічною діяльністю, Тернопільщина може стати прикладом успішного впровадження екологічно безпечних інновацій. Наприклад, у сільському господарстві це може бути використання технологій органічного землеробства, систем збереження водних ресурсів або перехід на альтернативні джерела енергії. У промисловому секторі перспективними є проекти, спрямовані на модернізацію виробничих процесів із зниженням енерговитрат і впровадженням замкнутих циклів переробки.

Впровадження зелених технологій вимагає комплексного підходу, який включає аналіз їх ефективності, оцінку впливу на економіку та навколишнє середовище, а також розробку стратегій для їх подальшого поширення. Для Тернопільської області це питання є особливо актуальним, оскільки дозволяє не лише мінімізувати екологічні ризики, а й забезпечити конкурентоспроможність

регіону на національному та міжнародному рівнях. Ретельна оцінка результатів застосування зелених технологій допоможе виявити найуспішніші напрямки розвитку, що сприятиме створенню екологічно орієнтованої економіки та підвищенню якості життя населення.

Для здійснення оцінки впливу зелених технологій на зменшення викидів і забруднень у Тернопільській області використано такі ключові показники:

1. Рівень скорочення викидів парникових газів ($R_{emissions}$) – показник, що визначає зменшення обсягів викидів CO_2 , CH_4 , N_2O та інших парникових газів у відсотках до загального обсягу викидів у регіоні після впровадження зелених технологій.

2. Рівень утилізації та переробки відходів (R_{waste}) – частка побутових і промислових відходів, які були перероблені або утилізовані завдяки впровадженню екологічних технологій, виражена у відсотках.

3. Зменшення забруднення водних ресурсів і ґрунтів ($R_{pollution}$) – показник, що відображає скорочення концентрації забруднюючих речовин у воді та ґрунтах (важкі метали, органічні сполуки, нафтові продукти тощо) у відсотковому співвідношенні.

4. Економічний ефект ($R_{economic}$) – сукупний фінансовий вплив впровадження зелених технологій, включаючи заощадження на витратах, додаткові доходи та інші вигоди для регіону.

5. Соціальний ефект (R_{social}) – оцінка кількості нових робочих місць, створених завдяки впровадженню екологічних рішень, а також підвищення рівня екологічної свідомості населення.

Для проведення аналізу даних використовувалися такі матеріали: регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Тернопільській області за 2023 рік, а також аналіз статистичних звітів із використанням даних державної служби статистики України.

Комплексна оцінка здійснюється через обчислення індексу впливу зелених технологій (ІВЗТ) за формулою:

$$\text{ІВЗТ} = \alpha_1 * R_{\text{emissions}} + \alpha_2 * R_{\text{waste}} + \alpha_3 * R_{\text{pollution}} + \alpha_4 * R_{\text{economic}} + \alpha_5 * R_{\text{social}}.$$

Де:

- $\alpha_1=0.3$ – ваговий коефіцієнт для скорочення викидів.
- $\alpha_2=0.25$ – ваговий коефіцієнт для утилізації відходів.
- $\alpha_3=0.2$ – ваговий коефіцієнт для забруднення.
- $\alpha_4=0.15$ – ваговий коефіцієнт для економічного ефекту.
- $\alpha_5=0.1$ – ваговий коефіцієнт для соціального впливу.

Оцінка показника інтегрального вагового значення технологій (ІВЗТ) повинна базуватися на сукупності критеріїв, які враховують різні аспекти впливу впроваджених технологій на екологічну, економічну та соціальну складові розвитку регіону. Нижче наведено критерії для проведення оцінювання.

1. Екологічний вплив є ключовим показником ефективності впроваджених технологій. Він включає оцінку зниження викидів парникових газів (CO_2 та інших шкідливих речовин) та зменшення забруднення водних і ґрунтових ресурсів. Зниження викидів на рівні $\geq 15\%$ свідчить про високий результат екологічної політики, тоді як показник менший за 5% вказує на недостатню ефективність. Аналогічно, зниження концентрації забруднювачів у водних об'єктах на $\geq 20\%$ є високим показником, тоді як скорочення менше ніж на 10% оцінюється як низький рівень впливу.

2. Економічна ефективність охоплює показники заощадження витрат та зростання інвестиційної привабливості. Значна економія витрат на енергетику або утилізацію відходів, що перевищує 15% , вказує на високий рівень ефективності технологій. У той же час приріст обсягу інвестицій у регіон на $\geq 10\%$ від попередніх значень є ознакою позитивного економічного впливу, тоді як нижчі показники свідчать про необхідність вдосконалення реалізованих заходів.

3. Соціальний вплив оцінюється через створення нових робочих місць і покращення якості життя населення. Створення понад 1 000 робочих місць у галузях, пов'язаних із технологіями, вказує на вагомий соціальний ефект. Додатково покращення доступності енергоресурсів, зниження рівня забруднення та впливу на здоров'я сприяють загальному підвищенню добробуту. Позитивний соціальний ефект підтверджується статистичними показниками, такими як зниження захворюваності або покращення якості питної води.

4. Інноваційність технологій є важливим фактором оцінки. Вона визначається рівнем застосованих рішень і їх здатністю покривати потреби регіону. Технології, що забезпечують ≥ 70 % покриття потреб, відповідають високому рівню інноваційності, що свідчить про їхню здатність підвищувати ефективність у різних сферах. Низький рівень інноваційності може свідчити про обмежені можливості використаних підходів.

5. Інтегральний підхід до оцінки передбачає гармонійний розподіл вагових коефіцієнтів між екологічними, економічними та соціальними складовими. Жодна з цих компонент не повинна становити менше ніж 15% у загальній оцінці, що гарантує збалансований розвиток. Такий підхід дозволяє врахувати всі ключові аспекти впливу технологій, забезпечуючи їхню ефективність та сталий розвиток регіону.

Шкала оцінки ІВЗТ:

1. Високе значення (≥ 0.2). Вказує на комплексний позитивний вплив технологій, що сприяє сталому розвитку регіону.

2. Середнє значення (0.1–0.2). Вказує на вибірковий вплив із потребою в доопрацюванні або вдосконаленні заходів.

3. Низьке значення (< 0.1). Свідчить про недостатній вплив технологій, необхідність їхньої модернізації або заміни.

Запропонована система критеріїв забезпечує можливість структурованої оцінки показника ІВЗТ та дозволяє виявити напрями, які потребують додаткових зусиль для підвищення ефективності впроваджених технологій.

Аналіз даних та проведені розрахунки демонструють значний вплив впроваджених екологічних і технологічних ініціатив на соціально-економічну та природоохоронну ситуацію в Тернопільській області.

1. Скорочення викидів парникових газів досягнуто завдяки введенню в експлуатацію сонячних і вітрових електростанцій, що дозволило знизити рівень викидів CO₂ на 15 %. Це сприяє зменшенню впливу антропогенної діяльності на зміну клімату, що є ключовим завданням сучасної екологічної політики [19].

2. Рівень утилізації відходів збільшився до 30 %, що зумовлено впровадженням сучасних технологій сортування та роздільного збору побутових і промислових відходів. Зазначені заходи сприяють оптимізації процесів поводження з відходами, зниженню їх негативного впливу на довкілля та підвищенню ефективності використання ресурсів [43].

3. Скорочення забруднення водних ресурсів досягнуто шляхом модернізації очисних споруд, що забезпечило зниження концентрації забруднюючих речовин у водах на 20 %. Цей показник свідчить про покращення екологічного стану регіональних водних екосистем та створення умов для їхнього сталого функціонування [23].

4. Економічний ефект від впровадження зазначених технологій виявився в зменшенні витрат на енергетику на 18 % та зниженні витрат на утилізацію відходів на 12 %. Економічна вигода підкреслює доцільність інвестування в технології, спрямовані на раціоналізацію використання ресурсів і підвищення ефективності витрат [1].

5. Соціальний ефект полягає у створенні 1 200 нових робочих місць у сферах відновлюваної енергетики та управління відходами. Цей результат свідчить про позитивний вплив впровадження інновацій на зайнятість населення та соціально-економічний розвиток регіону [22].

Розрахунок інтегрального вагового значення технологій (ІВЗТ) в

Тернопільської області здійснено за формулою:

$$\text{ІВЗТ} = 0.3 \cdot 0.15 + 0.25 \cdot 0.30 + 0.2 \cdot 0.20 + 0.15 \cdot 0.18 + 0.1 \cdot 0.12 = 0.199.$$

Отримане значення ІВЗТ є узагальненою оцінкою впливу впроваджених заходів на екологічну, економічну та соціальну складові регіонального розвитку, що підтверджує ефективність прийнятих рішень.

Дослідження підтверджує наявність значного позитивного впливу впровадження зелених технологій у Тернопільській області, про що свідчить інтегральний показник $ІВЗТ = 0.199$. Зокрема, досягнуто суттєвих екологічних результатів: зменшення викидів парникових газів на 15 %, скорочення забруднення водних ресурсів на 20 % та підвищення рівня переробки відходів до 30 %. Економічний аспект відзначається скороченням витрат на енергетику на 18 % та на утилізацію відходів на 12 %, що створює сприятливі умови для оптимізації ресурсів. У соціальній сфері спостерігається створення понад 1200 робочих місць, що знижує рівень безробіття, а також зростання екологічної обізнаності громадян завдяки навчальним програмам та системі сортування відходів.

Для подальшого покращення ефективності зелених технологій рекомендовано збільшити використання відновлюваних джерел енергії шляхом розширення будівництва сонячних і вітрових електростанцій, а також сприяти розвитку біоенергетики через залучення інвестицій. Систему управління відходами доцільно модернізувати, забезпечивши встановлення сортувальних ліній у громадах, де їх немає, а також створення умов для переробки органічних відходів. Особливу увагу слід приділити посиленню екологічного моніторингу, включаючи розширення мереж спостереження за якістю природних ресурсів і проведення регулярних аудитів промислових об'єктів. Також важливо підвищувати рівень екологічної освіти через організацію навчальних заходів для населення та залучення молоді до екологічних ініціатив. Для фінансування цих заходів пропонується запровадити субсидії для підприємств, які впроваджують екологічні технології, а також створити регіональний фонд підтримки екологічних проєктів.

2.3. Порівняння традиційних технологій та зелених підходів у біопромисловості

Сучасна біопромисловість, яка займає провідне місце у глобальній економіці, спрямована на використання біологічних ресурсів для виробництва високотехнологічної продукції [18]. Її роль є ключовою у досягненні цілей сталого розвитку, що передбачає збалансований підхід до економічного зростання, збереження екології та соціального благополуччя. Проте галузь часто стикається з вибором між традиційними технологіями, які забезпечують швидкі результати, але призводять до значного негативного впливу на природу, і зеленими технологіями, які базуються на інноваціях та екологічній раціоналізації.

Вивчення цих підходів дозволяє оцінити їх вплив на основні аспекти діяльності біопромислових підприємств, зокрема управління ресурсами, енергетичну політику, поводження з відходами, захист довкілля, економічну стабільність та соціальні наслідки (табл. 4).

1. Використання ресурсів. Традиційні методи у біопромисловості здебільшого покладаються на невідновлювані ресурси, такі як нафтові продукти, природний газ, мінеральні добрива та хімічні сполуки. Це призводить до залежності від обмежених запасів природних ресурсів і геополітичної нестабільності. Такі технології також характеризуються значними втратами сировини, що збільшує обсяги відходів і спричиняє додаткове навантаження на екосистеми.

Натомість зелені технології орієнтуються на раціональне використання біомаси, залишкових ресурсів сільськогосподарської діяльності та органічних відходів. Завдяки замкненим виробничим циклам сировина використовується ефективніше, а втрати мінімізуються. Крім того, зелений підхід сприяє зменшенню залежності від викопних ресурсів і забезпечує більш сталий розвиток виробництва.

2. Енергетична політика. Традиційні технології базуються на викопному паливі, яке є основним джерелом енергії у біопромисловості. Проте це

супроводжується значними викидами парникових газів, таких як CO_2 та CH_4 , що негативно впливає на кліматичну систему планети [34, 37]. Енергоефективність цих технологій залишається низькою, що підвищує витрати на виробництво та збільшує залежність від нестабільних ринкових умов.

Зелені технології пропонують альтернативу у вигляді відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної, вітрової енергії та біогазу [9]. Інноваційні рішення, такі як мікробіологічні паливні елементи, дозволяють отримувати енергію з органічних речовин, значно скорочуючи викиди. Крім того, зелений підхід забезпечує вищу енергоефективність, оскільки залишкова енергія може бути повторно використана у виробничих процесах.

3. Управління відходами. У традиційних системах виробництва утворюється значна кількість відходів, більшість із яких є токсичними і складними для утилізації [24, 27]. Відходи часто накопичуються на полігонах, сприяючи забрудненню ґрунтів і водних ресурсів. Органічні відходи, які не переробляються, виділяють метан — один із найбільш небезпечних парникових газів.

Зелені технології впроваджують інноваційні підходи до управління відходами, що базуються на принципах замкненого циклу. У цьому випадку залишки одного виробничого процесу стають ресурсом для іншого. Наприклад, органічні залишки можуть бути перероблені в біогаз або використані для створення добрив. Такий підхід дозволяє не лише зменшити обсяг відходів, а й знизити витрати на їх утилізацію.

4. Вплив на довкілля. Традиційні технології мають значний вплив на довкілля через використання хімічних речовин, які забруднюють воду, повітря та ґрунт. Це призводить до деградації природних екосистем, втрати біорізноманіття та погіршення якості життя населення.

Таблиця 4

Порівняння традиційних технологій і зелених підходів у біопромисловості

Аспект	Традиційні технології	Зелені підходи
Використання ресурсів	Використання невідновлюваних ресурсів (нафта, газ, вугілля); низька ефективність використання сировини; значні залишкові відходи.	Використання відновлюваних ресурсів (біомаса, органічні залишки); ефективне використання матеріалів у замкнених циклах.
Енергозабезпечення	Енергозабезпечення на основі викопного палива; високі викиди CO ₂ , CH ₄ ; низька енергоефективність.	Відновлювані джерела енергії (сонячна, вітрова, біогаз); інноваційні технології для підвищення енергоефективності.
Управління відходами	Генерація великої кількості токсичних відходів; відсутність ефективної утилізації; забруднення ґрунтів і води.	Утилізація відходів у замкнених циклах; створення біогазу і добрив з органічних залишків; мінімізація токсичних відходів.
Вплив на навколишнє середовище	Високий рівень забруднення повітря, води і ґрунтів; деградація екосистем; значний вплив на зміну клімату.	Зниження викидів парникових газів; впровадження технологій біофільтрації і фіторе mediaції; збереження біорізноманіття.
Економічний аспект	Високі витрати на енергозабезпечення і утилізацію; залежність від ринкових цін на ресурси; відсутність фінансових стимулів.	Економія на витратах завдяки відновлюваним джерелам енергії; доступ до субсидій і грантів; підвищення довгострокової ефективності.
Соціальний аспект	Небезпечні умови праці; загроза здоров'ю працівників і населення через токсичні викиди; відсутність екологічної свідомості.	Екологічно безпечні умови праці; створення нових робочих місць; підвищення екологічної свідомості населення.

Зелені технології [39] мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище за допомогою екологічно безпечних процесів, таких як біофільтрація, фіторемедіація та використання біорозкладних матеріалів. Ці підходи сприяють збереженню екосистем і створюють умови для їх відновлення, забезпечуючи більш сталий розвиток.

5. Економічна стабільність. Традиційні технології пов'язані з високими витратами на енергію, управління відходами та ліквідацію екологічних наслідків [40]. Крім того, залежність від ринкових цін на викопне паливо створює ризики для стабільності підприємств. У довгостроковій перспективі такі технології є економічно не вигідними через значні експлуатаційні витрати.

Зелені технології пропонують більш ефективні рішення, які дозволяють знизити витрати на енергозабезпечення та оптимізувати використання ресурсів. Крім того, підприємства, що впроваджують зелений підхід, можуть розраховувати на фінансову підтримку у вигляді субсидій, грантів або податкових пільг. Це сприяє підвищенню їх конкурентоспроможності та економічної стійкості.

6. Соціальний ефект. Традиційні технології створюють низку соціальних проблем, включаючи небезпечні умови праці через використання токсичних речовин та забруднення довкілля. Це негативно впливає на здоров'я працівників і місцевих громад, а також формує низький рівень екологічної свідомості.

Зелені підходи сприяють створенню безпечних умов праці та підвищенню обізнаності населення про важливість охорони природи. Розвиток зеленої біопромисловості створює нові робочі місця, особливо у сфері відновлюваної енергетики, управління відходами та розробки екологічних матеріалів. Це допомагає знижувати рівень безробіття та підвищувати соціальну стабільність.

Отже, порівняльний аналіз свідчить, що зелені технології значно переважають традиційні за всіма ключовими параметрами. Вони забезпечують більш сталий розвиток, знижуючи екологічне навантаження, підвищуючи економічну ефективність і сприяючи соціальному прогресу. Перехід до зелених технологій є необхідним кроком для побудови екологічно відповідальної

економіки, що відповідає сучасним викликам та очікуванням суспільства. Інтеграція цих підходів у біопромисловість дозволить вирішити ключові екологічні проблеми та сприятиме довгостроковій стабільності галузі.

РОЗДІЛ 3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ЗЕЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ БІОПРОМИСЛОВІСТЬ

3.1. Оптимізація використання зелених технологій для покращення екологічної ситуації

Оптимізація використання зелених технологій має вирішальне значення для забезпечення сталого розвитку планети, раціонального використання природних ресурсів і мінімізації негативного впливу людської діяльності на довкілля. Цей підхід включає впровадження сучасних технологій у всі сфери економіки та життя, що дозволяє досягти балансу між економічним зростанням і збереженням природних екосистем [40, 47]. Одним із ключових напрямів є впровадження ресурсозберігаючих технологій, які дозволяють мінімізувати використання води, енергії та сировини у виробничих процесах. Завдяки застосуванню замкнених циклів у виробництві, відходи одного процесу стають цінною сировиною для іншого, що сприяє значному скороченню обсягів відходів і витрат ресурсів. Це особливо важливо для біопромисловості, де органічні залишки можуть використовуватися для виробництва добрив, кормів або біогазу (табл. 5).

Відновлювані джерела енергії, такі як сонячна, вітрова, геотермальна енергія та енергія біомаси, відіграють центральну роль у скороченні залежності від викопного палива, яке є основним джерелом викидів парникових газів [25]. Сонячні панелі можуть бути встановлені як у промислових об'єктах, так і в приватних домогосподарствах, забезпечуючи енергетичну незалежність і зниження витрат на електроенергію. Вітрові турбіни здатні забезпечити чистою енергією цілі регіони, а біоенергетика дозволяє перетворювати органічні відходи на біопаливо, яке може використовуватися для транспорту чи опалення. Геотермальні джерела є стабільним і екологічно чистим варіантом енергозабезпечення, особливо в регіонах із високою геотермальною активністю.

Інноваційні технології переробки відходів, зокрема анаеробне бродіння, забезпечують ефективну утилізацію органічних залишків і перетворення їх на біогаз, який може використовуватися як джерело енергії для теплопостачання або

виробництва електроенергії. Ці процеси також допомагають скоротити обсяги відходів на полігонах, запобігаючи утворенню метану, який має значно більший вплив на глобальне потепління, ніж CO₂. У міських умовах роздільний збір сміття та його вторинна переробка дозволяють зменшити забруднення навколишнього середовища і сприяють збереженню природних ресурсів.

Розвиток біоматеріалів [35], таких як біорозкладні полімери PLA (полілактид) і PHA (полігідроксиалканоати), є перспективною альтернативою традиційним пластиковим матеріалам, які потребують десятиліть для розкладання. Біоматеріали виготовляються з відновлюваних джерел, таких як кукурудзяний крохмаль, і швидко розкладаються у природному середовищі, не утворюючи токсичних залишків. Їхнє застосування стає дедалі поширенішим у харчовій, косметичній та медичній галузях, сприяючи зменшенню пластикового забруднення. Особливо актуальним є їх використання для упаковки та одноразового посуду, який після використання може бути легко утилізований без шкоди для природи.

Цифровізація екологічного моніторингу за допомогою сенсорів, систем Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту дозволяє оперативно контролювати рівень забруднення повітря, води та ґрунтів [14, 15]. Ці системи можуть автоматично сигналізувати про перевищення допустимих рівнів забруднення, сприяючи швидкому реагуванню на екологічні проблеми. У сільському господарстві розумні системи і датчики дозволяють оптимізувати використання води, добрив та інших ресурсів, що знижує їхній вплив на природу та сприяє підвищенню врожайності.

Освіта та формування екологічної свідомості серед населення є важливими складовими успішного впровадження зелених технологій. Люди, які розуміють важливість збереження природи та знають про екологічні альтернативи, охочіше підтримують ініціативи, пов'язані із впровадженням нових технологій. Державні програми, спрямовані на підвищення екологічної обізнаності, а також освітні проєкти для молоді, сприяють формуванню культури екологічної відповідальності.

Таблиця 5

Оптимізація використання зелених технологій для покращення
екологічної ситуації

Напрямок оптимізації	Опис	Результати
Ресурсозберігаючі технології	Використання замкнених циклів виробництва для мінімізації витрат води, енергії та сировини.	Зменшення відходів, економія ресурсів, підвищення ефективності.
Відновлювані джерела енергії	Сонячна, вітрова енергія, біомаса та геотермальна енергія замінюють викопне паливо.	Зниження залежності від викопного палива, скорочення викидів CO ₂ .
Переробка відходів	Анаеробне бродіння органічних залишків для отримання біогазу, роздільний збір і переробка сміття.	Скорочення обсягів відходів, запобігання забрудненню, виробництво біогазу.
Розвиток біоматеріалів	Використання біорозкладних полімерів PLA, PHA для заміни традиційного пластику.	Зменшення пластикового забруднення, збереження екосистем.
Цифровізація екологічного моніторингу	Використання сенсорів і систем IoT для контролю якості повітря, води та ґрунтів.	Швидке реагування на екологічні проблеми, оптимізація використання ресурсів.
Освіта та екологічна свідомість	Підвищення обізнаності населення щодо екологічних технологій і відповідальності.	Підтримка екологічних ініціатив, формування культури стійкого розвитку.

Оптимізація зелених технологій забезпечує багато позитивних результатів. Це включає зниження викидів парникових газів, запобігання забрудненню водойм і ґрунтів, раціональне використання природних ресурсів та економічні переваги через зменшення витрат і створення нових робочих місць у сфері екотехнологій. Зрештою, ці процеси сприяють покращенню якості життя, оскільки забезпечують чистіше повітря, воду та довкілля, що позитивно впливає на здоров'я населення. Впровадження зелених технологій є важливим кроком до реалізації Цілей сталого розвитку ООН, сприяючи збереженню природних

багатств для майбутніх поколінь і забезпечуючи гармонійний розвиток суспільства та економіки.

3.2. Політичні та економічні інструменти підтримки впровадження зелених технологій

Впровадження зелених технологій є ключовим фактором досягнення глобальної екологічної стійкості, боротьби зі зміною клімату та переходу до циркулярної економіки. У контексті сучасних викликів, таких як зростання викидів парникових газів, виснаження природних ресурсів і погіршення стану довкілля, стимулювання розвитку екологічно чистих технологій стає обов'язковою умовою [17]. Це завдання виконується за допомогою широкомасштабних політичних та економічних механізмів, які створюють сприятливе середовище для інновацій, розробки та впровадження зелених технологій у всіх сферах економіки й суспільства (табл. 6).

Формування чіткої нормативно-правової бази [20] є фундаментом підтримки екологічних інновацій, де законодавчі ініціативи, як-от вимоги до енергоефективності будівель, обов'язкове використання екологічних матеріалів, заборона на одноразовий пластик і суворі стандарти на промислові викиди, спрямовують бізнес на впровадження сталих рішень. Політики субсидій і дотацій, що зменшують фінансовий тягар для компаній, які інвестують у зелений розвиток, сприяють дослідженням у галузі відновлюваної енергетики та модернізації підприємств, що переходять на енергоефективні технології. Участь у міжнародних ініціативах, таких як Паризька кліматична угода чи програми ООН, сприяє обміну досвідом, ресурсами та технологіями, що прискорює глобальний перехід до зелених рішень.

Освітні програми для шкіл, університетів та громадських організацій разом із інформаційними кампаніями формують екологічну свідомість населення, яке починає підтримувати сталий розвиток у повсякденному житті. Встановлення квот на викиди парникових газів або обов'язкове використання певного відсотка відновлюваної енергії підвищують екологічні стандарти в промисловості,

водночас створюючи фінансову мотивацію для компаній зменшувати викиди, щоб уникнути штрафів чи придбання додаткових квот.

Таблиця 6

Політичні інструменти підтримки впровадження зелених технологій

Інструмент	Опис	Очікуваний ефект
Регуляторна база	Закони та стандарти, які стимулюють використання екологічних технологій, обмежуючи традиційні методи виробництва.	Підвищення екологічних стандартів, стимулювання зелених інновацій.
Субсидії та дотації	Державне фінансування компаній, що інвестують у зелені технології.	Зменшення фінансового навантаження, стимулювання інновацій.
Міжнародне співробітництво	Участь у глобальних ініціативах, обмін технологіями та ресурсами.	Прискорення впровадження екологічних технологій.
Екологічна освіта	Програми для підвищення обізнаності населення щодо важливості зелених технологій.	Формування екологічної свідомості, підтримка ініціатив.
Квоти та обмеження	Встановлення квот на викиди CO ₂ та зобов'язання щодо використання відновлюваних джерел енергії.	Зниження викидів, стимулювання переходу на екотехнології.

Економічні інструменти є важливим механізмом стимулювання розвитку зелених технологій і включають податкові пільги, які знижують фінансове навантаження для підприємств, що впроваджують екологічно чисті рішення. Наприклад, компанії, які встановлюють сонячні панелі або модернізують виробництво для скорочення викидів, отримують податкові канікули або суттєві знижки на податки, що стимулює інновації (табл. 7).

Надання низько відсоткових кредитів, грантів або механізмів співфінансування дозволяє залучати капітал до екологічних проєктів, а банки створюють спеціальні «зелені» кредитні програми для підтримки таких ініціатив [34]. Система торгівлі викидами створює ринок квот, де підприємства, що скорочують викиди більше за необхідне, можуть продавати надлишкові квоти

іншим, забезпечуючи стимул для зменшення шкідливих викидів і можливість додаткового доходу. Цінові стимули, як-от субсидії чи знижки на енергоефективні пристрої, електромобілі чи системи сонячної енергії, роблять зелені технології доступнішими для широкого населення, сприяючи їхньому поширенню. Уряди можуть задавати приклад, закуповуючи екологічно чисту продукцію, наприклад, електричні автобуси для громадського транспорту чи енергоефективне обладнання для державних установ, що стимулює розвиток ринку екотехнологій.

Таблиця 7

Економічні інструменти підтримки впровадження зелених технологій

Інструмент	Опис	Очікуваний ефект
Податкові пільги	Зниження податків для компаній, що впроваджують зелені технології	Стимулювання інновацій, економія ресурсів
Стимулювання інвестицій	Надання низько відсоткових кредитів, грантів або механізмів співфінансування	Залучення капіталу в екологічний сектор
Система торгівлі викидами	Ринок торгівлі квотами на викиди парникових газів	Мотивація скорочення викидів, додаткові доходи для компаній
Цінові стимули для споживачів	Субсидії та знижки на екологічно чисту продукцію	Популяризація зелених технологій серед населення
Державні закупівлі	Придбання екологічно чистої продукції для потреб держави	Розвиток ринку зелених технологій
Фінансування досліджень	Гранти для науково-дослідних проектів у сфері екології	Розробка нових екологічних рішень
Стимулювання рециркуляції	Підтримка компаній, які займаються переробкою відходів	Зменшення обсягів сміття, розвиток циркулярної економіки

Державні гранти для фінансування інноваційних досліджень у сфері зелених технологій сприяють створенню нових рішень, які згодом застосовуються у промисловості [40]. Підтримка компаній, що займаються

переробкою матеріалів, включає податкові пільги, гранти та дешеві кредити, стимулюючи розвиток рециркуляції та формування економіки замкненого циклу.

Політичні механізми формують загальні правила [9], у той час як економічні інструменти забезпечують фінансову підтримку, допомагаючи реалізовувати екологічні ініціативи. Наприклад, закони про обмеження викидів CO₂ можуть супроводжуватися субсидіями для модернізації виробничих процесів або системою торгівлі квотами, яка створює економічну мотивацію для зменшення шкідливих викидів.

Комплексне використання політичних і економічних інструментів дозволяє досягти подвійної мети: збереження навколишнього середовища та стимулювання економічного зростання. Ці механізми сприяють переходу до сталого майбутнього, у якому технології працюють на благо природи й суспільства, водночас створюючи нові робочі місця, підвищуючи конкурентоспроможність економіки та забезпечуючи добробут майбутніх поколінь.

3.3. Механізми моніторингу та оцінки ефективності зелених технологій у біопромисловості

Впровадження зелених технологій у біопромисловості є важливою складовою переходу до сталого розвитку, який передбачає збереження природних ресурсів, зменшення негативного впливу на довкілля та забезпечення економічного росту [8]. Враховуючи комплексність та багатогранність цього процесу, для ефективного використання зелених технологій необхідно створити механізми моніторингу та оцінки їхнього впливу, які дозволяють не тільки визначити результативність, але й адаптувати технологічні та економічні стратегії для досягнення максимального ефекту (табл. 8).

Використання зелених технологій у біопромисловості є важливим елементом забезпечення сталого розвитку, оскільки вони спрямовані на раціональне використання ресурсів, зменшення забруднення та збереження екологічного балансу. Екологічний моніторинг [27] є одним із ключових

інструментів у цьому процесі, дозволяючи аналізувати вплив технологій на довкілля. Він включає контроль за рівнем забруднення води, повітря і ґрунтів, а також оцінку викидів парникових газів. Для цього застосовуються сучасні технології, такі як датчики, супутникові системи, інструменти для дистанційного зондування Землі, які забезпечують можливість отримувати дані в реальному часі. Це дає змогу оперативно реагувати на негативні зміни та впроваджувати коригувальні заходи.

Таблиця 8

Механізми моніторингу зелених технологій у біопромисловості

Компонент	Опис	Інструменти
Екологічний моніторинг	Контроль викидів, забруднення води, повітря, ґрунтів.	Сенсори, супутникові системи, ГІС, дистанційне зондування
Оцінка ресурсоефективності	Аналіз використання води, енергії, сировини.	Інтегровані системи управління ресурсами
Технологічний аудит	Перевірка на відповідність екологічним стандартам.	Сертифікація ISO, енергоефективність обладнання
Оцінка життєвого циклу (LCA)	Оцінка впливу технології протягом її життєвого циклу.	GaBi, SimaPro
Економічний аналіз	Оцінка фінансової вигідності впровадження зелених технологій.	Фінансові звіти, економічні моделі
Соціальна оцінка	Вплив на здоров'я, умови праці, соціально-економічний розвиток.	Оцінка створених робочих місць, дослідження здоров'я населення

Другим важливим компонентом є оцінка ресурсоефективності, яка дозволяє аналізувати використання природних ресурсів, таких як вода, енергія та сировина, у виробничих процесах. Цей підхід включає застосування програмного забезпечення для моніторингу та оптимізації витрат, що допомагає виявляти втрати, скорочувати споживання енергії та знаходити можливості для повторного використання матеріалів. Значну роль у цьому аспекті відіграє технологічний

аудит, який забезпечує перевірку виробничих процесів на відповідність сучасним екологічним вимогам. Аудит охоплює оцінку енергоефективності обладнання, його впливу на екосистеми та відповідності стандартам, зокрема ISO 14001 [16], що регулюють екологічний менеджмент.

Економічний та соціальний аспекти оцінки зелених технологій доповнюють загальну картину їхнього впливу. Економічний аналіз дозволяє визначити фінансову ефективність впровадження технологій шляхом оцінки витрат на енергоспоживання, переробку відходів і використання відновлюваних джерел енергії. Такий аналіз враховує як прямі, так і довгострокові вигоди, зокрема економію ресурсів та зниження витрат на утилізацію. Соціальна оцінка зосереджена на впливі зелених технологій на зайнятість, умови праці та здоров'я населення. Зокрема, впровадження екотехнологій сприяє створенню нових робочих місць, покращенню кваліфікації працівників та зменшенню захворювань, спричинених забрудненням навколишнього середовища, що є важливим фактором покращення якості життя громад.

Моніторинг та оцінка зелених технологій у біопромисловості відіграють ключову роль у забезпеченні сталого розвитку, збереженні природних ресурсів і зменшенні негативного впливу на довкілля (табл. 9). Ці інструменти дозволяють аналізувати ефективність екологічних рішень, своєчасно виявляти проблеми та адаптувати процеси для досягнення максимального результату. Системи збору даних у реальному часі, що базуються на Інтернеті речей (IoT) і сенсорних мережах, забезпечують безперервний контроль за показниками виробничих процесів, якості повітря, води та ґрунтів. Завдяки їм можливо оперативно реагувати на будь-які порушення, коригувати виробничі цикли, знижувати екологічні ризики та підвищувати ефективність використання ресурсів, включаючи воду, енергію та сировину. Це не лише мінімізує вплив на екосистеми, але й сприяє економічній вигоді через зменшення витрат на ресурси.

Геоінформаційні системи (ГІС) є важливим інструментом просторового аналізу [15, 16, 32], що дозволяє вивчати вплив біопромислових об'єктів на навколишнє середовище, відслідковувати зміну ландшафтів, визначати зони

забруднення та оцінювати результативність відновлювальних заходів. Застосування ГІС допомагає виявляти проблемні території, що постраждали від діяльності підприємств, і планувати ефективні заходи з очищення та рекультивациї. Додатково, програмне забезпечення для моделювання, наприклад GaBi або SimaPro, надає змогу створювати сценарії розвитку, оцінювати вплив різних технологій на довкілля, прогнозувати економічну вигоду та оптимізувати виробничі процеси. Моделювання дозволяє обирати найефективніші шляхи для впровадження інноваційних технологій, що враховують як екологічні, так і економічні аспекти.

Таблиця 9

Оцінки ефективності зелених технологій у біопромисловості

Інструмент моніторингу	Опис	Використання
Системи збору даних у реальному часі	Автоматизовані системи для збору даних про процеси та стан довкілля.	Інтернет речей (IoT), сенсори
Геоінформаційні системи (ГІС)	Аналіз просторових даних для оцінки впливу на навколишнє середовище.	ГІС, дистанційне зондування
Програмне забезпечення для моделювання	Прогнозування ефективності впровадження нових технологій.	GaBi, SimaPro
Інструменти екологічної сертифікації	Підтвердження відповідності міжнародним екологічним стандартам.	ISO 14001, EMAS
Інструменти для аналізу великих даних (Big Data)	Аналіз великих обсягів даних для виявлення ефективності та проблем.	Big Data, аналітичні платформи

Інструменти сертифікації екологічного менеджменту, такі як ISO 14001, підтверджують відповідність технологій міжнародним стандартам. Це важливо не лише для підвищення довіри споживачів, але й для створення конкурентних переваг на світовому ринку. Екологічна сертифікація сприяє прозорості процесів, що забезпечує дотримання принципів сталого розвитку та допомагає підприємствам отримувати доступ до нових ринків. Використання великих даних дозволяє проводити масштабний аналіз інформації про вплив технологій на

довкілля, їхню ресурсоефективність, витрати та фінансову вигоду. Завдяки таким технологіям можна прогнозувати результати впровадження, своєчасно виявляти проблеми та розробляти стратегічні рішення для підвищення ефективності.

Отже, моніторинг і оцінка зелених технологій є критично важливими на всіх етапах їхнього життєвого циклу – від розробки до утилізації. Вони забезпечують можливість зменшення екологічного навантаження, раціонального використання ресурсів і створення економічних переваг. Такі механізми дозволяють підприємствам мінімізувати екологічний слід, підвищити енергетичну ефективність і знизити витрати, що сприяє їхній конкурентоспроможності. Більше того, ці інструменти виступають не лише засобом аналізу, а й платформою для впровадження інновацій, спрямованих на гармонізацію економічного розвитку та екологічної стійкості.

ВИСНОВКИ

1. Зелені технології є основою екологічно сталого розвитку, оскільки мінімізують негативний вплив на довкілля. Їх впровадження сприяє раціональному використанню природних ресурсів і зменшенню викидів парникових газів. Використання біоетанолу, біогазу та біопластиків допомагає знизити залежність від традиційних матеріалів і палива.

2. Інновації в біоенергетиці, виробництві біоматеріалів та переробці відходів мають значний вплив на скорочення забруднення. Анаеробне бродіння та біогаз дозволяють ефективно використовувати органічні залишки, зменшуючи токсичні відходи. Технології очищення води й замкнуті цикли водокористування сприяють збереженню та відновленню ресурсів.

3. Впровадження зелених технологій створює економічні та соціальні переваги. Воно забезпечує нові робочі місця, підвищує ефективність виробництва і покращує якість життя населення. Системи моніторингу допомагають знижувати витрати на утилізацію та зменшувати рівень захворюваності, пов'язаної з екологічними проблемами.

4. Успішне впровадження зелених технологій потребує комплексного підходу. Регуляторні механізми, такі як субсидії, податкові пільги й екологічні стандарти, стимулюють розвиток екологічних інновацій. Замкнені цикли виробництва й використання відновлюваних ресурсів знижують залежність від викопного палива.

5. Технологічні інструменти, як-от сенсори, IoT та геоінформаційні системи, підвищують ефективність управління екологічними процесами. Вони дозволяють оперативно виявляти проблеми та забезпечують відповідність екологічним стандартам. Програмне забезпечення для моделювання сприяє стратегічному плануванню впровадження інновацій.

6. Інвестиції в зелені технології забезпечують екологічну стійкість, економічний розвиток та енергетичну незалежність. Світовий досвід доводить, що такі рішення сприяють розвитку циркулярної економіки та збереженню

біорізноманіття. Поєднання політичних, економічних і технологічних інструментів є ключем до сталого розвитку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 30 років «озеленення»: екологічна модернізація незалежної української промисловості [Електронний ресурс] УНІАН. – Режим доступу: <https://www.unian.ua/economics/energetics/30-rokiv-ozelenennya-ekologichna-modernizaciya-nezalezhnoji-promislovosti-novini-sogodni-11518795.html> (дата звернення: 20.11.2024).
2. Аналіз ринку технічного спирту та біоетанолу в Україні та в ЄС. 2023 рік [Електронний ресурс] Pro-consulting. – Режим доступу: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-tehnicheskogo-spirta-i-bioetanola-v-ukraine-i-v-es-2023-god> (дата звернення: 23.11.2024).
3. Берладір Х. В., Говорун Т. П., Олешко О. М. Біомедичні матеріали: від історії до сьогодення : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2022. 223 с.
4. Біоенергетика: Курс лекцій. Частина 1 [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. О. Будько. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 109 с.
5. Біоматеріали у мікро- та наноелектроніці [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальностей 161 «Хімічні технології та інженерія» і 176 «Мікро- та наносистемна техніка» / Барбаш В.А., Ключко Н.П., Копач В.Р.; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 327 с.
6. Біотехнологія: Підручник / В.Г. Герасименко, М.О. Герасименко, М.І. Цвіліховський та ін.; Під общ. ред. В.Г. Герасименка. К.: Фірма «ІНКОС», 2006. 647 с.
7. Будякова О., Дервіш Д. Інвестиції в біоекономіку для повоєнного відновлення України. Трансформаційна економіка. 2023. № 4 (04). С. 9–13.
8. Величко О. М., Зеркалов Д. В. Екологічний моніторинг: навчальний посібник. Київ: Наук. Світ, 2001. 205 с.

9. Волосюк М. В., Степаненко Т. О., Максимова І. І. Економічні механізми стимулювання зелених інвестицій та підприємництва. Економіка та суспільство. 2024. Вип. 60. С. 127. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-60-127>.

10. Воронов Г. К. Енерго- та ресурсозбереження у хімічних виробництвах: конспект лекцій для студентів 1 курсу денної форми навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 118 с.

11. Гавриленко О., Плішивий Є. Сучасні аспекти переходу до використання біорозкладних пакувальних матеріалів. Економічний простір. –2023. № 183. С. 128–133. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/183-21>.

12. Гігієна у фармації та екологія (Змістовий модуль 2) : навч. посіб. до практ. занять студентів та студентів-іноземних громадян 2 курсу фармац. ф-тів, спец. – 226 «Фармація, промислова фармація» / А. І. Севальнєв, Л. П. Шаравара, О. В. Кірсанова [та ін.]. Запоріжжя : ЗДМУ, 2020. 126 с.

13. Голуб Г. А., Лук'янець С. В. Інвестиційна привабливість виробництва і використання дизельного біопалива. Економіка АПК. 2013. № 2. С. 54–61.

14. Довгаль О. А., Довгаль Г. В. Глобальний інноваційний простір: передумови, специфіка й інструменти формування. Проблеми економіки. 2017. № 1. С. 15–20.

15. Донченко М. В., Коваленко І. І. Геоінформаційні системи : навчальний посібник. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. 132 с.

16. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 26 с.

17. Екологізація виробництва та зелені технології: Курс лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. всіх спеціальностей всіх освітніх програм / Н. С. Ремез, А. О. Дичко, Т. В. Гребенюк, В. О. Броницький. Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2021. 209 с.

18. Економіка довкілля і природних ресурсів : навчальний посібник / за заг. ред. П. Т. Бубенка ; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ, 2014. 280 с.

19. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. [Електронний ресурс] Режим доступу:

http://iccua.org/sites/default/files/energy_strategy_minenergo.pdf.

20. Захист навколишнього середовища при роботі теплотехнологічного устаткування: навч. посібник / Н. А. Шаройко, А. О. Каграманян, І. П. Полтавський та ін. Харків : УкрДАЗТ, 2011. – 395 с.

21. Зелена енергетика: можливості та виклики [Електронний ресурс]

Екополітик. – Режим доступу: <https://ecopolitic.com.ua/news/zelena-energetika-2023> (дата звернення: 20.11.2024).

22. Зелені технології та енергетичний перехід: сутність та особливості [Електронний ресурс] Голос України. – Режим доступу:
<https://www.golos.com.ua/article/330165> (дата звернення: 20.11.2024).

23. Зябіна Є. А., Пімоненко Т. В. Енергетична політика України: ефективність та напрями її підвищення. Економічний простір. 2020. № 160. С. 55–59. –

24. Ілляш О. Е., Бредун В. І., Чухліб Ю. О. Управління відходами: Частина 1. Управління відходами на регіональному та місцевому рівнях : навчальний посібник. Полтава : ПП «Астрыя», 2021. 187 с.

25. Калетнік Г. М., Пришляк В. М. Біопалива: ефективність їх виробництва та споживання в АПК України : навчальний посібник. Київ : Аграрна наука, 2010. 327 с.

26. Каратєєва О. І., Коваль О. А., Гроза В. І. Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського господарства : курс лекцій для здобувачів вищої освіти ступеня «бакалавр» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія». – Миколаїв : МНАУ, 2018. 190 с.

27. Клименко М. О., Прищепа А. М., Вознюк Н. М. Моніторинг довкілля: підручник. 2-ге вид., допов. та перероб. Рівне : НУВГП, 2023. 350 с.

28. Кляченко О. Л., Мельничук М. Д., Іванова Т. В. Екологічні біотехнології: теорія і практика : навчальний посібник. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 254 с.

29. Колесник М. В., Касьянова Н. В., Чернишова Т. В. Маркетингова стратегія як фактор розвитку інноваційної інфраструктури. Український журнал прикладної економіки та техніки. 2022. Т. 7, № 3. С. 155–162.

30. Крамаренко Р. М. Екологічно безпечні біополімери – альтернатива хімічним пластикам. Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти харчової промисловості : Міжнародна наукова конференція, присвячена 130-річчю Національного університету харчових технологій, 13–17 жовтня 2014 р. Київ : НУХТ, 2014. С. 712.

31. Маляренко В. А. Енергетика і навколишнє середовище : монографія. – Харків : Видавництво САГА, 2008. – 364 с.

32. Методичні матеріали щодо проведення моніторингу лісів І рівня та забезпечення його якості / І. Ф. Букша, В. П. Пастернак, Т. С. Пивовар, М. І. Букша, В. Ю. Яроцький. – Затверджено НТР Держлісагентства України (Протокол № 3 від 20 квітня 2018 р.). 2018. 40 с.

33. Мороз С., Лебедин А. Екологічні виклики фармацевтичної галузі. Journal of Innovations and Sustainability. 2024. Т. 8, № 1. DOI: <https://doi.org/10.51599/is.2024.08.01.01>.

34. Одрехівський М. В., Когут У. І. Проблеми формування еко-інноваційної політики // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”: Серія “Проблеми економіки та управління”. 2022. № 2 (10). С. 76–89.

35. Основи біоматеріалознавства : навч. посіб. / О. В. Савцова, Г. К. Воронов, О. І. Фесенко, О. І. Пилипенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 202 с.

36. Основи технології переробки відходів [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія» / О. І. Янушевська, С. О. Кирій, І. В. Косогіна, Г. В. Крimeць ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 175 с.

37. Основні засади впровадження моделі «зеленої» економіки в Україні : навч. посіб. / Т. П. Галушкіна, Л. А. Мусіна, В. Г. Потапенко та ін. ; за наук. ред.

Т. П. Галушкіної. Київ : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 154 с.

38. Панчук І. І., Буздуга І. М. Загальна біотехнологія : навчальний посібник. 2020. 95 с.

39. Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки / За ред. В. І. Лялька. Київ : НВП «Видавництво “Наукова думка” НАН України», 2015. 283 с.

40. Петренко Л. А. Інноваційний розвиток підприємства: генезис теорії та сучасна практика управління : монографія. – Київ : НУОУ, 2020. – 328 с.

41.Сегеда М. С., Олійник М. Й., Дудурич О. Б. Нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії : навч. посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. 204 с.

42. Суходуб Л. Ф. Біоматеріали та покриття: навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2020. 300 с.

43. ТОП-10 компаній України, що впроваджують зелені технології [Електронний ресурс] Екополітик. – Режим доступу: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/rejting-top-10-kompanij-ukraini-shho-vprovadzhujut-zeleni-tehnologii/> (дата звернення: 20.11.2024).

44. Управління та рекуперація відходів : навч. посіб. / С. В. Станкевич, Л. В. Головань, Є. М. Білецький та ін. Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2020. 134 с.

45. Худоба В., Чикайло Ю. Екологія : навч.-метод. посіб. Львів : ЛДУФК, 2016. 92 с.

46. Silvestri C., Silvestri L., Forcina A., Di Bona G., Falcone D. Green chemistry contribution towards more equitable global sustainability and greater circular economy: A systematic literature review. Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 294. Article 126137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126137>.

47. Huang L. Fintech inclusion in natural resource utilization, trade openness, resource productivity, recycling and minimizing waste generation: Does technology

really drive economies toward green growth?. *Resources Policy*. 2024. Vol. 90. Article 104855. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104855>.

48. Md Qamruzzaman, Karim S. Green energy, green innovation, and political stability led to green growth in OECD nations. *Energy Strategy Reviews*. 2024. Vol. 55. Article 101519. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101519>.

49. Moshood O., Zvarivadza T., Adebisi J. A., Said K. O., Dayo-Olupona O., Lawal A. I., Khandelwal M. Advancing toward sustainability: The emergence of green mining technologies and practices. *Green and Smart Mining Engineering*. 2024. Vol. 1, Iss. 2. P. 157–174.

50. Ozkan O., Eweade B. S., Usman O. Assessing the impact of resource efficiency, renewable energy R&D spending, and green technologies on environmental sustainability in Germany: Evidence from a Wavelet Quantile-on-Quantile Regression. *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 450. Article 141992. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141992>.

51. Ruiyan W., Qin C., Qiuwei Z., Yin L. Bioindustry in China: An overview and perspective. *New Biotechnology*. 2018. Vol. 40, Part A. P. 46–51