

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вишого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:

**«Аналіз екологічних аспектів розвитку біоенергетичної галузі
України на прикладі «Біогаз Ладизин»»**

Виконав: студент групи ТЗД-216
спеціальності 183 – «Технології захисту
навколишнього середовища»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

10.06.2025 Міщук О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор кафедри ЕХТЗД

«10» 06.25р Полив'янчук А.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: д.х.н., проф., професор каф. ЕХТЗД

«10» 06.25р Ранський А.П.

(прізвище та ініціали)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ЕХТЗД
к.т.н., доц. Іщенко В.А.

(прізвище та ініціали)

«10» червня 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
Кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Галузь знань 18 – Виробництво та технології
Спеціальність 183 – «Технології захисту навколишнього середовища»
Освітньо-професійна програма – Інженерна екологія та ресурсозберігаючі технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕХТЗД
к.т.н., проф. В.А.Іщенко
(підпис)
«25» березня 2025 р.

ЗАВДАННЯ на бакалаврську кваліфікаційну роботу студентці

Міщук Оксана Володимирівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ РОЗВИТКУ
БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ НА ПРИКЛАДІ «БІОГАЗ
ЛАДИЖИН»

керівник роботи Полив'янчук Андрій Павлович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по ВНТУ від «20» березня 2025 року № 97

2. Термін подання студентом роботи «10» квітня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи:

1. Державна статистика щодо виробництва електроенергії (ТЕС, АЕС, ВДЕ) в Україні.

2. Звіт з ОВД ВП «Біогаз Ладизжин»

3. Дані про викиди забруднюючих речовин енергетичними підприємствами

4. Економічні показники біоенергетичних підприємств

4. Зміст текстової частини

1. Аналіз негативного впливу енергетичної галузі на довкілля та людину

2. Аналіз біоенергетичного виробництва

3. Екологічний моніторинг та управління на підприємствах біоенергетики

4. Розробка заходів з оптимізації екологічної безпеки традиційної енергетики

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Структура паливно-енергетичного комплексу України
2. Динаміка частки відновлюваних джерел енергії у валовому кінцевому споживанні енергії у ЄС за основними напрямками
3. Зовнішній вигляд ферментатора
4. Зовнішній вигляд системи очистки біогазу від сірководню
5. Схема циклона типу ЦН – 24

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «25» березня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Примітка
		початок	закінчення	
1.	Аналіз негативного впливу енергетичної галузі на довкілля та людину	25.03.2025	07.04.2025	викон
2.	Аналіз біоенергетичного виробництва	07.04.2025	27.04.2025	викон
3.	Екологічний моніторинг та управління на підприємствах біоенергетики	27.04.2025	12.05.2025	викон
4.	Розробка заходів з оптимізації екологічної безпеки традиційної енергетики	12.05.2025	26.05.2025	викон
5.	Підготовка висновків, додатків і переліку літератури. Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	26.05.2025	05.06.2025	викон
6.	Підготовка презентації та доповіді на захист БКР	05.06.2025	10.06.2025	викон

Студент

Андрій
(підпис)

Міщук О. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Полів'янчук А.П.
(підпис)

Полив'янчук А.П.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота складається з 64 сторінок формату А4, на яких є 5 рисунків, 5 таблиці, список використаних джерел містить 39 найменувань.

Мета дослідження полягала у оцінюванні екологічних аспектів розвитку біоенергетичної галузі України на прикладі ВП «Біогаз Ладижин».

У бакалаврській кваліфікаційній роботі досліджено екологічні аспекти функціонування енергетичної галузі України, зокрема негативний вплив традиційної енергетики на довкілля та здоров'я населення. Окрему увагу приділено аналізу біоенергетичного виробництва як альтернативного та екологічно безпечного напрямку розвитку енергетики. Розкрито технологічні та економічні особливості виробництва біогазу, а також його роль у забезпеченні сталого розвитку.

Практична частина присвячена аналізу системи екологічного моніторингу та управління на прикладі діяльності вітчизняного біоенергетичного підприємства ВП «Біогаз Ладижин». Запропоновано конкретні заходи з підвищення екологічної безпеки традиційної енергетики на основі впровадження найкращих доступних технологій.

Результати дослідження можуть бути використані для розробки екологічної політики енергетичних підприємств, впровадження систем екологічного управління та обґрунтування рішень у сфері сталого енергетичного розвитку.

Ключові слова: енергетика, біоенергетика, біогаз, екологічна безпека, моніторинг, управління, традиційна енергетика, технології ВАТ.

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 64 A4 pages, which include 5 figures, 5 tables, and a list of references containing 39 titles.

The purpose of the study was to assess the environmental aspects of the development of the bioenergy industry in Ukraine on the example of the Biogas Ladyzhyn.

The bachelor's thesis examines the environmental aspects of the functioning of the energy industry in Ukraine, in particular the negative impact of traditional energy on the environment and public health. Particular attention is paid to the analysis of bioenergy production as an alternative and environmentally friendly direction of energy development. The technological and economic features of biogas production, as well as its role in ensuring sustainable development, are described.

The practical part is devoted to the analysis of the system of environmental monitoring and management on the example of the activities of the domestic bioenergy enterprise “Biogas Ladyzhyn”. Specific measures to improve the environmental safety of traditional energy based on the implementation of the best available technologies are proposed.

The results of the study can be used to develop the environmental policy of energy enterprises, implement environmental management systems and justify decisions in the field of sustainable energy development.

Keywords: energy, bioenergy, biogas, environmental safety, monitoring, management, traditional energy, BAT technologies.

ВІДГУК

наукового керівника на бакалаврську кваліфікаційну роботу Міщук О.В.
на тему: «Аналіз екологічних аспектів розвитку біоенергетичної галузі України
на прикладі «Біогаз Ладижин»»

Бакалаврська робота Міщук О.В. присвячена актуальній екологічній проблемі – зниження негативного впливу енергетичних об'єктів на навколишнє середовище та здоров'я людини. Актуальність теми зумовлена значними обсягами викидів забруднюючих речовин традиційною енергетикою та пов'язаними з цим екологічними ризиками.

У процесі виконання кваліфікаційної роботи студенткою проведено ґрунтовний аналіз літературних джерел, систематизовано підходи до оцінки впливу традиційної енергетики на навколишнє природне середовище, а також запропоновано шляхи його мінімізації. Запропоновано рішення проблеми використанням біоенергетики та впровадження природоохоронних технологій.

Робота має чітку структуру, логічну послідовність викладення матеріалу та аргументовані висновки. Всі розрахунки та аналітичні узагальнення виконані коректно. Пояснювальна записка оформлена відповідно до вимог державних стандартів.

Під час виконання роботи студентка Міщук О.В. продемонструвала високий рівень самостійності, аналітичного мислення, здатність працювати з фаховою літературою, впевнено володіє навичками дослідження екологічних процесів і використовує сучасні інформаційні технології.

Робота у цілому виконана на високому рівні і заслуговує оцінку «відмінно».

Науковий керівник,

д. т. н., професор каф. ЕХТЗД



Андрій ПОЛИВ'ЯНЧУК

РЕЦЕНЗІЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу студента денної форми навчання 4 курсу із спеціальності 183 “Технології захисту навколишнього середовища” Міщук Оксана Володимирівна на тему: «Аналіз екологічних аспектів розвитку біоенергетичної галузі України на прикладі «Біогаз Ладизин»»

Бакалаврська кваліфікаційна робота виконана згідно завдання, відповідає темі, містить 5 листів ілюстративного матеріалу і пояснювальну записку на 64 сторінках.

1. Актуальність теми, наявність замовлення роботи підприємством, організацією
2. Достатність вихідних даних, наявність обґрунтування вироблених рекомендацій

Вихідні дані: результати аналізу літературних джерел за темою досліджень та результатами проходження переддипломної практики є достатніми для виконання поставлених задач.

3. Наявність багатоваріантного аналізу проектних рішень в основному розділі, спрямованого на пошук оптимального рішення з урахуванням останніх досягнень науки і техніки, техніко-економічного обґрунтування оптимального варіанту. Застосування варіантних підходів при вирішенні решти проектних рішень

Проведено комплексний аналіз екологічних аспектів розвитку біоенергетичної галузі на конкретному прикладі.

4. Глибина обґрунтування прийнятих рішень, ступінь врахування факторів безпеки життєдіяльності тощо

Глибина обґрунтування прийнятих рішень є достатньою і базується на використанні достовірних вихідних даних і відомих методів наукових досліджень.

5. Рівень опрацювання основного рішення (аналіз, технічні розрахунки тощо), достатність глибини пророблення основного рішення для використання на практиці

Рівень опрацювання та глибина пророблення основного рішення є достатніми і базуються на результатах аналізу літературних джерел за досліджуваною темою та результатах власних розрахункових досліджень.

6. Науковий рівень (для робіт дослідницького характеру) та глибина експериментальних досліджень

6. Науковий рівень (для робіт дослідницького характеру) та глибина експериментальних досліджень

Глибина досліджень негативного впливу традиційної ергетики на навколишнє середовище є достатньою.

7. Застосування комп'ютера для вирішення задач основної частини роботи (оптимізація, моделювання, САПР, СУБД, ПС, технічні розрахунки складних систем та ін.), обґрунтування вибору конфігурації комп'ютера, застосування стандартних та оригінальних програм, наявність аналізу результатів та їх використання у роботі

При створенні текстової та графічної частин роботи було використано MS Excel, Mathcad.

8. Наявність у пояснювальній записці обґрунтування усіх проектних рішень, стиль її написання (обґрунтований чи описовий), відповідність оформлення до вимог діючих стандартів

Пояснювальна записка оформлена відповідно до діючих стандартів, рішення та рекомендації подані обґрунтовано.

9. Повнота відображення графічних матеріалів основного змісту кваліфікаційної роботи, відповідність графічних матеріалів конкретному об'єкту дослідження, вимогам діючих стандартів

Графічна частина відповідає змісту роботи та вимогам діючих стандартів.

10. Практична цінність роботи, можливість її реалізації

Результати роботи мають практичну цінність і містять рекомендації щодо зменшення рівнів забруднення традиційної енергетичної галузі.

11. У бакалаврській кваліфікаційній роботі можна відзначити такі недоліки

У тесті пояснювальної записки зустрічаються незначні орфографічні помилки.

Бакалаврська кваліфікаційна робота в цілому виконана на високому рівні і заслуговує на оцінку "відмінно".

Рецензент

д.х.н., професор


Ранський А.П.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ НА ДОВКІЛЛЯ ТА ЛЮДИНУ	5
1.1 Особливості розвитку енергетичної галузі в Україні	5
1.2 Основні фактори впливу енергетичного виробництва на екосистеми	9
1.3 Шкідливі наслідки функціонування енергетичних підприємств для населення	12
2 АНАЛІЗ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА	15
2.1 Загальна характеристика біоенергетичного виробництва та його значення для сталого розвитку	15
2.2 Технологічний процес виробництва біогазу	18
2.3 Економічна ефективність та перспективи розвитку	22
3 ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТА УПРАВЛІННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ БІОЕНЕРГЕТИКИ	29
3.1 Основи екологічного моніторингу в біоенергетиці	29
3.2 Системи екологічного управління на біоенергетичних підприємствах ...	31
3.3 Практичні аспекти екологічного моніторингу на прикладі ВП «Біогаз Ладизжин»	36
4. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОПТИМІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРАДИЦІЙНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	41
4.1. Визначення параметрів природоохоронних систем та обладнання	41
4.2. Інноваційні підходи та найкращі доступні технології підвищення енергоефективності та зниження впливу на довкілля у традиційному виробництві	48
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56
ДОДАТОК А.....	61
ДОДАТОК Б.....	62

ВСТУП

Сучасна енергетична галузь є ключовим елементом економіки України, що забезпечує енергетичну безпеку, розвиток промисловості, інфраструктури та добробут населення. Проте її функціонування супроводжується істотними екологічними ризиками, що виявляються у вигляді викидів забруднюючих речовин в атмосферу, утворення великої кількості відходів, водного і теплового забруднення, а також деградації земель. Ці негативні наслідки особливо характерні для підприємств традиційної енергетики, що базується на спалюванні викопного палива.

Проблема дослідження полягає у необхідності зниження негативного впливу енергетичних об'єктів на навколишнє середовище та здоров'я людини, а також у пошуку ефективних альтернативних джерел енергії, здатних забезпечити сталий розвиток і відповідати сучасним екологічним стандартам.

В умовах кліматичних змін, зростання вартості енергоносіїв та міжнародних зобов'язань України у сфері охорони довкілля, актуальним стає перехід до ресурсоощадної та екологічно безпечної енергетики. Одним із перспективних напрямів є розвиток біоенергетики, яка передбачає використання біомаси для виробництва енергії. Зокрема, виробництво біогазу дає змогу одночасно утилізувати органічні відходи, зменшувати викиди парникових газів та підвищувати енергетичну незалежність.

Об'єктом дослідження є енергетична галузь України, а предметом дослідження – екологічні аспекти функціонування біоенергетичних підприємств та шляхи оптимізації їхньої екологічної безпеки.

Метою роботи є комплексний аналіз впливу енергетичної галузі на довкілля, дослідження особливостей біоенергетичного виробництва та розробка заходів з підвищення екологічної безпеки на прикладі конкретного підприємства.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання дослідження:

- охарактеризувати сучасний стан розвитку енергетичної галузі України;
- проаналізувати основні фактори впливу енергетичного виробництва на довкілля та здоров'я населення;
- розкрити зміст і переваги біоенергетичного виробництва;
- дослідити технологічні та економічні особливості виробництва біогазу;
- оцінити системи екологічного моніторингу та управління на біоенергетичних підприємствах;
- надати рекомендації щодо технічного вдосконалення та зниження екологічного навантаження.

1 АНАЛІЗ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ НА ДОВКІЛЛЯ ТА ЛЮДИНУ

1.1 Особливості розвитку енергетичної галузі в Україні

Енергетика України є ключовим сегментом економіки країни та належить до одних з найстаріших галузей. Основу електрогенерації складає атомна енергетика, спалювання мазута та вугілля, а також біопаливо та природний газ. Крім того, в Україні активно розвивають відновлювальні джерела, серед яких — сонячна та вітрова енергетика, а також гідроелектростанції. Енергетика визначена як пріоритетна галузь держави та відіграє значну роль в економіці.

В енергетичній сфері України працює близько 450 тисяч людей, що становить близько 3% населення, і галузь займає перше місце серед платників податків, забезпечуючи майже чверть надходжень до державного бюджету. Частка енергетики у ВВП становить 8%, а за рівнем споживання електроенергії Україна посідає 28 місце у світі. Крім того, українські енергетичні компанії також орієнтовані на експорт своєї продукції.

Енергетична безпека України значною мірою визначається ефективністю управління паливно-енергетичним комплексом (ПЕК). У зв'язку з цим першочерговим завданням державної політики є модернізація ПЕК та врахування світових тенденцій розвитку енергетичного сектору при створенні нової моделі забезпечення енергетики ресурсами, що дозволить мінімізувати залежність від імпорту енергоресурсів та диверсифікувати їх постачання. Розширення власної сировинної бази сприятиме не лише підвищенню рівня енергетичної незалежності та ефективності, а й стимулюватиме процеси енергозбереження й екологічної адаптації економічного розвитку, що підкреслює актуальність вивчення проблем, пов'язаних з відновленням паливно-енергетичного комплексу України [1].

Паливно-енергетичний комплекс охоплює сукупність галузей промисловості, які займаються видобутком, виробництвом, транспортуванням і споживанням енергоресурсів. До його складу входять видобувні галузі (вугільна, нафтова, газова, торф'яна, сланцева) та електроенергетика, яка включає теплові, гідро- і атомні електростанції. Крім того, ПЕК охоплює систему трубопровідного транспорту та електричних мереж. Структура ПЕК представлена на (рисунок 1.1.) [3].

За роки незалежності України сформувалася така структура споживання первинних енергоресурсів: природний газ – 41%, нафта – 19%, вугілля – 19%, уран – 17%, відновлювані джерела та гідроресурси – 4%. Водночас світова структура запасів органічного палива значно відрізняється: 67% припадає на вугілля, 18% – на нафту та 15% – на газ. В Україні ці пропорції мають інший вигляд: 95,4% – вугілля, 2,0% – нафта, 2,6% – природний газ.



Рисунок 1.1 – Структура паливно-енергетичного комплексу України

Електроенергетика є основною галуззю економіки країни, а споживання електроенергії виступає важливим чинником науково-технічного розвитку. Вона впливає на просторову організацію продуктивних сил: достатня кількість електроенергії має комплексотворююче значення, приваблюючи підприємства та виробництва, де витрати на енергію займають значну частку у собівартості продукції, на відміну від традиційних промислових секторів.

У багатьох регіонах України електроенергетика визначає виробничу спеціалізацію та служить базою для формування територіально-виробничих комплексів. Розташування електростанцій обумовлено двома чинниками: наявністю паливно-енергетичних ресурсів та потребами споживачів електроенергії.

Усі електростанції класифікують на чотири типи за джерелами енергії:

- теплові електростанції (спалюють тверде, рідке та газоподібне паливо),
- гідроелектростанції (працюють на водних ресурсах),
- атомні електростанції (застосовують збагачений уран та інші радіоактивні матеріали),
- електростанції, які використовують альтернативні джерела енергії (сонце, вітер).

Провідне місце в енергетиці України займають теплоелектростанції – ДРЕС і ТЕС. Вони виробляють понад 60% електроенергії. Їх головна перевага – це більш вільне розміщення і вдвічі менші капіталовкладення у порівнянні з гідроелектростанціями [2].

Одним із ключових показників функціонування об'єднаної енергосистеми України є структура виробництва електроенергії за джерелами генерації. У контексті трансформацій, що відбуваються в енергетичній галузі, важливо простежити динаміку змін у розподілі виробництва між тепловими, атомними, гідроелектростанціями та іншими джерелами. Це дозволяє оцінити ступінь залежності від викопного палива,

ефективність використання атомної енергії та потенціал розвитку відновлюваних джерел. У таблиці 1.1 представлено статистичні дані щодо виробництва електроенергії електростанціями ОЕС України за період 2013–2018 років, які ілюструють зміну структури енергогенерації та вказують на основні тенденції в енергетичному балансі країни [4].

Таблиця 1.1 – Структура виробництва електроенергії електростанціями
ОЕС України

Категорія	Одиниця вимірювання	2013	2014	2015	2016	2017	2018
ТЕС і ТЕЦ	млрд кВт·год	90,7	78,6	58,2	61,5	55,8	58,8
	Відсоток від загального виробництва %	47	43,3	37	38,8	35	36
АЕС	млрд кВт·год	85	90,7	90,6	81	85,6	84,3
	Відсоток від загального виробництва %	44,3	50	57,2	53,7	56,5	54,3
ГЕС і ГАЕС	млрд кВт·год	15,2	9,6	7,1	9,3	10,5	12
	Відсоток від загального виробництва %	7,9	5,3	4,5	6,2	7	7,8
Блок-станції та інші джерела	млрд кВт·год	2,1	2,1	1,1	1,2	2,6	4
	Відсоток від загального виробництва %	0,3	0,7	0,6	0,7	0,8	1
Усього	млрд кВт·рік	193	181	157	153	154,5	159,1

Отже, електроенергетика України є стратегічно важливою галуззю, яка забезпечує основу для економічного розвитку держави та формує значну частину її бюджету й ВВП. Незважаючи на виклики, пов'язані із залежністю від імпортного палива та необхідністю модернізації інфраструктури, галузь демонструє потенціал до трансформації й розвитку, зокрема через використання атомної енергії, впровадження відновлюваних джерел та диверсифікацію енергетичних ресурсів. Аналіз структури виробництва електроенергії свідчить про поступову зміну акцентів у бік більш

екологічних і сталих джерел, що відповідає сучасним глобальним трендам. У подальшому ефективне управління паливно-енергетичним комплексом, розвиток біоенергетики та впровадження новітніх технологій дозволять Україні не лише зміцнити енергетичну безпеку, а й досягти більш високого рівня енергоефективності та екологічної відповідальності.

1.2 Основні фактори впливу енергетичного виробництва на екосистеми

Теплові електростанції (ТЕС) здійснюють послідовне перетворення хімічної енергії палива (вугілля, нафта, газ тощо) на теплову, механічну та електричну енергію. Залежно від типу обладнання ТЕС поділяються на паротурбінні, газотурбінні та дизельні. Вони є основою електроенергетичної галузі. Як паливо на ТЕС використовуються вугілля, природний газ, мазут, сланці та дрова. Принцип роботи паротурбінних електростанцій полягає в тому, що ротор генератора обертається під дією парової турбіни, де тепла енергія пари перетворюється у кінетичну, яка передається на ротор турбіни. Таким чином, водяна пара є робочим тілом паротурбінної ТЕС, утворюючись у котлі завдяки теплоті, що виділяється при спалюванні органічного палива [5].

Слід відзначити, що ТЕС мають негативний вплив на довкілля. Станції, що спалюють тверде паливо, викидають у повітря частину неуловленої золи, недогорілі рештки палива, а також сірчистий і сірчаний ангідрид, оксиди азоту та вуглецю. При використанні природного газу викидаються токсичні оксиди азоту, окис вуглецю, бензопірен.

Енергетичні ресурси — це всі джерела механічної, хімічної та фізичної енергії. У 1995 році власні енергоресурси України забезпечували країну на 44,4%, зокрема: вугіллям — на 81,3%, газом — на 21,2%, нафтою — на 22,5%. Однак в останні роки видобуток основних видів енергоресурсів, особливо вугілля, демонструє стійке зниження. Вторинні енергетичні ресурси — це енергія, що залишається після технологічного процесу або

роботи обладнання, але не є необхідною для основного технологічного циклу. Джерелом таких ресурсів є, зокрема, низькопотенційне тепло нагрітої води конденсаційних установок, де може бути задіяно до 50% тепла палива, що спалюється на електростанціях [6-7].

До забруднюючих викидів газів та аерозолів від енергетичних об'єктів належать різноманітні речовини, які порушують природну рівновагу в місцевих, регіональних та глобальних масштабах, а також впливають на умови життя біоти. Найімовірніші забруднюючі викиди при експлуатації енергетичних об'єктів наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні види газових та аерозольних забруднюючих викидів енергетичних об'єктів

Паливо	Аерозолі	Газові викиди						
Паливо	зола	сажа	CO ₂	H ₂ O	NO ₂	SO ₂	NO	CO
Природний газ	—	—	+	+	+	—	+	+
Мазут	+	+	+	+	+	+	+	+
Вугілля	++	+	+	+	+	+	+	+
<i>У таблиці використані умовні позначення, що характеризують ймовірність появи тих чи інших викидів при спалюванні різних видів палива : «++» – дуже висока; «+» – висока; «-» – відсутня.</i>								

Основну частку електроенергії в Україні виробляють теплові електростанції (ТЕС): у 1994 році — 60%, у 1995 році — 58,4%, а у 1997 році — 52%. Проте вугільна частка у структурі енергоресурсів для виробництва електроенергії та тепла складає лише 32-34% (у 1995 році — 34%). Електроенергія, що виробляється на ТЕС з використанням вугілля, не є екологічно чистою. Окрім цього, через низьку реактивність та високий вміст золи (25-40% при проектних 20%) у вугіллі типу антрацитів і пісного вугілля необхідно додатково спалювати імпортований мазут і газ для стабільного горіння.

Застосування очисного обладнання [8-11] значно знижує рівень забруднення, але повністю проблему це не розв'язує, адже під час роботи цих установок утворюються нові відходи [12].

Через шкідливий вплив теплоенергетики у багатьох регіонах склалася небезпечна екологічна ситуація, яка характеризується такими основними проявами:

1. Забруднення атмосфери газоподібними та аерозольними речовинами (CO_2 , поліциклічні ароматичні вуглеводні, CO , NO_x , SO_x , зола, сажа тощо). Це призводить до незворотних процесів: руйнування озонового шару, парникового ефекту та накопичення в стратосфері дрібних частинок, що відбивають сонячне випромінювання та викликають «недогрів» Землі.
2. Викиди тепла в довкілля, які є причиною теплового забруднення, що змінює клімат у районах з високою енергоємністю та великих містах.
3. Забруднення ландшафту та знищення лісів, рослинності, дикої природи та родючого ґрунту, що ставить під загрозу безпеку життя населення у таких місцевостях.
4. Оптичне забруднення повітря у великих містах через складну взаємодію сонячних променів з газовими забрудненнями, що призводить до зміни умов освітлення.
5. Забруднення підземних вод стоками ТЕС та інших промислових підприємств.

Враховуючи значні негативні наслідки теплоенергетики для довкілля, необхідно суттєво збільшити частку альтернативної енергетики, яка працює на невичерпних ресурсах природи і практично не шкодить екології.

Теплові електростанції (ТЕС), незважаючи на їх важливу роль у забезпеченні енергетичних потреб країни, залишаються одним із найзначніших джерел забруднення навколишнього природного середовища. У процесі спалювання органічного палива утворюються численні шкідливі викиди, зокрема оксиди сірки, азоту, вуглецю, сажа, зола, а також інші токсичні речовини, які негативно впливають на атмосферне повітря, водні

ресурси та ґрунт. Робота ТЕС призводить до виникнення локальних і глобальних екологічних проблем, серед яких парниковий ефект, кислотні дощі, руйнування озонового шару, теплове та оптичне забруднення.

Хоча застосування очисних технологій дозволяє частково знизити рівень забруднення, повністю уникнути негативного впливу ТЕС на довкілля наразі неможливо. Враховуючи екологічну ситуацію в Україні та світі, необхідно поступово зменшувати залежність від традиційної теплоенергетики та активно впроваджувати відновлювані джерела енергії. Підвищення ефективності використання енергоресурсів, модернізація обладнання та перехід до екологічно чистих технологій мають стати пріоритетними завданнями у сфері енергетики.

1.3 Шкідливі наслідки функціонування енергетичних підприємств для населення

Забруднення атмосферного повітря – це зміна його складу та властивостей у результаті надходження чи утворення у ньому фізичних, біологічних чинників і (або) хімічних речовин, які можуть негативно впливати на здоров'я людей і стан навколишнього середовища.

Зростання викидів токсичних речовин у природу насамперед шкодить здоров'ю людей, знижує якість сільськогосподарської продукції, впливає на клімат певних регіонів, стан озонового шару, а також спричиняє загибель флори та фауни [13].

Шкідлива дія забрудненого повітря на здоров'я населення була доведена ще після випадків токсичних туманів у містах Європи й Америки. Так, під час токсичного туману в Лондоні у грудні 1952 року за тиждень загинуло близько 4000 осіб, а ще кілька тисяч померли у наступні три місяці. У 1971 році фотохімічний смог у Токіо призвів до отруєння близько 8000 людей, що потрапили до лікарень. Основною причиною смерті тоді стала серцево-судинна недостатність. Схожі випадки фіксувалися в багатьох інших

містах: Лос-Анджелесі, Сан-Франциско, Сіднеї, Донорі, Йокогамі, Нью-Йорку тощо. Ці події стали першими свідченнями небезпеки атмосферних забруднень для здоров'я людини.

Постійне забруднення повітря впливає на загальний стан здоров'я населення. Існує прямий зв'язок між рівнем забруднення повітря та поширенням хронічних неспецифічних захворювань, таких як атеросклероз, серцеві захворювання, рак легенів тощо. Забруднене повітря знижує імунітет, шкодить органам дихання, сприяє розвитку респіраторних захворювань: катарів верхніх дихальних шляхів, ларингіту, ларинготрахеїту, фарингіту, бронхіту, пневмонії. Також воно спричиняє серцево-судинні захворювання, а ще має віддалену дію: мутагенну, канцерогенну, гонадотоксичну, тератогенну, алергенну, ембріотоксичну та атеросклеротичну [13-14].

Першими наслідками атмосферних забруднень є виникнення специфічних хвороб і отруєнь.

Різні забруднювальні речовини – оксиди вуглецю, сірки, азоту, вуглеводні, пил тощо – по-різному токсично впливають на людський організм.

Наприклад, оксид вуглецю (CO) – безбарвний газ без запаху – впливає на нервову й серцево-судинну системи та викликає задуху. Він особливо небезпечний, оскільки підвищує рівень карбоксигемоглобіну у крові, що погіршує тканинне дихання і шкодить роботі ЦНС та серця. Наявність оксиду вуглецю в організмі спричиняє скарги – головний біль, запаморочення, порушення сну, зниження пам'яті та уваги, задишку, біль у ділянці серця – особливо в осіб, які працюють регулювальниками руху [15-16].

Оксид азоту (NO₂) – це безбарвний отруйний газ, що не має запаху й подразнює дихальні шляхи. Отруєння оксидами азоту зазвичай починається з легкого кашлю, а при підвищенні концентрації NO₂ виникає сильний кашель, блювання та іноді головний біль. Вдихання цього газу може призвести до розвитку емфіземи легенів, звуження дихальних шляхів і набряку легенів.

Оксид сірки (SO_2) – безбарвний газ із різким запахом, що вже у невеликих концентраціях створює неприємний присмак у роті, подразнює слизові оболонки очей та дихальних шляхів. Забруднення повітря діоксидом сірки здебільшого спричиняє розвиток таких захворювань, як хронічний і астматичний бронхіт, бронхіальна астма, емфізема легенів. Ці прояви особливо характерні для дітей, які не мають професійного шкідливого впливу та не курять, а також не мають несприятливих чинників, що накопичуються з віком [15-16].

Забруднення атмосферного повітря є серйозною екологічною та медичною проблемою, яка виникає через надходження у повітря токсичних речовин – оксидів вуглецю, азоту, сірки, вуглеводнів, пилу тощо. Це явище негативно впливає не лише на стан довкілля, а й безпосередньо на здоров'я людей. Забруднене повітря спричиняє респіраторні, серцево-судинні захворювання, знижує імунітет та має мутагенну, канцерогенну й інші шкідливі дії. Історичні приклади, як-от токсичні тумани у Лондоні та Токіо, підтверджують небезпеку атмосферних забруднень. Найвразливішими є діти та люди з хронічними захворюваннями. Таким чином, боротьба з повітряними забрудненнями є надзвичайно важливою для збереження здоров'я населення та природного балансу.

2 АНАЛІЗ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ПРИКЛАДІ ВП «БІОГАЗ ЛАДИЖИН»

2.1 Загальна характеристика біоенергетичного виробництва та його значення для сталого розвитку

З огляду на сучасні реалії, такі як обмеженість традиційних джерел енергоносіїв, необхідність забезпечення зростаючого населення продуктами харчування, медикаментами тощо, а також масове забруднення довкілля, одним із головних завдань для світової економіки у довгостроковій перспективі стає перехід до моделі енерго- та ресурсозберігаючої економіки. Така модель має ґрунтуватися переважно на використанні відновлюваних ресурсів і передбачати пріоритетність цінності та якості життя людини, а також охорону довкілля. Як зазначає Комісія ООН зі сталого розвитку, завдання сталого розвитку полягає у задоволенні потреб сьогодення без шкоди для можливостей майбутніх поколінь. Це передбачає вирішення сучасних протиріч – між природою та суспільством, між економікою і екологією, між багатими і бідними країнами, між заможними і незаможними верствами населення, між нинішніми та майбутніми поколіннями тощо [17].

Відновлювана енергетика є чистою і «зеленою», за умови дотримання екологічних вимог (особливо важливо це для гідроенергетики та біоенергетики), умовно безоплатною і вимагає значно менше ресурсів, таких як вода, у порівнянні з традиційною вугільною або атомною енергетикою. Незважаючи на це, більшість країн світу все ще не докладають значних зусиль для переходу на відновлювану енергетику. У 2015 році в Україні частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у загальному постачанні первинної енергії становила лише 2,3%.

При цьому підвищення частки ВДЕ й надалі залишається одним із пріоритетних напрямків розвитку економіки ЄС. Країни-члени ЄС уже погодилися щодо нового цільового показника частки ВДЕ у кінцевому

споживанні енергії – щонайменше 27% до 2030 року. Варто відзначити, що ЄС активно працює над досягненням цих показників. Згідно з останніми даними Євростату, у 2015 році частка ВДЕ у валовому кінцевому споживанні енергії вже становила 16,7%, що удвічі більше, ніж десятиліттям раніше [18]. Особливо помітний прогрес спостерігається у транспортному секторі, де використання ВДЕ зросло з 1,4% у 2004 році до 6,7% у 2015 році.



Рисунок 2.1 – Динаміка частки відновлюваних джерел енергії у валовому кінцевому споживанні енергії у ЄС за основними напрямками.

За існуючих цін на викопні палива (в першу чергу, природний газ), теплову енергію та на біомасу впровадження котлів на біопаливі для виробництва теплової енергії є економічно виправданим і може бути рекомендоване для застосування на об'єктах теплоенергетики в промисловому та бюджетному секторах. В Україні основними напрямками використання енергетичного потенціалу біомаси та біогазу є виробництво теплової та електричної енергії [19]. Щорічно виробництво енергоресурсів з біологічної сировини зростає приблизно на 1%, проте цей показник нижчий,

ніж у країнах ЄС.

Потенціал України щодо енергетичного використання агробіомаси оцінюється у 16,7 млн т н.е. Із цієї кількості 13,96 млн т н.е. припадає на відходи, що утворюються на сільськогосподарських підприємствах і в домашніх господарствах, а ще 2,74 млн т н.е. можна отримати за умови використання 1,09% ріллі під енергетичну культуру – цукрове сорго.

Згідно з (табл. 2.1), Україна здатна виробляти з агробіомаси 16,7 млн т н.е. палива, що дозволило б скоротити імпорт енергоресурсів на 47,36% від обсягу, ввезеного у 2018 році (35 261 тис. т н.е.). Це також дало б змогу зменшити імпорт природного газу на 66,33%, а вугілля та торфу – на 62,11% [18].

Таблиця 2.1 – Сукупний потенціал виробництва біопалива в Україні

Вид біопалива	Потенціал виробництва, млн т н.е.	Можливе заміщення природних енергоресурсів біопаливом			Можливе виробництво енергії	
		Природний газ, млрд м³	Вугілля, млн т	Дрова, млн м³	теплова, млн Гкал	електрична, ГВт-год
Тверді - брикети	8,07	9,93	15,4	43,58	80,7	32844,9
Рідке - біодизель - біоетанол	1,16	1,43	2,21	6,26	11,6	4721,2
	0,44	0,54	0,84	2,38	4,4	1790,8
	0,72	0,89	1,4	3,97	7,2	2906,1
Газ - біометан	7,47	9,19	12,79	40,18	74,7	30742,9
Всього	16,7	20,55	31,89	90,18	167	67969

Крім того, Україна повністю залежить від імпорту нафтопродуктів, проте їх використання можна скоротити за рахунок виробництва рідкого біопального. Це дозволить знизити імпорт дизельного пального на 8,66% (при споживанні 5,08 млн т н.е. у 2017 році) та бензину – на 34,78% (при споживанні 2,07 млн т н.е.). [20]

З часом цей показник можна збільшити ще на 25 млн тонн на рік шляхом залучення всіх придатних земель для вирощування енергетичних культур та часткового заміщення площ під харчові культури площами під енергетичні культури. Це стане можливим завдяки внесенню органічних

добрив у посіви харчових та кормових культур, що підвищить їхню урожайність та зменшить потребу у використанні площ для їх вирощування.

2.2 Технологічний процес виробництва біогазу

У контексті сучасних викликів енергетичної безпеки та необхідності переходу до сталих джерел енергії, виробництво біогазу набуває особливого значення як ефективний спосіб утилізації органічних відходів та джерело відновлюваної енергії. Біогазова технологія дозволяє не лише зменшити обсяги викидів парникових газів, а й забезпечити локальне виробництво теплової та електричної енергії. Особливо перспективним напрямом є використання відходів птахівництва, які мають високий енергетичний потенціал. У цьому розділі розглядається повний цикл виробництва біогазу – від підготовки сировини до переробки перебродженої маси, з урахуванням технологічних, біохімічних та екологічних аспектів процесу.

1. Характеристика сировинної бази.

Основною сировиною для виготовлення біогазу є суміш посліду з підстилкою (зокрема лушпинням, соломою) та стічні води, що утворюються під час миття пташників бригад з вирощування бройлерів. Ця суміш разом з оборотною водою після фільтрації відпрацьованої біосировини використовується для запуску ферментаторів. Оборотна вода також застосовується для підтримання оптимального технологічного режиму, зокрема для приготування субстратної суміші.

Впродовж 28 днів (тобто 6 циклів на рік) на майданчик тимчасового зберігання щоденно завозиться по 540 т сировини. Максимальне її накопичення досягається на 28-й день – 15 120 т, що становить річний обсяг у 90 720 т. Після цього, протягом наступних 32 днів, кількість сировини щоденно зменшується на 460 т.

2. Попередня підготовка сировини.

Сировина перед подачею у резервуари змішування проходить

попередню підготовку. Важливо забезпечити оптимальний рівень вологості (70–75%), а також гомогенізувати суміш для рівномірного анаеробного зброджування. При тимчасовому зберіганні сировини в атмосферу потрапляють забруднюючі речовини, зокрема метан (CH_4), аміак (NH_3) та сірководень (H_2S).

3. Процес змішування і подача в ферментатори.

У резервуарах відбувається змішування сировини, під час якого також фіксуються викиди шкідливих речовин в атмосферу. Далі отримана біомаса насосною станцією перекачується в систему анаеробних реакторів – ферментаторів (рисунок 2.2). Загальна кількість ферментаторів становить дванадцять: дев'ять основних і три доброджувачі.

4. Біометаногенез і утворення біогазу.

У ферментаторах відбувається процес біометаногенезу – перетворення органічних сполук біомаси на біогаз за участю анаеробних метаноутворюючих мікроорганізмів. Процес включає чотири основні стадії: гідроліз, кислотогенез, ацетогенез і метаногенез. Для забезпечення стабільності процесу підтримується оптимальна температура (мезофільний режим – 35–38 °C) та рівень pH (близько 7,0). Ферментатори обладнані мішалками для уникнення осідання біомаси.

Утворений біогаз накопичується під куполом реакторів, і в разі перевищення тиску скидається через запобіжні клапани. Надлишки біогазу можуть спалюватися на аварійному факелі для запобігання надмірному тиску та виникненню аварійних ситуацій.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд ферментатора

5. Очищення і транспортування біогазу.

Біогаз надходить до систем очищення газів, що утворюються під час роботи біогазових установок (рисунок 2.3). Для цього використовують біофільтри, які ефективно видаляють сірководень, аміак та інші шкідливі домішки з біогазу. Така технологія не лише знижує негативний вплив на довкілля, а й покращує якість отриманого газу, роблячи його більш придатним для використання як енергетичного ресурсу [21]. Після цього очищений біогаз (до 87 600 тис. м³/рік) транспортується трубопроводом до місць споживання або зберігання. За необхідності його можна використовувати для виробництва електроенергії або тепла в когенераційних установках.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд системи очистки біогазу від сірководню.

6. Поводження з перебродженою біомасою.

Після повного зброджування переброджена маса з ферментаторів-доброджувачів надходить до вузла сепарації. В результаті утворюються дві фракції:

тверда фракція, що може використовуватися як органічне добриво або компост;

рідка фракція (фільтрат), яка перекачується в лагуни – спеціальні накопичувачі для кінцевого зберігання.

За відповідної очистки рідка фракція може бути застосована в аграрному виробництві як рідке добриво або для технічного зрошення.

7. Екологічні аспекти.

Впродовж усього процесу відбувається контроль за викидами шкідливих речовин, температурним режимом, вологістю субстрату та тиском у ферментаторах. На ключових етапах виробництва застосовуються автоматизовані системи моніторингу параметрів технологічного процесу. З

метою мінімізації впливу на довкілля впроваджуються заходи зі зменшення викидів метану, аміаку та сірководню, а також передбачені системи аварійного реагування.

Таким чином, виробництво біогазу з відходів птахівництва є багатостадійним технологічним процесом, що поєднує ефективну утилізацію органічної сировини з отриманням високоякісного відновлюваного палива. Запровадження такої технології дозволяє зменшити залежність від традиційних енергоресурсів, знизити навантаження на навколишнє середовище та створити замкнений цикл переробки сільськогосподарських відходів. Розуміння й оптимізація кожного етапу процесу є запорукою сталого функціонування біогазових установок та їх подальшого впровадження в агропромисловому комплексі України.

2.3 Економічна ефективність та перспективи розвитку

На даному етапі розвитку Україна є енергетично залежною державою. Свої потреби у енергоресурсах за рахунок власного видобутку вона задовольняє лише на 45 %, зокрема, видобуває 10–12 % загального обсягу споживання нафти, 20–25 % – природного газу та на 90–92 % – вугілля [22]. При цьому виникає проблема використання альтернативних видів енергії, адже традиційні види палива є вичерпними і їх запаси з кожним роком зменшуються.

Результати сучасних досліджень вказують, що виробництво біодизеля та біоетанолу викликає певні суперечності через високу собівартість технологій їх виготовлення та деякі еколого-економічні наслідки використання біомаси. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває виробництво біогазу шляхом біоенергетичної переробки органічних відходів, що утворюються в результаті господарської діяльності підприємств агропромислового комплексу.

Основою біоенергетичного виробництва є використання біомаси –

відходів сільського господарства, лісового господарства, органічних побутових і промислових відходів, а також спеціально вирощених енергетичних культур. Біомаса, на відміну від викопного палива, є поновлюваним ресурсом, що дозволяє сформувати замкнені цикли виробництва та споживання енергії. У більшості випадків, біоенергетичні установки можуть функціонувати на місцевій сировині, що сприяє енергетичній незалежності регіонів і зниженню логістичних витрат.

З економічної точки зору, біоенергетика забезпечує диверсифікацію джерел енергії та підвищує конкурентоспроможність аграрного сектору. Використання агровідходів для виробництва біогазу чи пелет дозволяє фермерам отримувати додаткові прибутки, зменшуючи при цьому екологічне навантаження. Крім того, розвиток біоенергетичних технологій стимулює інвестиції в інфраструктуру, науку й інновації, сприяючи модернізації економіки в цілому.

Оцінюючи потенційні можливості українського фермерства у сфері біоенергетичного виробництва, варто враховувати такі фактори: наявна спеціалізація галузі дозволяє забезпечувати сировинну базу для подальшої переробки та виготовлення біопалива, що створює умови для інтеграції фермерів у цей процес з огляду на їхні виробничі ресурси; набутий світовий досвід у сфері організації вирощування біоенергетичних культур відкриває можливості для розширення спектра сільськогосподарської діяльності шляхом культивування багаторічних насаджень та чагарників; така галузева трансформація фермерських господарств не тільки зміцнює енергетичну безпеку регіону, а й покращує природно-кліматичні умови в районах ризикованого землеробства. Водночас реалізація заходів цього напрямку потребує відповідного технікотехнологічного, організаційного, фінансового та інформаційного забезпечення. Ми проаналізували можливості українських фермерських господарств як учасників біоенергетичних проєктів, враховуючи як позитивні, так і негативні аспекти (табл. 2.3). Отже, успішна реалізація цих можливостей фермерськими господарствами як суб'єктами

біоенергетичних відносин потребує належного ресурсного забезпечення та інтеграції підприємницьких структур у спільні об'єднання на регіональному та загальнодержавному рівнях. Обов'язковою умовою такого розвитку є наукове обґрунтування діяльності фермерів та їхніх об'єднань у галузі енергетики та енергопостачання. Також необхідно підкреслити важливість співпраці аграрного бізнесу з регіональними науковими центрами аграрного спрямування [23].

Таблиця 2.3 – SWOT-аналіз розвитку біоенергетичного виробництва на базі фермерських господарств

Внутрішні сильні сторони	Внутрішні слабкі сторони
1. Можливість об'єднання селянських госпо- дарств. 2. Забезпечення диверсифікації господарської діяльності, використання інноваційних наукомістких технологій 3. Підвищення рівня ефективності використання наявного ресурсного потенціалу.	1. Низький рівень практичної підготовки фермерів щодо організації біоенергетичного виробництва. 2. Недостатній обсяг власного матеріальнотехнічного та інформаційного забезпечення.
Зовнішні можливості	Зовнішні загрози
1. Сприяння процесу інституціоналізації фер- мерських господарств як енергостворюючої одиниці на рівні регіону. 2. Підвищення конкурентоспроможності фер- мерського господарства, а також зростання його соціально- економічного статусу.	1. Недостатній рівень державної підтримки процесу біоенергетичного виробництва на базі суб'єктів малого бізнесу. 2. Відсутність належного інфраструктурного забезпечення. 3. Загальний негативний рівень розвитку вітчизняної аграрної сфери.

За результатами досліджень, проведених Біоенергетичною асоціацією України, сучасне обладнання для виробництва енергії з твердої біомаси, а також більшість установок на біогазі відповідають вимогам Директиви 2009/28/ЄС, яка стимулює використання відновлюваних джерел енергії: завдяки їхній роботі обсяги викидів парникових газів скорочуються більш

ніж на 60 % [25], а в окремих випадках – навіть на 70–90 % у порівнянні з установками на викопному паливі [26].

Важливою передумовою розвитку біоенергетики в Україні є те, що станом до початку повномасштабної війни, розв'язаної російською федерацією у 2022 році, у країні нараховувалося близько 8 млн га малопродуктивних земель, які можна залучити для вирощування багаторічних енергетичних культур. Розрахунки біоенергетичних фахівців свідчать, що для повного заміщення природного газу у теплогенерації вистачить 2 млн га. Щоб повністю замінити імпортні енергоносії біопаливом, необхідно використовувати близько 3 млн га, що становить 37 % площі малопродуктивних земель [27].

За оцінками українських експертів з біоенергетики, технічно досяжний річний енергетичний потенціал біомаси в Україні дорівнює 37,8 млн тонн нафтового еквіваленту (н.е.). Його використання дозволить щорічно економити понад 40 млрд м³ природного газу [28].

Серед основних стимулюючих чинників розвитку біоенергетики в Україні можна виділити:

1. Необхідність протидії глобальним кліматичним змінам.
2. Підвищення енергетичної безпеки держави та зниження залежності від імпорту енергоносіїв шляхом нарощування біоенергетичного виробництва електроенергії та тепла.
3. Розвиток аграрної сфери. Виробництво аграрної біомаси для енергетичних цілей сприяє підвищенню ефективності сільськогосподарського виробництва [29].

Інвестиції у біоенергетичний сектор стимулюють розвиток передових технологій та інновацій, що позитивно впливає і на інші сектори економіки.

Протягом останніх двадцяти років потужність електрогенерації з біомаси у світі зросла у 5,3 раза – з 28120 МВт у 2000 році до 148912 МВт у 2022 році. При цьому на країни Азії припадає 43 % загальної потужності біоенергетики, тоді як на країни Європи та Америки – 28 % та 26 %

відповідно [30].

Дані досліджень, проведених Міжнародним агентством з відновлюваних джерел енергії (IRENA), демонструють щорічне зростання кількості зайнятих у сфері «зеленої» енергетики. Згідно з останнім звітом, у 2021 році кількість працівників у відновлюваній енергетиці в усьому світі зросла на 5,8 % – з 12 млн у 2020 році до 12,7 млн. Дві третини цих робочих місць зосереджені в Азії (з них 42 % – у Китаї), по 7 % припадає на США та Індію. Країни ЄС забезпечують 9,4 % цього показника (1,2 млн робочих місць). У Європі в біоенергетиці працює 314 тис. осіб, у вітроенергетиці – 298 тис., а у сонячній енергетиці – 235 тис. [31].

Європейські країни досягли значних результатів у розвитку біоенергетики: ЄС залишається лідером у боротьбі зі зміною клімату та зменшенні парникових викидів. За останні тридцять років, завдяки підвищенню енергоефективності та зростанню частки відновлюваних джерел у енергетичному балансі, шкідливі викиди зменшилися на третину. Упродовж останнього десятиріччя обсяг товарообігу сектору біоенергетики в ЄС зріс на 54 % – з 25 млрд євро у 2010 році до 38,5 млрд євро у 2021 році. Основною сировиною для біоенергетики у країнах ЄС залишається тверда біомаса (70,5 %), на біогаз припадає 10 %, на рідкі біопалива – 12,8 %, а на енергію з органічних побутових відходів – 6,6 %.

Біоенергетична галузь значною мірою впливає на рівень зайнятості в Європі. На початок 2023 року в країнах ЄС у сфері виробництва твердої біомаси, біопалива, біогазу та переробки органічних побутових відходів працювало близько 570 тис. людей. Оскільки більшість біоенергетичних проєктів реалізуються у сільських регіонах, це сприяє підвищенню доходів фермерів та власників лісів, а також розвитку економіки та технологій у цих регіонах [32].

Єврокомісія визначила, що для досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року біоенергетика має забезпечувати щонайменше 25 % загального енергоспоживання європейських країн.

Відповідно до даних Європейської біогазової асоціації, загальне виробництво біогазу та біометану в країнах ЄС у 2021 році склало 18,4 млрд м³, що дорівнювало 4,5 % загального споживання газу в Європі. Наприклад, французька компанія Suez Groupe SAS, яка спеціалізується на управлінні відходами та водними ресурсами, побудувала завод із виробництва біометану на очисній станції стічних вод і щороку постачає до комунальної газової мережі 2,3 млн м³ біометану, що забезпечує теплом майже 3 тисячі домогосподарств у Марселі [33].

Серед характерних тенденцій останніх років у Європі – поступовий перехід теплових електростанцій (ТЕС), що працюють на вугіллі, до використання біомаси. Співспалювання 10–30 % біомаси з вугіллям зазвичай не потребує масштабної модернізації обладнання, однак суттєво покращує екологічну ситуацію в регіоні. Повна конверсія ТЕС на біопаливо вимагає додаткових інвестицій, але дозволяє зберегти електрогенеруюче підприємство та пов'язані з ним транспортні й електромережеві системи. Так, у Великобританії на найбільшій ТЕС «Дракс» у 2018 році 4 з 6 енергоблоків були переведені з вугілля на деревні гранули [34].

У Нідерландах ТЕЦ «Маасвлакте-3» із 2019 року поряд із вугіллям спалює 30 % біомаси для виробництва тепла [35]. У Бельгії всі ТЕС уже повністю перейшли на біомасу. В центрі Стокгольма (населення – понад 2,3 млн) працює одна з найбільших у світі ТЕЦ на біомасі, яка наразі забезпечує 80 % теплової потреби міста, а до 2030 року планується повністю перейти на відновлювані джерела енергії для опалення. У Копенгагені (населення – понад 1,4 млн осіб) біоенергетика вже покриває 90 % теплопотреб, а 100 % перехід заплановано на 2040 рік [36].

У Східній Європі найбільша за потужністю ТЕЦ працює у Вільнюсі (населення – понад 550 тис. мешканців). Біоенергетичні технології забезпечують 85 % потреб міста у теплі та 25 % потреб в електроенергії, а повний перехід на відновлювану енергетику для теплопостачання у столиці Литви очікується до 2040 року [36].

У результаті проведеного дослідження встановлено, що біоенергетичне виробництво є важливою складовою формування енергетичної безпеки України, особливо в умовах обмеженого доступу до традиційних енергоносіїв та загострення глобальних кліматичних викликів. Використання біомаси як поновлюваного ресурсу дозволяє не лише знизити залежність від імпорту енергії, а й сприяє екологічній безпеці, соціально-економічному розвитку сільських територій, підвищенню конкурентоспроможності аграрного сектору.

Фермерські господарства в умовах України мають суттєвий потенціал для участі у біоенергетичних проєктах, проте реалізація цього потенціалу потребує комплексної підтримки – як технічної та фінансової, так і інституційної та науково-інформаційної. Особливу роль у розвитку галузі відіграє співпраця агровиробників із науковими установами, інтеграція малих виробників у кооперативні структури, а також стимулювання державної політики у сфері відновлюваної енергетики.

Міжнародний досвід доводить ефективність впровадження біоенергетичних технологій як економічно доцільного та екологічно безпечного способу енергозабезпечення. З огляду на наявні ресурси, кліматичні умови та виклики сучасності, біоенергетика в Україні має всі передумови для динамічного розвитку та може стати одним із ключових напрямів сталого розвитку енергетичної та аграрної сфер.

3 ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТА УПРАВЛІННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ БІОЕНЕРГЕТИКИ

3.1 Основи екологічного моніторингу в біоенергетиці

У контексті розвитку біоенергетичних технологій особливого значення набуває система екологічного моніторингу як інструмент оцінки впливу на довкілля на всіх етапах виробництва енергії з біомаси. Біоенергетика, незважаючи на свій відновлюваний характер, може супроводжуватись локальними екологічними ризиками – викидами забруднюючих речовин, змінами у структурі ґрунтів, водних об'єктів, а також впливом на атмосферне повітря. Тому впровадження системи постійного спостереження, контролю та аналізу екологічних показників є обов'язковим елементом раціонального і безпечного використання біоенергетичних установок.

Екологічний моніторинг у біоенергетиці передбачає комплекс заходів, спрямованих на виявлення, вимірювання та аналіз змін у довкіллі внаслідок функціонування біогазових, біоетанольних, біодизельних або інших установок, що працюють з використанням органічної сировини. Основними компонентами екологічного моніторингу є: спостереження за станом атмосферного повітря, ґрунтів, води, контроль за викидами та скидами забруднюючих речовин, рівнем шуму, обсягом утворених відходів та побічних продуктів виробництва. Особлива увага приділяється утворенню метану, аміаку, сірководню, вуглекислого газу, які є характерними сполуками для процесу анаеробного зброджування органіки.

Біоенергетичні об'єкти повинні бути оснащені технічними засобами для автоматизованого збору даних – сенсорами газових концентрацій, датчиками температури, вологості, рівня рН, системами контролю тиску. Дані з цих приладів передаються до центральної системи управління, де обробляються в режимі реального часу. Така автоматизація дозволяє оперативно реагувати на відхилення від нормативних параметрів та запобігати виникненню аварійних

ситуацій, зокрема витоку біогазу або забруднення ґрунтових вод.

Ключовими об'єктами контролю є ферментатори, резервуари для зберігання та змішування сировини, вузли очищення біогазу, лагуни для зберігання рідких залишків та місця завантаження/вивантаження біомаси. Також обов'язковим є моніторинг якості повітря в зоні навколо підприємства, зокрема на межі санітарно-захисної зони. Важливим є й регулярне проведення інструментальних вимірювань, які здійснюються за участю ліцензованих лабораторій з відповідною періодичністю, визначеною чинним природоохоронним законодавством України.

Ще одним важливим аспектом є моніторинг стану ґрунтів, особливо у випадках використання перебродженої маси як органічного добрива. Надмірне внесення може призвести до підвищення вмісту азоту, фосфору та патогенних мікроорганізмів, що загрожує екологічному балансу агроєкосистем. Тому необхідним є оцінювання впливу відходів ферментації на якість ґрунту, рівень кислотності, вміст мікроелементів і гумусу.

У системі екологічного моніторингу важливу роль відіграють не лише технічні засоби, а й нормативна база. В Україні функціонування біоенергетичних об'єктів підлягає екологічному регулюванню, згідно з Законом України "Про охорону навколишнього природного середовища", ДБН та СанПіН. Крім того, здійснюється екологічна експертиза на етапі проектування об'єкта та екологічна оцінка на стадії введення в експлуатацію. Регулярна звітність перед державними контролюючими органами також є обов'язковою.

Сучасна концепція екологічного моніторингу базується на принципах сталого розвитку, що передбачає не лише мінімізацію шкоди, але й компенсаційні заходи – рекультивацію земель, впровадження технологій повторного використання води, очистки відпрацьованого повітря, утилізації залишків біомаси. Застосування найкращих доступних технологій (НДТ) дозволяє не лише зменшити вплив на довкілля, але й підвищити загальну ефективність біоенергетичного виробництва.

Отже, екологічний моніторинг є невід'ємною частиною функціонування біоенергетичних систем. Його впровадження забезпечує дотримання екологічних стандартів, зменшення впливу на довкілля та формування позитивного іміджу підприємства як екологічно відповідального виробника. Розвиток цифрових технологій та автоматизації відкриває нові можливості для вдосконалення систем моніторингу, що сприяє сталому розвитку сектору біоенергетики в Україні.

Ефективний екологічний моніторинг забезпечує можливість своєчасного коригування технологічних режимів, упровадження природоохоронних заходів, а також сприяє дотриманню екологічного законодавства та принципів сталого розвитку. У сучасній біоенергетиці зростає роль інтегрованих систем управління довкіллям, які поєднують функції контролю, прогнозування та адаптації до екологічних ризиків.

3.2 Системи екологічного управління на біоенергетичних підприємствах

У сучасних умовах глобального енергетичного переходу до відновлюваних джерел енергії, біоенергетичні підприємства відіграють важливу роль у забезпеченні енергетичної безпеки та сталого розвитку. Разом з цим, масштабне використання біомаси як сировини для енергетичних цілей вимагає впровадження ефективних систем екологічного управління, які забезпечують мінімізацію впливу на довкілля, дотримання екологічного законодавства та інтеграцію принципів екологічної відповідальності в усі виробничі процеси.

Система екологічного управління (СЕУ) – це сукупність організаційних структур, процедур, процесів та ресурсів, що використовуються для розробки, впровадження, моніторингу та вдосконалення екологічної політики підприємства. Вона охоплює всі етапи життєвого циклу продукції та технологічного процесу – від закупівлі сировини до утилізації відходів. Найбільш поширеною міжнародною моделлю є система екологічного

управління, що відповідає стандарту ISO 14001, яка передбачає систематичний підхід до виявлення, оцінки та зменшення екологічних ризиків [37].

На біоенергетичних підприємствах СЕУ впроваджується з урахуванням специфіки технологій, пов'язаних із переробкою органічної сировини, зокрема в процесах анаеробного зброджування, спалювання, піролізу або ферментації. Враховуючи потенційні ризики – утворення парникових газів, неприємних запахів, забруднення ґрунту та води, поводження з відходами – система управління повинна передбачати відповідні технічні та організаційні заходи.

Основними елементами ефективної СЕУ є:

Екологічна політика підприємства – формулювання чітких цілей і зобов'язань щодо охорони довкілля, які підтримуються вищим керівництвом.

Ідентифікація екологічних аспектів – виявлення усіх видів впливу підприємства на довкілля, наприклад, викиди забруднюючих речовин, утворення шуму, водоспоживання, генерація побічних продуктів ферментації тощо.

Оцінка екологічних ризиків – аналіз імовірності виникнення аварійних ситуацій, витоків біогазу, порушень у роботі очисних систем, з подальшою розробкою планів управління ризиками.

Розробка програм екологічного покращення – визначення конкретних заходів зі зменшення впливу, таких як впровадження технологій вторинного використання тепла, рекуперація газів, покращення очищення стічних вод тощо.

Моніторинг та вимірювання – регулярне проведення інструментальних вимірювань, ведення обліку викидів та витрат ресурсів, порівняння з нормативами.

Внутрішній аудит і аналіз ефективності – періодична перевірка функціонування СЕУ для виявлення недоліків та їх усунення.

Підготовка персоналу – навчання працівників принципам екологічної

безпеки, поводженню з небезпечними речовинами та реагуванню на аварійні ситуації.

Сучасні системи екологічного управління також базуються на принципах екодизайну, ресурсоефективності та циркулярної економіки. Наприклад, замість лінійної моделі «використав – утилізував», підприємства впроваджують замкнені цикли – перетворюють побічні продукти зброджування на органічні добрива або використовують очищену воду повторно в технічному процесі.

Важливим елементом є прозорість і комунікація з громадськістю. У рамках СЕУ підприємства публікують екологічні декларації, звіти про сталий розвиток, здійснюють консультації з місцевими громадами, що сприяє формуванню позитивного іміджу та підвищує довіру до біоенергетичних технологій.

У країнах ЄС та інших розвинених державах впровадження СЕУ є обов'язковою умовою для отримання ліцензій, доступу до "зеленого" фінансування або участі в програмах торгівлі викидами. В Україні тенденції також орієнтуються на адаптацію до європейських стандартів, зокрема через прийняття законів щодо інтегрованого дозволу на викиди (IED), принципу "забруднювач платить", а також участі у міжнародних ініціативах, як-от Глобальний екологічний фонд (GEF), програми UNEP та інші.

Поряд із технічними заходами значну увагу слід приділити вдосконаленню екологічного управління на підприємстві. Це передбачає системний підхід до організації екологічного моніторингу, підвищення обізнаності персоналу та комунікацію із зацікавленими сторонами.

Одним із ключових напрямів є впровадження автоматизованих систем моніторингу стану навколишнього середовища. Дані системи дозволять у реальному часі контролювати показники викидів у атмосферу, якість води та стан ґрунтів у зоні впливу підприємства. Автоматизація таких процесів сприятиме оперативному реагуванню на можливі відхилення та запобіганню аварійним ситуаціям [37].

Ще одним важливим елементом є розробка системи екологічного навчання для персоналу. Підвищення кваліфікації співробітників у сфері екологічних стандартів та технологій дозволить зменшити ризики людського фактора у виробничих процесах. Регулярне проведення тренінгів, семінарів та майстер-класів сприятиме формуванню екологічної культури на підприємстві.

Крім того, підприємство має посилити комунікацію із місцевими громадами та зацікавленими сторонами. Проведення інформаційних кампаній, публікація екологічних звітів та організація громадських обговорень дозволить забезпечити прозорість роботи підприємства, зменшити соціальну напругу та покращити взаємини з громадськістю.

Ще одним стратегічним напрямом є залучення фінансових інструментів для впровадження заходів екологічної безпеки. Зокрема, підприємство може скористатися грантами та державними програмами підтримки відновлюваної енергетики, а також ініціативами міжнародних екологічних організацій [38].

Рекомендації, викладені у цьому розділі, спрямовані на системне покращення екологічної безпеки виробництва біогазу. Поєднання технічних інновацій із вдосконаленням екологічного менеджменту дозволить підприємству не лише забезпечити відповідність екологічним стандартам, але й покращити економічні показники, підвищити довіру громадськості та зробити свій внесок у сталий розвиток регіону.

Ефективний екологічний менеджмент є ключовим інструментом забезпечення сталого функціонування підприємства «Біогаз Ладизин» в умовах зростаючих екологічних викликів та вимог національного й міжнародного природоохоронного законодавства. Вдосконалення системи екологічного менеджменту спрямоване на мінімізацію негативного впливу виробничої діяльності на довкілля, оптимізацію природокористування та підвищення рівня екологічної відповідальності підприємства.

Першочерговим заходом у цьому напрямі є впровадження системи екологічного менеджменту відповідно до стандарту ISO 14001. Цей міжнародний стандарт встановлює рамки для створення екологічної політики підприємства, визначення екологічних цілей і завдань, а також механізмів їх досягнення. Запровадження такого підходу дозволяє системно і послідовно контролювати вплив підприємства на навколишнє середовище, знижувати екологічні ризики, підвищувати ефективність використання ресурсів і покращувати взаємодію з контролюючими органами [39].

Однією з основних складових вдосконалення екологічного менеджменту є розробка та впровадження екологічної політики підприємства, яка повинна чітко визначати екологічні пріоритети, відповідальність керівництва та працівників, а також зобов'язання щодо дотримання екологічного законодавства та постійного вдосконалення екологічної діяльності. Політика має бути відкритою для громадськості, доступною для ознайомлення усім зацікавленим сторонам та постійно оновлюватись згідно з актуальними вимогами.

Важливим напрямом є також екологічна освіта та підвищення кваліфікації персоналу. Проведення регулярних тренінгів, семінарів та внутрішніх навчань з питань охорони навколишнього середовища, раціонального використання ресурсів, поводження з відходами та аварійного реагування дозволяє формувати екологічну свідомість серед працівників і забезпечує належне виконання екологічних норм у повсякденній діяльності підприємства.

Крім того, вдосконалення екологічного менеджменту передбачає впровадження систем моніторингу екологічних показників. Постійний контроль за викидами забруднюючих речовин, якістю повітря, ґрунтів, водних ресурсів, рівнем шуму та іншими факторами дає змогу оперативно виявляти проблеми та вживати коригувальних заходів. У цьому контексті доцільним є встановлення автоматизованих систем моніторингу, які

забезпечують своєчасну передачу даних у відповідні служби та дозволяють швидко реагувати на потенційні загрози.

Не менш важливою є практика екологічного аудиту, який слугує інструментом перевірки відповідності екологічної діяльності підприємства встановленим стандартам, виявлення «вузьких місць» у системі управління та формування рекомендацій щодо її вдосконалення. Проведення як внутрішніх, так і зовнішніх аудитів дає змогу оцінити ефективність реалізованих заходів та планувати подальші кроки з покращення екологічної ситуації на підприємстві.

Особливу увагу слід приділити розвитку системи екологічної звітності. Прозоре ведення документації, регулярна публікація екологічних звітів, відкритість до діалогу з громадськістю та екологічними організаціями сприяють підвищенню довіри до підприємства та зміцненню його репутації як екологічно відповідального суб'єкта господарювання.

У підсумку, вдосконалення екологічного менеджменту на підприємстві «Біогаз Ладизин» є багатовекторним процесом, що охоплює як організаційні, так і технічні, освітні та комунікаційні аспекти. Комплексна реалізація зазначених заходів дозволить не лише знизити антропогенне навантаження на довкілля, а й забезпечити стійкий розвиток підприємства у відповідності до принципів зеленої економіки.

Таким чином, система екологічного управління на біоенергетичних підприємствах є не лише інструментом контролю за впливом на довкілля, але й ефективним засобом оптимізації ресурсів, підвищення технологічної ефективності та конкурентоспроможності підприємства. Її впровадження – це вимога часу, що забезпечує збалансоване поєднання економічних інтересів та екологічної відповідальності у сфері відновлюваної енергетики.

3.3 Практичні аспекти екологічного моніторингу на прикладі ВП «Біогаз Ладизин»

Екологічна безпека є ключовим фактором для стабільного розвитку підприємств, які займаються виробництвом біогазу. Хоча така діяльність сприяє вирішенню важливих проблем з переробки відходів і скорочення викидів парникових газів, вона може супроводжуватися ризиками, пов'язаними із забрудненням навколишнього середовища. Тому для ВП «Біогаз Ладизин» актуальним є впровадження комплексних заходів, спрямованих на підвищення екологічної безпеки на всіх етапах виробництва біогазу.

Одним із ключових елементів підвищення екологічної безпеки є модернізація природоохоронного обладнання. Встановлення сучасних систем очищення дозволяє значно зменшити обсяги шкідливих викидів у атмосферу, ґрунти та водні об'єкти.

В умовах сучасного розвитку відновлюваної енергетики та зростаючої уваги до питань екологічної безпеки особливого значення набуває технічне вдосконалення процесів біоенергетичного виробництва. Для підприємства «Біогаз Ладизин» – одного з ключових об'єктів альтернативної енергетики у регіоні – модернізація технологічних процесів має на меті не лише підвищення енергоефективності, але й зменшення негативного впливу на довкілля.

Одним із головних напрямів технічного вдосконалення є оптимізація процесу анаеробного зброджування органічної сировини. Зокрема, доцільним є впровадження сучасних систем попередньої обробки біомаси, зокрема термічної, механічної або хімічної дезінтеграції. Такі заходи сприяють підвищенню ступеня розкладання органічних сполук, покращенню виходу біогазу та скороченню часу утримання сировини в реакторах. Інтеграція технологій термогідролізу або ультразвукової обробки дозволяє значно покращити доступність органічної маси для мікроорганізмів, що здійснюють ферментацію.

Важливим елементом є також автоматизація та цифровізація процесів управління біогазовими установками. Використання інтелектуальних систем

моніторингу та контролю за параметрами ферментації (температура, рН, вміст летких жирних кислот, концентрація метану в газовій суміші) дозволяє своєчасно реагувати на відхилення та запобігати технологічним збоям. Такі системи не лише забезпечують стабільність виробництва, а й мінімізують ризики викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Ще одним важливим аспектом є вдосконалення систем очищення біогазу. Біогаз, як відомо, містить домішки сірководню, аміаку та водяної пари, що при спалюванні можуть утворювати токсичні речовини та спричиняти корозію обладнання. Для забезпечення екологічної безпеки та довготривалої роботи когенераційних установок необхідно застосовувати сучасні системи глибокої очистки біогазу, зокрема сорбційні установки, біофільтри, мембранні технології. Це дозволить покращити якість газу до рівня природного метану, а також зменшити обсяги шкідливих викидів.

Особливу увагу слід приділити також питанням управління залишками після ферментації – дигестатом. Удосконалення систем дегідратації та стабілізації залишків, зокрема використання центрифуг або вакуумного сушіння, дозволяє отримати добрива, придатні для аграрного використання без загрози вторинного забруднення довкілля. Для цього доцільно впроваджувати технології знезараження та стандартизації добрив, що підвищить рівень екологічної безпеки та економічної доцільності використання дигестату.

Також варто розглянути можливість інтеграції біоенергетичного комплексу з іншими виробничими об'єктами – наприклад, тваринницькими комплексами або агропереробними підприємствами. Така кооперація дозволяє ефективно використовувати органічні відходи, скорочувати логістичні витрати та формувати замкнені цикли ресурсокористування.

Загалом, технічне вдосконалення процесів на підприємстві «Біогаз Ладизин» повинно базуватись на принципах енергоефективності, екологічної безпеки, інноваційності та сталого розвитку. Впровадження вищезазначених заходів дозволить не лише зменшити екологічне

навантаження на навколишнє середовище, а й підвищити економічну результативність діяльності підприємства, зміцнивши його позиції на ринку відновлюваної енергетики.

Розробка систем очищення викидів в атмосферу є невід'ємною складовою екологічної політики підприємства. Вона включає встановлення сучасних фільтрів, скрубєрів та адсорбційних колон, які забезпечують ефективне уловлювання та нейтралізацію забруднюючих речовин. Крім того, варто розглянути можливість впровадження систем моніторингу якості повітря, що дозволить оперативно реагувати на можливі перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин. Інтеграція автоматизованих систем контролю сприятиме підвищенню ефективності екологічного менеджменту.

Загалом, комплексний підхід до очищення викидів в атмосферу дозволить мінімізувати негативний вплив біогазового виробництва на навколишнє середовище та забезпечить стає функціонування підприємства

Ефективна утилізація відходів виробництва є важливим елементом екологічної політики підприємства та невід'ємною складовою сталого розвитку. Для ВП «Біогаз Ладижин» це означає не лише мінімізацію негативного впливу на довкілля, але й створення додаткових можливостей для підвищення економічної ефективності діяльності.

Одним із ключових напрямів є впровадження сучасних технологій переробки побічних продуктів біогазового виробництва, зокрема дигестату. Створення повноцінної системи його обробки передбачає встановлення обладнання для сушіння, гранулювання та пакування отриманого матеріалу. У результаті перероблений дигестат може бути використаний як високоякісне органічне добриво, яке має попит у сільському господарстві. Такий підхід не лише мінімізує екологічні ризики, пов'язані із надмірним накопиченням відходів, а й сприяє формуванню додаткового джерела доходу для підприємства.

Ще одним важливим аспектом є запровадження ефективної системи очищення стічних вод, що утворюються під час виробничого процесу. Використання мембранних технологій фільтрації, методів біологічного очищення та хімічної обробки дозволяє досягти високого рівня очищення перед поверненням води до природних водних об'єктів. Дотримання екологічних норм і стандартів у цій сфері є запорукою збереження водних ресурсів та підтримання репутації підприємства як екологічно відповідального виробника.

Не менш важливою є організація належної інфраструктури для збору, транспортування та зберігання відходів. Для цього доцільно використовувати герметичні резервуари для тимчасового зберігання дигестату, що унеможливорює витіки та потрапляння небезпечних речовин у навколишнє середовище. Крім того, підприємству варто застосовувати спеціалізовані транспортні засоби, обладнані системами запобігання розливам, для безпечного перевезення відходів до місць подальшої обробки або утилізації.

Оцінка ефективності впроваджених заходів має здійснюватися на основі регулярного моніторингу та аудиту екологічної безпеки. Аналіз показників викидів, якості стічних вод, обсягів переробленого дигестату та економічних результатів дозволить визначити ступінь ефективності реалізованих рішень і своєчасно вносити корективи до екологічної стратегії підприємства.

Таким чином, комплексний підхід до утилізації відходів не лише сприяє зниженню екологічних ризиків, а й відкриває нові можливості для розвитку ВП «Біогаз Ладижин», поєднуючи екологічну відповідальність із економічною вигодою.

4 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОПТИМІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРАДИЦІЙНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

4.1 Визначення параметрів природоохоронних систем та обладнання

Методика вибору природоохоронного обладнання для енергетичних підприємств. Сучасні енергетичні підприємства, особливо ті, що працюють на твердому паливі, є одними з основних джерел забруднення атмосферного повітря. У процесі спалювання вугілля, мазуту чи інших видів палива утворюються значні обсяги газопилових викидів, які містять сірчисті та азотисті сполуки, тверді частинки, важкі метали та інші шкідливі домішки. Тому підбір ефективного природоохоронного обладнання є важливим завданням при проектуванні нових або реконструкції існуючих енергетичних об'єктів.

Вибір технології очищення залежить від характеру викидів, кількості газів, що утворюються, їх температури, концентрації пилу, хімічного складу домішок, а також від вимог до ступеня очищення відповідно до чинного природоохоронного законодавства. На першому етапі здійснюється аналіз вхідних параметрів: визначаються об'ємні витрати забрудненого газу, склад і фракційний розподіл пилу, умови експлуатації (температура, вологість), а також наявність агресивних домішок, що можуть впливати на матеріали обладнання.

Наступним етапом є попередній вибір типу газоочисного пристрою. Для очищення від твердих частинок можуть використовуватись механічні пилоуловлювачі (наприклад, циклони), апарати з мокрим очищенням (скрубери, пінні апарати), фільтри (рукавні або касетні), електрофільтри. Кожен з цих типів має свої переваги та обмеження: циклони ефективні для крупнодисперсного пилу та мають низькі експлуатаційні витрати; мокрі апарати краще вловлюють дрібнодисперсні частинки, але потребують подальшої утилізації стічних вод; електрофільтри демонструють високу

ефективність, проте мають складну конструкцію і потребують стабільного електроживлення.

Після визначення типу обладнання виконується технічний розрахунок апарата: підбираються його геометричні параметри, визначається гідравлічний опір, ефективність очищення, а також очікувані енергетичні витрати. Важливим є забезпечення стабільної та безперебійної роботи газоочисної установки, тому враховуються можливі коливання технологічних навантажень, сезонні зміни умов експлуатації та особливості компонування обладнання в межах підприємства.

У процесі вибору також беруться до уваги економічні аспекти: капітальні та експлуатаційні витрати, вартість монтажу та обслуговування, строк служби обладнання, можливість автоматизації та модернізації системи в майбутньому. Крім того, враховується екологічна ефективність у довгостроковій перспективі – тобто, здатність системи зменшити забруднення до нормативного рівня без перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) для викидів.

Таким чином, методика вибору природоохоронного обладнання базується на комплексному аналізі технічних, технологічних, економічних та екологічних факторів. Її дотримання дозволяє забезпечити ефективне очищення викидів енергетичних підприємств та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище відповідно до вимог сталого розвитку.

Одним із найпоширеніших способів очищення газів від твердих частинок є використання механічних пиловловлювачів, зокрема циклонів. Ці апарати прості в експлуатації, надійні та ефективні при вловлюванні частинок середнього та великого розміру. Основний принцип їхньої роботи полягає у використанні відцентрової сили для осадження пилу із потоку газу. Ефективність циклона залежить від його геометричних параметрів, швидкості потоку, фізичних характеристик газу та частинок пилу.

Розрахунок параметрів циклона є необхідним етапом для забезпечення його оптимальної роботи. Він дозволяє визначити діаметр апарата,

гідравлічний опір, фактичну швидкість потоку, ступінь очищення та інші важливі характеристики. З метою підтвердження відповідності циклона заданим умовам очищення викидів, далі проведено інженерний розрахунок для циклона типу ЦН-24 (рисунок 4.1).

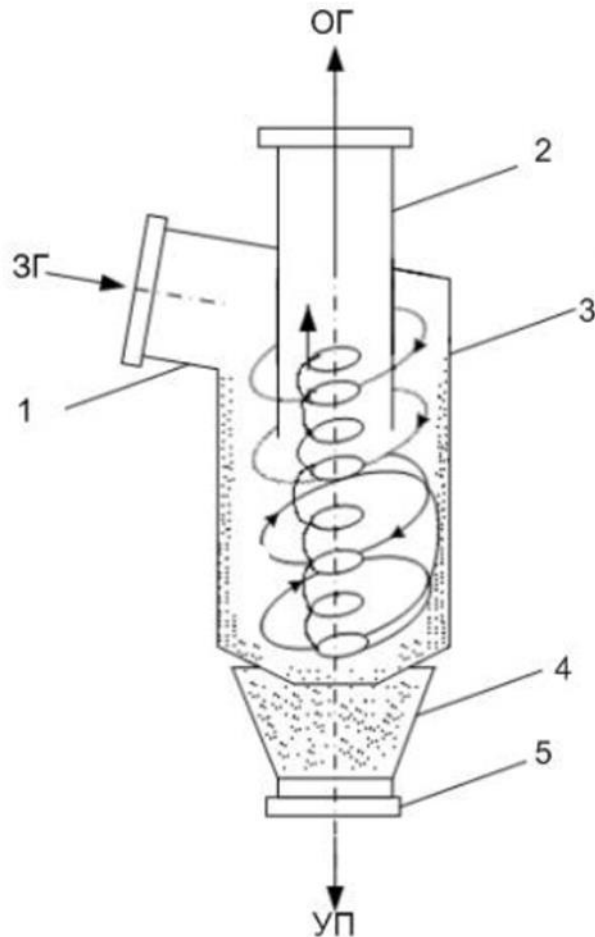


Рисунок 4.1 – Схема циклона типу ЦН – 24: 1 – вхідний патрубок; 2 – вихлопна труба; 3 – корпус; 4 – пилоосаджувальний бункер; 5 – пиловий затвор.

Вихідні дані:

- тип циклону: ЦН-24;
- об'єм газу, що очищується, Q , м³/год;
- густина газу за робочих умов ρ , кг/м³ ;
- в'язкість газу при робочій температурі μ , Па·с;

- дисперсний склад пилу d_{50} ;
- вхідна концентрація пилу $C_{вх}$, г/м³ ;
- необхідна ефективність очищення η .

На практиці прийнятий ряд стандартних значень внутрішнього діаметра циклонів D_T , мм: 150, 200, 300, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400, 3000.

Розрахунки циклонів проводять методом послідовних наближень.

Таблиця 4.1 – Вхідні дані

Тип циклона	Оптимальна швидкість руху газу $v_{опт}$	Об'єм газу, (Q) м ³ /с	Концентрація пилу ($C_{вх}$), г/м	Густина газу (ρ_r), кг/м ³	Густина газу (ρ_n), кг/м ³	В'язкість газу, ($\mu \cdot 10^6$), Па * с	Ефективн. Очищення (η)
ЦН-24	4,5	0,6	23,269	1,293	2200	$0,0173 \times 10^{-3}$	0,85

Розрахунок.

1. Розраховуємо діаметр циклона за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_{опт}}} = \sqrt{\frac{4 * 0,6}{3,14 * 4,5}} = 0,41 \text{ м}$$

D_T приймаємо 400 мм.

2. Розраховуємо дійсну швидкість потоку в циклоні:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2 n} = \frac{4 * 0,6}{3,14 * 0,4^2 * 1} = 4,8 \text{ м/с}$$

Значення v не повинне відхилятися від $v_{опт}$ більше ніж на 15 %.

$$x = 4,8 * 100 / 4,5 = 10,6 \%$$

3. Розраховуємо коефіцієнт гідравлічного опору:

$$R = k_1 k_2 R_{500} + k_3$$

де k_1 і k_2 - поправкові коефіцієнти, що залежать від D , $C_{вх}$ і типу циклона (де $k_1 = 1,0$, $k_2 = 0,93$);

k_3 — коефіцієнт, що враховує додаткові втрати тиску, пов'язані з компонуванням циклонів в групу (для одиночних циклонів $k_3 = 0$)

R_{500} - коефіцієнт гідравлічного опору при $D_T = 500$ мм ($R_{500} = 80$).

$$R = 1 * 0,93 * 80 = 74,4$$

4. Розраховуємо значення гідравлічного опору:

$$\Delta P = P_{вх} - P_{вих} = 0,5R \cdot \rho_z \cdot v^2 = 0,5 * 74,4 * 1,293 * 4,8^2 = 1108$$

5. Визначаємо ефективність очищення:

$$\eta = 0,5 (1 + \Phi(x))$$

де $\Phi(x)$ – таблицна функція параметра x ($x = 0,59$);

Параметр x можна знайти наступним чином:

$$x = \frac{\lg(d_{50} / d_{50}^T)}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_\psi}}$$

де $\lg \sigma_\eta$ - дисперсія функції фракційної ступеня очищення $\eta(d) = 0,308$;

$\lg \sigma_\psi$ - ступінь полідисперсності пилу $= 0,422$.

6. Значення d_{50} визначаємо за формулою:

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\frac{D}{D_T} \frac{\rho_\psi^T}{\rho_\psi} \frac{\mu}{\mu_T} \frac{\omega_T}{\omega}}$$

де індекс "Т" означає стандартні умови роботи типового циклону:

- $d_{50}^T = 8,50$ мкм ;
- діаметр циклону $D_T = 0,5$ м;
- середня швидкість газу у циклоні $\omega_T = 3,5$ м/с;
- густина частинки $\rho_\psi^T = 1930$ кг/м³;
- динамічна в'язкість газу $\mu_T = 0,0173 \times 10^{-3}$ Па·с.

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\frac{0,5 * 1930 * 0,022 \times 10^{-3} * 3,5}{0,04 * 2200 * 0,0173 * 10^{-3} * 4,8}} = 3,2$$

$$x = \frac{\lg(3,2/8,50)}{\sqrt{0,308^2 + 0,422^2}} = 0,81$$

$$\eta = 0,5 (1 + 0,59) = 0,8$$

У результаті виконання практичної роботи проведено повний технічний розрахунок циклона типу ЦН-24 для заданих умов. Встановлено оптимальний діаметр апарата – 400 мм, що відповідає допустимому відхиленню фактичної швидкості газового потоку (10,6% від v_{opt}).

Розраховано гідравлічний опір циклона ($\Delta P \approx 1108$ Па), що підтверджує правильність вибору розмірів та параметрів потоку. За допомогою методики визначення ефективності очищення та врахування дисперсного складу пилу встановлено, що ефективність очищення становить $\eta \approx 0,8$, що близьке до заданого значення 0,85.

Таким чином, обраний циклон забезпечує необхідну ступінь очищення газів при прийнятних енергетичних витратах і може бути рекомендований для використання в умовах подібного виробництва. Отримані результати підтверджують практичну ефективність механічних пиловловлювачів у системах промислової очистки викидів та доцільність їхнього застосування при проектуванні очисних споруд.

Оцінка ефективності природоохоронних технологій на енергетичних підприємствах повинна включати не лише екологічні, а й енергетичні та економічні аспекти. Це пояснюється тим, що впровадження очисного обладнання має бути технічно доцільним, енергоефективним та фінансово виправданим у довгостроковій перспективі.

Показники енергоспоживання та витрат безпосередньо впливають на собівартість виробництва енергії та загальну рентабельність підприємства.

Енергетична ефективність природоохоронних технологій визначається кількістю енергії, яка витрачається на очищення одиниці об'єму забрудненого газу. Наприклад, електрофільтри потребують живлення для створення електричного поля, яке забезпечує осадження пилових частинок. В середньому вони споживають від 0,5 до 1,5 кВт·год на 1000 м³ газу залежно від конструкції та умов експлуатації (табл. 3.1). Механічні циклони, навпаки, не потребують додаткової енергії для процесу осадження, однак спричиняють втрати тиску, що призводить до додаткових витрат на

перекачування повітря вентилятором. Водні скрубери вимагають енергії для подачі рідини та створення відповідного тиску, а також передбачають витрати на водоочистку та утилізацію відходів.

Таблиця 4.2 – Порівняльна характеристика ефективності природоохоронних технологій:

Тип обладнання	Ефективність очищення (%)	Енергоспоживання (кВт·год/1000 м³)	Капітальні витрати	Експлуатаційні витрати (рік)
Циклон	85	0.1	50	10
Скрубер	90	0.5	70	25
Електрофільтр	99.5	1.2	120	35
Рукавний фільтр	99	1.0	100	30

З економічної точки зору важливо оцінити як капітальні витрати на закупівлю та монтаж обладнання, так і експлуатаційні витрати, що включають енергоносії, технічне обслуговування, витратні матеріали, заробітну плату обслуговуючого персоналу тощо. При порівнянні альтернативних варіантів газоочисного обладнання застосовується метод техніко-економічного аналізу, зокрема розрахунок терміну окупності інвестицій, чистого дисконтованого доходу (NPV), внутрішньої норми прибутковості (IRR), а також показника питомих витрат на одиницю очищеного газу.

Доцільність впровадження певної технології залежить також від рівня досягнутої ефективності очищення. У випадку, якщо обладнання забезпечує високий ступінь уловлювання пилу (понад 99%), але при цьому витрати на його експлуатацію перевищують допустимі межі, доцільно розглядати комбіновані схеми очищення або модернізацію існуючих систем. Крім того, важливо враховувати штрафи та витрати, пов'язані з недотриманням екологічних норм, які можуть значно перевищувати вартість впровадження ефективної системи газоочистки.

Економічна ефективність також визначається вторинними вигодами, такими як можливість повторного використання вловлених матеріалів

(наприклад, золи для виробництва будівельних матеріалів), зменшення зносу основного обладнання завдяки зниженню концентрації абразивних частинок у потоках, а також покращення іміджу підприємства як екологічно відповідального.

У підсумку, при виборі та впровадженні природоохоронних технологій на енергетичних підприємствах необхідно враховувати комплекс енергетичних та економічних показників. Раціональний підхід дозволяє не лише зменшити техногенне навантаження на довкілля, але й оптимізувати витрати підприємства, підвищуючи його конкурентоспроможність у ринкових умовах.

4.2. Інноваційні підходи та найкращі доступні технології підвищення енергоефективності та зниження впливу на довкілля у традиційному виробництві

Методика ресурсоефективного та чистого виробництва (РЕЧВ) визначає вісім основних підходів, які дозволяють класифікувати технічні та організаційні заходи.

Підходи РЕЧВ:

1. Належне ведення господарської діяльності – це регулярне здійснення заходів для підтримки робочого стану приміщень і обладнання, а також забезпечення комфортних умов праці для персоналу. Цей підхід передбачає своєчасне обслуговування та ремонт виробничих систем, раціональне використання матеріальних і трудових ресурсів, що дозволяє без додаткових витрат підвищувати ефективність виробництва.

2. Заміна сировини та матеріалів – передбачає використання вторинних ресурсів або менш токсичних і шкідливих речовин у процесі виробництва. Такий підхід сприяє зниженню кількості відходів та покращенню екологічних характеристик продукції, що в підсумку підвищує продуктивність і зменшує вплив на навколишнє середовище.

3. Посилення контролю технологічних процесів – полягає у впровадженні заходів для більш точного контролю та моніторингу технологічних показників на всіх етапах виробництва. Це забезпечує швидке реагування на відхилення у витратах матеріалів, енергії чи води, а також дає змогу оптимізувати виробничі процеси.

4. Використання сучасного обладнання – постійне вдосконалення, оновлення та модернізація обладнання та технологічної бази підприємства. Це необхідно для підвищення ефективності виробництва та зменшення витрат ресурсів, що стосується як окремих ділянок, так і цілісних виробничих ліній.

5. Оптимізація технологічних параметрів – передбачає зміну способів обробки сировини чи управління процесами без зниження якості продукції. Наприклад, це може включати регулювання температури, тиску чи режимів роботи обладнання для досягнення кращих результатів.

6. Покращення переробки та повторного використання ресурсів – означає проведення технологічних операцій, які змінюють властивості відходів і дозволяють використовувати їх повторно або повертати у виробничий цикл.

7. Виробництво супутньої продукції з відходів – це створення нової продукції на основі відходів, що підвищує економічну ефективність виробництва, на відміну від їх звичайної утилізації.

8. Підвищення якості продукції – зміни, які спрямовані на покращення характеристик виробів, підвищення їхньої екологічної та економічної цінності. Це може включати зміни зовнішнього вигляду, вдосконалення способів утилізації та продовження терміну служби виробів.

Основні технічні заходи та інноваційні підходи, які демонструють найвищу ефективність у сфері енергозбереження та сталого виробництва.

Найкращі доступні технології для підвищення ефективності використання енергії:

- Оптимізація горіння. Заходи, вжиті для максимізації ефективності перетворення енергії в печі за мінімізації викидів (зокрема CO). Це досягається за допомогою поєднання методів, включаючи належний дизайн печі, оптимізацію температури (наприклад, ефективне змішування палива та повітря для згоряння) та часу перебування в зоні горіння, а також використання автоматизації печі та управління нею.

- Автоматизація печі та управління нею. Процес нагрівання оптимізовано за допомогою комп'ютерної системи, що контролює в режимі реального часу ключові параметри, такі як температура печі та сировини, співвідношення повітря та палива, а також тиск у печі.

- Система управління технологічними газами. Система, що допомагає направляти гази від металургійного процесу, залежно від їх наявності, до печей нагрівання вхідних матеріалів (шихти).

- Регенеративні пальники складаються з двох пальників, які працюють по черзі та містять шари з вогнетривких або керамічних матеріалів. Поки працює один пальник, тепло відхідних газів поглинається вогнетривкими або керамічними матеріалами іншого пальника, а потім використовується для попереднього нагрівання повітря дуття.

- Попереднє нагрівання повітря дуття. Повторне використання частини тепла, що виділяється з відхідних газів для попереднього нагрівання повітря, що використовується при згорянні, тобто повітря дуття.

- Рекуперативні пальники використовують різні типи рекуператорів (наприклад, теплообмінники з радіаційною, конвекційною, компактною або променистою конструкцією труб) для безпосереднього відновлення тепла з відхідних газів, які потім використовуються для попереднього нагрівання повітря, що потрапляє в зону горіння.

- Котел для утилізації відпрацьованого (вторинного) тепла. Тепло від гарячих димових газів використовується для утворення пари з використанням котла для утилізації відпрацьованого (вторинного) тепла. Утворена пара використовується в інших процесах виробничої установки,

для постачання тепла до централізованого опалення або для виробництва електроенергії на електростанції.

Технології для зниження викидів у воду:

- Адсорбція. Видалення розчинних речовин (розчинених речовин) зі стічних вод шляхом перенесення їх на поверхню твердих високопористих частинок (як правило, активованого вугілля).

- Аеробна обробка. Біологічне окислення розчинених органічних забруднювачів киснем за допомогою метаболізму мікроорганізмів. У присутності розчиненого кисню, що вводиться у вигляді повітря або чистого кисню, органічні компоненти мінералізуються у вуглекислий газ і воду або перетворюються на інші метаболіти та біомасу.

- Хімічне осадження. Перетворення розчинених забруднювальних речовин у нерозчинні сполуки шляхом додавання хімічних осаджувачів. Тверді осади, що утворюються, згодом відокремлюються седиментацією, повітряною флотацією або фільтрацією. За необхідності це може супроводжуватися мікрофільтрацією або ультрафільтрацією. Для осадження фосфору використовують багатовалентні іони металів (наприклад, кальцій, алюміній, залізо).

- Хімічне відновлення. Перетворення забруднювальних речовин за допомогою хімічних відновлювальних речовин на подібні, але менш шкідливі або небезпечні сполуки.

- Коагуляція та флокуляція використовуються для відокремлення зважених твердих частинок від стічних вод і часто проводяться послідовно. Коагуляція проводиться додаванням коагулянтів із зарядами, протилежними тим, які є у зважених твердих частинок. Флокуляція проводиться шляхом додавання полімерів, щоб зіткнення мікрофлокулюючих частинок змушувало їх зв'язуватись і утворювати більші продукти флокуляції (нетривкі пухкі агрегати невизначеної форми з дрібних частинок дисперсної фази).

- Вирівнювання. Балансування потоків і навантажень забруднювальних речовин на вході до остаточного очищення стічних вод за допомогою

центральної резервуарів. Вирівнювання може бути децентралізоване або здійснене з використанням інших методів управління.

- Фільтрація. Спосіб відділення твердих частинок від стічних вод, завдяки їхньому проходженню через пористе середовище, наприклад піщана фільтрація, мікрофільтрація та ультрафільтрація.

- Флотація. Спосіб відділення твердих або рідких частинок від стічних вод шляхом приєднання їх до дрібних бульбашок газу, як правило, повітря. Плавучі частинки накопичуються на поверхні води і збираються черпаком для зняття частинок.

- Нанофільтрація. Процес фільтрації, при якому використовуються мембрани з розмірами пор приблизно 1 нм.

- Нейтралізація. Регулювання рівня рН стічних вод до нейтрального рівня (близько 7) за допомогою додавання хімічних речовин. Для підвищення рівня рН зазвичай використовують гідроксид натрію (NaOH) або гідроксид кальцію (Ca(OH)_2), тоді як для зниження рівня рН зазвичай використовують сульфатну (сірчану) кислоту (H_2SO_4), хлоридну (соляну) кислоту (HCl) або вуглекислий газ (CO_2). Під час нейтралізації можуть випадати опади деяких речовин.

- Фізична сепарація. Сепарація (відділення) твердих речовин загалом, зважених твердих частинок, частинок металів зі стічних вод за допомогою, наприклад, екранів, сит, уловлювачів металевої стружки, сепараторів жиру, гідроциклонів, сепарації води від нафтопродуктів або первинних відстійників.

- Зворотний осмос. Мембранний процес, при якому різниця тиску, що застосовується до відсіків, відокремлених мембраною, змушує воду текти з більш концентрованого розчину до менш концентрованого.

- Седиментація. Сепарація зважених частинок та зваженого матеріалу шляхом гравітаційного осадження.

Впровадження найкращих доступних технологій (НДТ) у сфері енергетики є одним із ключових інструментів досягнення цілей сталого

розвитку, підвищення ресурсоефективності та екологічної безпеки виробництва. Застосування таких рішень, як оптимізація процесів горіння, автоматизація управління технологічними параметрами, повторне використання тепла та впровадження регенеративних і рекуперативних систем, дозволяє суттєво знизити витрати енергії, зменшити викиди парникових газів і поліпшити загальну екологічну ситуацію на підприємствах.

Так само важливими є сучасні методи очищення стічних вод, серед яких – адсорбція, аеробна обробка, хімічне осадження, фільтрація, зворотний осмос та інші. Їх застосування забезпечує ефективне зменшення вмісту шкідливих речовин у промислових стоках, що вкрай важливо для збереження водних екосистем та дотримання екологічного законодавства.

Ключовим аспектом ефективного впровадження зазначених технологій є інтегрований підхід на основі методики ресурсоефективного та чистого виробництва (РЕЧВ), яка охоплює технічні, організаційні та управлінські рішення. Саме поєднання технічного оновлення, грамотного управління ресурсами та системного екологічного контролю забезпечує найбільш сталий і результативний розвиток підприємств в умовах сучасних викликів.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження було всебічно проаналізовано вплив енергетичної галузі на навколишнє середовище та здоров'я людини, зосереджено увагу на особливостях біоенергетичного виробництва як перспективної та відносно екологічно безпечної альтернативи традиційним джерелам енергії, а також розглянуто систему екологічного моніторингу та управління на прикладі діяльності виробничого підрозділу «Біогаз Ладижин».

За результатами першого розділу встановлено, що традиційна енергетика, особливо теплова, має значний негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я населення. Основними джерелами забруднення є викиди продуктів згоряння, зокрема CO₂, NO_x, SO_x, а також зольні залишки. Було розкрито, як ці викиди впливають на стан атмосфери, води, ґрунтів, а також викликають низку респіраторних і серцево-судинних захворювань серед людей.

У другому розділі розглянуто біоенергетику як перспективний напрям екологізації енергетичного виробництва. Проаналізовано технологію виробництва біогазу, зокрема з відходів птахівництва, на прикладі ВП «Біогаз Ладижин». Дослідження доводить, що біоенергетика сприяє зменшенню викидів, вирішує проблему утилізації органічних відходів та має високий потенціал економічної доцільності й енергетичної незалежності.

У третьому розділі проаналізовано систему екологічного моніторингу та управління на біоенергетичних підприємствах. Встановлено, що ефективне функціонування таких підприємств неможливе без постійного контролю викидів, стану технологічного процесу та реагування на потенційні екологічні ризики. Розглянутий приклад ВП «Біогаз Ладижин» підтвердив, що впровадження сучасних автоматизованих систем управління доцільними аспектами дозволяє підвищити рівень екологічної безпеки.

У четвертому розділі запропоновано інноваційні технічні рішення та організаційні заходи для підвищення екологічної безпеки традиційної енергетики. Зокрема, акцент зроблено на впровадженні найкращих доступних технологій (BAT), модернізації обладнання, оптимізації горіння, рекуперації тепла та зниженні викидів у воду й атмосферу. Реалізація цих заходів може суттєво покращити екологічну ситуацію без втрати енергетичної ефективності.

Загалом, у роботі підтверджено, що трансформація енергетичного сектору України вимагає системного підходу до зниження негативного впливу на довкілля. Біоенергетика є реальним інструментом сталого розвитку, а її впровадження у поєднанні з модернізацією традиційних потужностей – запорука екологічної безпеки, енергетичної незалежності та виконання міжнародних зобов'язань України в екологічній сфері.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Самойленко І. О. Характеристика паливно-енергетичного комплексу України: конспект лекцій до вивчення базових тем дисципліни (для студентів 3 курсу денної і заочної форми навчання за напрямом підготовки 0502 (6.030601) – «Менеджмент») / І. О. Самойленко. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 132 с.
2. Хоменко І. В., Плахтій О. А., Нерубацький В. П., Стасюк І. В. Електроенергетика України. Структура, керування, інновації: монографія. – Харків: НТУ «ХПІ», ТОВ «Планета-Прінт», 2020. – 132 с.
3. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття / під заг. ред. А. К. Шидловського, М. П. Ковалка. – Київ: Українські енциклопедичні знання, 2001. – 400 с.
4. Управління енерговикористанням: збірник доповідей / під заг. ред. д-ра техн. наук, проф. А. В. Праховника. – Київ: Альянс за збереження енергії, 2001. – 568 с.
5. Сердюк О. С. Сучасний стан та перспективи розвитку українських ТЕС / О. С. Сердюк // Економічний вісник Донбасу. – 2016. – № 4. – С. 4–10.
6. Eskin N., Hepbasli A. Development and Applications of Clean Coal Fluidized Bed Technology // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 2006. – Vol. 28, № 12. – P. 1085–1097. DOI: 10.1080/10407780600622778.
7. Cetin B., Abacioglu M. Economic Analysis for Rebuilding of an Aged Pulverized Coal-Fired Boiler with a New Boiler in an Aged Thermal Power Plant // Advances in Mechanical Engineering. – 2013. – URL: <https://doi.org/10.1155/2013/270159>.
8. Jayasinghe K.T. Performance Comparisons on Post Combustion Flue Gas Control Systems in Locally Available Power Plants // Engineer: Journal of the

Institution of Engineers, Sri Lanka. – 2018. – Vol. 51, № 4. – P. 47–56. DOI: <http://doi.org/10.4038/engineer.v51i4.7313>.

9. George K. V., Manjunath S., Rao C. V. Chalapati, Bopche A. M. Cyclone as a precleaner to ESP – a need for Indian coal based thermal power plants // *Environmental Technology*. – 2003. – Vol. 24, № 11. – P. 1425–1430. DOI: 10.1080/09593330309385686.

10. Cui L., Li Y. та ін. Integrated assessment of the environmental and economic effects of an ultra-clean flue gas treatment process in coal-fired power plant // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 199. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.07.174.

11. Spörl R., Walker J., Belo L., Shah K., Stanger R., Maier J., Wall T., Scheffknecht G. SO₃ Emissions and Removal by Ash in Coal-Fired Oxy-Fuel Combustion // *Energy & Fuels*. – 2014. – Vol. 28, № 8. – P. 5296–5306. DOI: 10.1021/ef500806p.

12. Батальцев Є. В., Пляцук Л. Д. Підвищення екологічної безпеки теплових електростанцій за рахунок технології газифікації вугілля // *Екологічна безпека*. – 2012. – № 2. – С. 90–92.

13. Air Pollution. World Health Organization. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1.

14. Desonie D. Atmosphere: Air Pollution and Its Effects. – New York: Infobase Publishing, 2007.

15. Nazar W., Niedozytko M. Air Pollution in Poland: a 2022 narrative review with focus on respiratory diseases // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – Vol. 19, № 2. – Article 895. DOI: 10.3390/ijerph19020895.

16. Ambient (outdoor) air pollution. World Health Organization. – 2022. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).

17. Development through sustainable enterprise. The Social and Economic Council. – 2011. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ser.nl/en/publications>.
18. Державна служба статистики України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
19. Енергетика в агросекторі. Як заробити на відходах? – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agropolit.com/spetsproekty/292-energetika-v-agrosektori-yakzarobiti-na-vidhodah>.
20. Сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/>.
21. Outlook for Biogas and Biomethane: Prospects for Organic Growth. – Paris: International Energy Agency (IEA), 2020. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iea.org>.
22. Журнал Пропозиція. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.propozitsiya.com/?page=149&itemid=2985&number=98>.
23. Інноваційні ресурсозберігаючі технології: ефективність в умовах різного фінансового стану агроформувань: монографія / за ред. проф. Г. Є. Мазнева. – Харків: Майдан, 2014. – 592 с.
24. Інноваційні аспекти виробництва біопалива в Україні: стан, проблеми, перспективи. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/portal/chem_biol/nvnau/2009_142_1/09sva.pdf.
25. Директива 2009/28/ЄС Європейського Парламенту та Ради про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ips.ligazakon.net/document/MU09267>.
26. Кармелюк Т. Міфи і факти про біоенергію. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bellona.org/news/ukraine/2017-06-mify-i-fakty-pro-bioenerhiyu>.

27. Гадзало Я. 8 млн га придатні для енергетичних рослин. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://naas.gov.ua/news/?ELEMENT_ID=4466.

28. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas.pdf>.

29. Денисенко В. О. Зарубіжний досвід стимулювання розвитку біоенергетики // Ефективна економіка. – 2020. – № 11. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8344>.

30. Біоенергетика у 2023 році: глобальний статистичний звіт Всесвітньої біоенергетичної асоціації (WBA). SAF Україна. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://saf.org.ua/news/1825/>.

31. Біоенергетика вийшла у лідери серед європейських роботодавців у галузі ВДЕ. Українська ENERGETYKA. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/sektor-biomasy-ie-naibilshym-robotodavtsem-v-sferi-vde-v-yes> (дата звернення: 28.11.2023).

32. Біоенергетика в ЄС у 2023 році. UABIO. URL: <https://uabio.org/news/uabio-news/15633/> (дата звернення: 19.11.2023).

33. Безус В. Біоенергетичні кластери: рецепт сталого розвитку міст. Економічна правда. 2023. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/01/25/696334/> (дата звернення: 21.11.2023).

34. Як найбільша вугільна ТЕС західної Європи переходить на біомасу. Elektrovesti.net. 2018. URL: https://elektrovesti.net/62520_yak-naybilsha-vugilna-tes-zakhidnoi-evropi-perekhodit-na-biomasu (дата звернення: 12.12.2023).

35. Крамар В. Використання твердої біомаси як палива на ТЕЦ і ТЕС. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2023/11/5.-Kramar-V.-G.-Vykorystannya-tverdoyi-biomas-yak-palyva-na-TETS-i-TES.pdf> (дата звернення: 19.11.2023).

36. Гелету́ха Г. Глоба́льні перспекти́ви біоенергети́ки. Економі́чна пра́вда. 2021. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/09/1/677373/> (дата звернення: 16.10.2023).

37. Energy & Climate Intelligence Unit. Biogas and Net Zero: Decarbonising the Energy Sector. London: ECIU, 2020. URL: <https://eciu.net>

38. European Biogas Association. Annual Report 2022. Brussels: EBA, 2022. URL: <https://www.europeanbiogas.eu>.

39. ДСТУ ISO 14001:2015 Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14001:2015, IDT).

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Аналіз екологічних аспектів розвитку біоенергетичної галузі України на прикладі «Біогаз Ладизин»

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Підрозділ кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
системою StrikePlagiarism 14,28 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

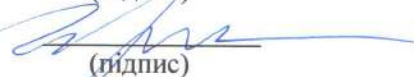
У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

зав. каф. ЕХТЗД Іщенко В.А.
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

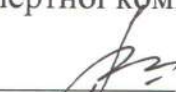
доц. каф. ЕХТЗД Васильківський І.В.
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Матусяк М.В.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник 

Полив'янчук А. П.

Здобувач 

Міщук О. В.

ДОДАТОК Б

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ РОЗВИТКУ БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ НА ПРИКЛАДІ ВП «БІОГАЗ ЛАДИЖИН»

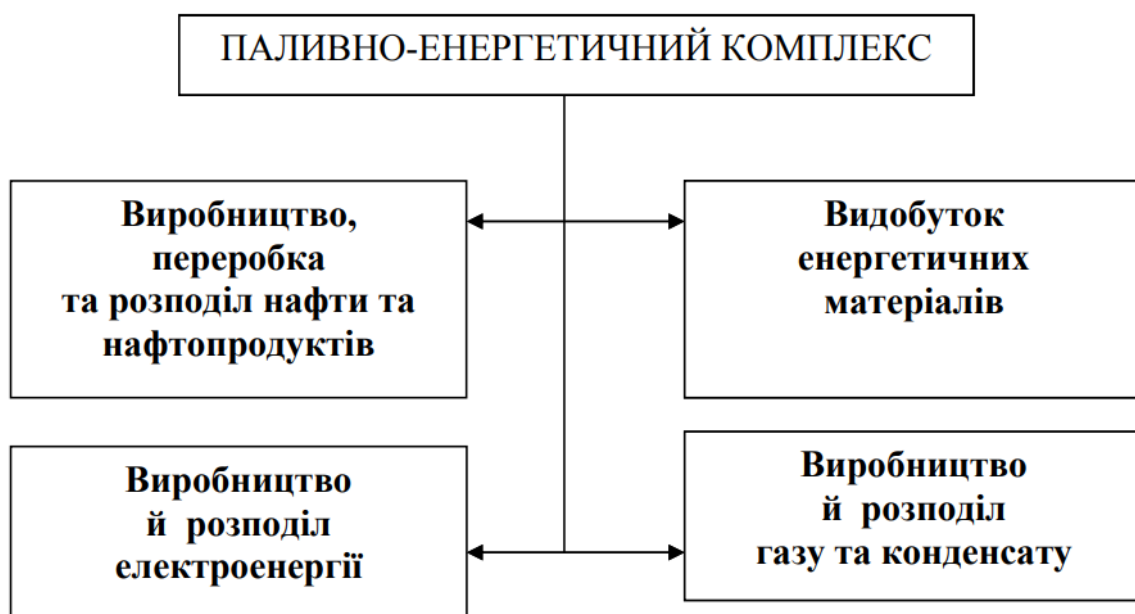


Рисунок Б.1 – Структура паливно-енергетичного комплексу України



Рисунок Б.2 – Динаміка частки відновлюваних джерел енергії у валовому кінцевому споживанні енергії у ЄС за основними напрямками



Рисунок Б.3 – Зовнішній вигляд ферментатора



Рисунок Б.4 – Зовнішній вигляд системи очистки біогазу від сірководню

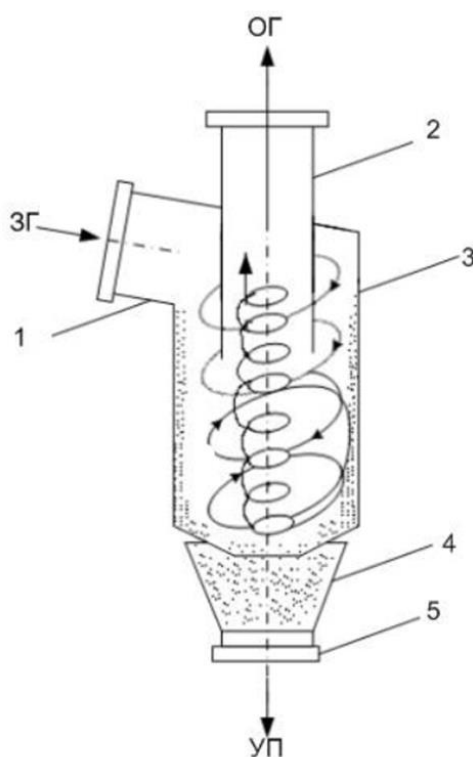


Рисунок Б.5 – Схема циклона типу ЦН – 24: 1 – вхідний патрубок; 2 – вихлопна труба; 3 – корпус; 4 – пилоосаджувальний бункер; 5 – пиловий затвор