

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Біотехнології та екологічного контролю  
Кафедра Екології та екоменеджменту

«До захисту в ЕК»  
Директор інституту (декан факультету)  
Наталія ГРЕГІРЧАК  
(ім'я та прізвище)

(підпис)

«09» грудня 2024 р.

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
Ігор ЯКИМЕНКО  
(ім'я та прізвище)

(підпис)

«09» грудня 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 101 «Екологія»  
(код та назва спеціальності)  
освітньо-професійної програми «Екологія, екоменеджмент та екоаудит»

на тему: «Аналіз розвитку біогазових та біометанових технологій в Україні та ЄС»

Виконав: здобувач II курсу, групи 3

Присяжнюк Лілія Русланівна

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Бублієнко Наталія Олександрівна

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент Євген ЛУКАШЕВИЧ

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я як здобувачка Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавала і не одержувала недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач

(підпис)

Київ – 2024 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Біотехнології та екологічного контролю

Кафедра Екології та екоменеджменту

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 101 «Екологія»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Екологія, екоменеджмент та екоаудит»

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Ігор ЯКИМЕНКО

“ 30 ” вересня 2024 року

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

### **Присяжнюк Лілії Русланівни**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Аналіз розвитку біогазових та біометанових технологій в Україні та ЄС»

керівник роботи Бублієнко Наталія Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “07” жовтня 2024 року № 875кв

2. Строк подання здобувачем роботи 04 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи закони та законодавчі акти України, Директиви ЄС щодо відновлюваної енергетики, інформація з інтернет ресурсів щодо розвитку біогазових та біометанових технологій в Україні та ЄС

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ, історія розвитку біогазових технологій, біохімізм процесу метанового бродіння та метаногенні мікроорганізми, законодавча база ЄС та України у сфері біогазових та біометанових технологій, потенціал сировини для виробництва біогазу та біометану в Україні та ЄС, розвиток біогазових та біометанових технологій в Україні та ЄС, приклади успішної реалізації проектів у сфері біогазових та біометанових технологій в Україні та ЄС, висновки, список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу



## АНОТАЦІЯ

*Присяжнюк Л.Р.* Аналіз розвитку біогазових та біометанових технологій в Україні та ЄС. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 101 «Екологія» (ОПП «Екологія, екоменеджмент та екоаудит»). Національний університет харчових технологій МОН України, Київ, 2024.

На сьогоднішній день біогазові та біометанові технології відіграють важливу роль у сфері відновлюваної енергетики як в Україні, так і в країнах Європейського Союзу. Їх розвиток спрямований на зменшення викидів парникових газів, підвищення енергоефективності, переробку органічних відходів у корисні енергоресурси, зменшення енергозалежності від інших країн.

В магістерській роботі розглядаються сучасні тенденції розвитку біогазових та біометанових технологій в Україні та країнах ЄС, здійснено порівняльний аналіз законодавчих актів, рівень впровадження технологій відновлюваної енергетики, а також охарактеризовані економічні та екологічні аспекти.

### *Наукова новизна:*

1. Проведено порівняльний аналіз розвитку біогазових та біометанових технологій в Україні та ЄС з урахуванням національних та міжнародних стандартів.
2. Проаналізовано новітні дані потенціалу сировини для виробництва біогазу та біометану в Україні та ЄС.
3. Здійснено аналіз нових редакцій законодавчої бази ЄС та України у сфері біогазових та біометанових технологій.

### *Практичне значення:*

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення програм підтримки біоенергетики, а також для стимулювання інвесторів та підприємств, які зацікавлені у впровадженні біогазових установок. Це сприятиме розвитку відновлюваної енергетики та зменшенню залежності від викопних джерел енергії.

**Ключові слова:** БІОГАЗ, БІОМЕТАН, ЄС, УКРАЇНА, СИРОВИНА, ДИРЕКТИВА, БІОГАЗОВА УСТАНОВКА.

## ANNOTATION

*Prysiazhniuk L.R.* Analysis of the development of biogas and biomethane technologies in Ukraine and the EU. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Qualification work for obtaining a master's degree in the specialty 101 «Ecology» (EPP «Ecology, eco management and eco audit»). National University of Food Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2024.

Today, biogas and biomethane technologies play an important role in the field of renewable energy both in Ukraine and in the countries of the European Union. Their development is aimed at reducing greenhouse gas emissions, increasing energy efficiency, processing organic waste into useful energy resources, and reducing energy dependence on other countries.

The master's work examines the current trends in the development of biogas and biomethane technologies in Ukraine and the EU countries, a comparative analysis of legislative acts, the level of implementation of renewable energy technologies, and economic and environmental aspects are also characterized.

### *Scientific innovation:*

1. A comparative analysis of the development of biogas and biomethane technologies in Ukraine and the EU was carried out, taking into account national and international standards.

2. The latest data on the potential of raw materials for biogas and biomethane production in Ukraine and the EU were analyzed.

3. An analysis of new versions of the EU and Ukrainian legislative framework in the field of biogas and biomethane technologies was carried out.

### *Practical significance:*

The obtained results can be used to improve bioenergy support programs, as well as to stimulate investors and enterprises that are interested in implementing biogas plants. This will contribute to the development of renewable energy and reduce dependence on fossil energy sources.

**Keywords:** BIOGAS, BIOMETHANE, EU, UKRAINE, RAW MATERIALS, DIRECTIVE, BIOGAS PLANT.

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....</b>	<b>7</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>9</b>
<b>РОЗДІЛ 1</b>	
<b>ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ БІОГАЗОВИХ І БІОМЕТАНОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....</b>	<b>12</b>
1.1 Історія розвитку біогазових технологій в Україні та ЄС.....	12
1.2 Фактори розвитку біогазових технологій в Україні.....	14
1.3 Передумови розвитку галузі біогазового виробництва.....	17
1.4 Історія розвитку біометанових технологій в Україні та ЄС.....	18
1.5 Передумови розвитку галузі біометанового виробництва.....	19
<b>РОЗДІЛ 2</b>	
<b>БІОХІМІЗМ ПРОЦЕСУ МЕТАНОВОГО БРОДІННЯ ТА МЕТАНОГЕННІ МІКРООРГАНІЗМИ .....</b>	<b>21</b>
2.1 Біохімізм процесу виробництва біогазу та метаногенні мікроорганізми.	21
2.2 Склад біогазу.....	28
2.3 Етапи отримання біометану з біогазу.....	31
<b>РОЗДІЛ 3</b>	
<b>ЗАКОНОДАВЧА БАЗА ЄС ТА УКРАЇНИ У СФЕРІ БІОГАЗОВИХ ТА БІОМЕТАНОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....</b>	<b>35</b>
3.1 Законодавча база ЄС у сфері біогазових та біометанових технологій....	35
3.1.1 Директива 2009/73/ЄС.....	37
3.1.2 Директива 2009/28/ЄС RED I.....	37
3.1.3 Директива 2012/27/ЄС.....	38
3.1.4 European Green Deal.....	38
3.1.5 Директива Ради ЄС 2001/2018/ЄС RED II.....	39
3.1.6 Fitfor55.....	40
3.1.7 REPowerEU.....	41
3.1.8 Директива ЄС 2023/2413 RED III.....	44

3.2 Законодавча база України у сфері біогазових технологій.....	45
3.3 Законодавча база України у сфері біометанових технологій.....	48
<b>РОЗДІЛ 4</b>	
<b>ПОТЕНЦІАЛ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ І</b>	
<b>БІОМЕТАНУ В УКРАЇНІ ТА ЄС.....</b>	
4.1 Потенціал сировини для виробництва біогазу та біометану в ЄС.....	52
4.2 Потенціал сировини для виробництва біогазу та біометану в Україні...	55
<b>РОЗДІЛ 5</b>	
<b>РОЗВИТОК БІОГАЗОВИХ ТА БІОМЕТАНОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В</b>	
<b>УКРАЇНІ ТА ЄС.....</b>	
5.1 Розвиток біогазових та біометанових технологій в ЄС.....	62
5.2 Розвиток біогазових та біометанових технологій в Україні.....	67
<b>РОЗДІЛ 6</b>	
<b>ПРИКЛАДИ УСПІШНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ У СФЕРІ</b>	
<b>БІОГАЗОВИХ ТА БІОМЕТАНОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УКРАЇНІ ТА ЄС... 71</b>	
6.1 Приклади успішної реалізації біогазових та біометанових технологій в	
ЄС.....	71
6.1.1 Agrifyl's energie.....	71
6.1.2 AVA Augsburg GmbH .....	72
6.1.3 Woellenheim.....	73
6.2 Приклади успішної реалізації біогазових та біометанових технологій в	
Україні.....	74
6.2.1 Миронівський хлібопродукт.....	75
6.2.2 Юзефо – Миколаївська Біогазова Компанія.....	77
6.2.3 Астарта (Глобіно).....	78
6.2.4 Теофіпольський цукровий завод.....	79
6.2.5 Діюніс Біогаз.....	80
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>83</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>86</b>

# ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

<b>Bio – CNG</b>	Bio Compressed Natural Gas
<b>Bio – LNG</b>	Bio Liquefied natural gas
<b>CBAM</b>	Carbon border adjustment mechanism
<b>GHG</b>	Greenhouse gases
<b>EU ETS</b>	European Union Emission Trading Scheme
<b>ERGaR</b>	European Renewable Gas Registry
<b>RNG</b>	Renewable natural gas
<b>UTC</b>	Ukrainian technology company
<b>АПК</b>	Агропромисловий комплекс
<b>БГЕ</b>	Біогаз Енерджи
<b>ВДЕ</b>	Відновлювальні джерела енергії
<b>ВРХ</b>	Велика рогата худоба
<b>ГРС</b>	Газорозподільна станція
<b>ГТС</b>	Газотранспортна система
<b>ДВЗ</b>	Двигун внутрішнього згоряння
<b>ЄБА</b>	Європейська біогазова асоціація
<b>ЄБРР</b>	Європейський банк реконструкції та розвитку
<b>ЄЗК</b>	Європейський зелений курс
<b>ЄС</b>	Європейський Союз
<b>ЄК</b>	Європейська комісія
<b>КЕМП</b>	Козятинський експериментальний машинобудівний підрозділ
<b>МРХ</b>	Мала рогата худоба
<b>МХП</b>	Миронівський хлібопродукт
<b>НКРЕП</b>	Національна комісія регулювання енергетичних послуг
<b>ОСР</b>	Органічна суха речовина
<b>ПАТ</b>	Публічне акціонерне товариство
<b>ПГ</b>	Парниковий газ

<b>СТВ</b>	Система торгівлі викидами
<b>ТОВ</b>	Товариство з обмеженою відповідальністю
<b>ТПВ</b>	Тверді побутові відходи

## ВСТУП

Біогазові та біометанові технології відіграють важливу роль у сучасній енергетиці як екологічно чисті та ефективні джерела відновлюваної енергії. Вони дозволяють переробляти органічні відходи у високоякісне біопаливо, яке може використовуватися для генерації електроенергії, тепла та палива для транспорту. Така модель енергозабезпечення сприяє зменшенню залежності від традиційних викопних ресурсів, а також вирішує проблему утилізації відходів.

В умовах загострення екологічних викликів, таких як зміна клімату та дефіцит природного газу, біометанові технології стають важливою складовою переходу до зеленої енергетики. Країни Європейського Союзу, дотримуючись стратегії декарбонізації, активно розвивають та впроваджують технології виробництва біометану. Україна також має значний потенціал для розвитку цієї галузі, враховуючи наявність сільськогосподарських відходів та біомаси. Однак національний ринок поки що знаходиться на початковій стадії розвитку, потребуючи подальших законодавчих, економічних та технологічних змін.

*Актуальність роботи.* У сучасних умовах енергетичної кризи та поступового відходу від викопних видів палива, впровадження біогазових та біометанових технологій в Україні набуває особливої актуальності. Перехід до відновлюваних джерел енергії сприятиме підвищенню енергетичної незалежності України та зменшенню негативного впливу на довкілля. Водночас досвід країн Європейського Союзу може стати важливою основою для розробки національної стратегії розвитку біоенергетики.

*Мета роботи* полягає у проведенні аналізу сучасного стану та перспектив розвитку біогазових і біометанових технологій в Україні та ЄС.

*Основні завдання роботи:*

- проаналізувати європейський досвід у сфері впровадження біогазових та біометанових технологій;
- дослідити поточний стан розвитку біоенергетики в Україні;
- оцінити технічні та економічні можливості для розвитку біометану в Україні.

*Об'єкт дослідження:* біогазові та біометанові технології в Україні та ЄС.

*Предмет дослідження:* чинники, що впливають на розвиток біогазових та біометанових технологій, зокрема законодавчі, економічні та технологічні аспекти.

*Методи дослідження:* для аналізу було використано методи системного підходу, порівняльного аналізу, а також статистичний аналіз даних щодо виробництва та споживання біогазу та біометану в Україні та ЄС.

*Наукова новизна:*

- проведено порівняльний аналіз розвитку біогазових та біометанових технологій в Україні та ЄС з урахуванням національних, міжнародних стандартів та технологій;

- проаналізовано новітні дані потенціалу сировини для виробництва біогазу та біометану в Україні та ЄС;

- здійснено аналіз нових редакцій законодавчої бази ЄС та України у сфері біогазових та біометанових технологій.

*Практичне значення:*

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення програм підтримки біоенергетики, а також для стимулювання інвесторів та підприємств, які зацікавлені у впровадженні біогазових установок. Це сприятиме розвитку відновлюваної енергетики та зменшенню залежності від викопних джерел енергії.

*Особистий внесок здобувача:* Кваліфікаційна робота виконана самостійно здобувачем. Здійснено аналіз літературних та наукових даних із відкритих джерел інформації, сформовано висновки.

Аналіз інформації, планування процесу та написання кваліфікаційної роботи здійснювались за безпосередньою участю наукового керівника к.т.н., доцента Бублієнко Н.О.

Магістерська робота виконана у рамках міжнародного проекту програми Європейського Союзу Еразмус+ Жан Моне Модуль «EU renewable energy strategy as a roadmap for Ukraine» (Стратегії ЄС щодо відновлюваної енергетики як дороговказ для України) JM RE – 101085755 – GAP – 101085755.

*Структура і обсяг кваліфікаційної роботи:* Робота складається із вступу, 6 розділів, у тому числі висновків, списку використаних джерел із 42 найменування.

Роботу викладено на 90 сторінках друкованого тексту, ілюстровано 26 рисунками, 7 таблицями.

## РОЗДІЛ 1

# ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ БІОГАЗОВИХ І БІОМЕТАНОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

### 1.1 Історія розвитку біогазових технологій в Україні та ЄС

Історія розвитку біогазових технологій починається з давніх часів. Використання перших примітивних біогазових установок зафіксовано в Індії, Китаї, Ассирії та Персії ще у 17 столітті до н.е., а в середньовічному Китаї ці технології набули сталого застосування.

В 2 столітті на території сучасної Німеччини вже існували примітивні біогазові установки. У 17 столітті натураліст Ян Баптист ван Гельмонт вперше зафіксував утворення займистих газів під час розкладання біомаси. Проте систематичні наукові дослідження в цій галузі почалися лише у 18 столітті.

Перша задокументована біогазова станція була побудована в Індії. Її технологічну основу було запозичено з Гааги, де подібні підходи використовувалися для очищення стічних вод.

У 1764 році Бенджамін Франклін описав процес запалення болотного газу в природних умовах у Нью – Джерсі (США).

У 1776 році Алессандро Вольта вперше дослідив метанове бродіння та виявив наявність метану в болотному газі. Подальші дослідження вчених, таких як Джон Дальтон, який у 1804 році відкрив хімічну формулу метану, та Гемфрі Деві, який у 1808 році підтвердив його присутність у біогазі, заклали основу для практичного використання цього ресурсу.

Перші відомі приклади використання біогазу в Європі датуються 1814 роком, коли Гемфрі Деві зібрав газ із гною великої рогатої худоби під час агрохімічних експериментів.

У 1881 році європейські вчені почали експериментувати з використанням біогазу для обігріву приміщень і освітлення. У 1895 році вуличні ліхтарі в місті Ексетер (Англія) забезпечувалися газом, виробленим під час бродіння стічних вод, а у 1897 році в Бомбеї вперше зібрали біогаз для використання як палива.

Під час Першої світової війни біогазові технології отримали широке поширення в Європі через дефіцит традиційних видів палива.

У 1911 році в Бірмінгемі (Велика Британія) побудували перший масштабний завод із виробництва біогазу для знезараження стічних вод і виробництва електроенергії.

У 1938 році в Алжирі з'явилася перша установка для переробки твердих відходів, об'ємом 10 м<sup>3</sup>.

Друга світова війна підсилила інтерес до біогазу, особливо в Німеччині та Франції, де понад 2000 установок типу Дуцеллер – Ісманн працювали на сільськогосподарських відходах.<sup>1</sup>

На рисунку 1.1 зображено першу біогазову установку.

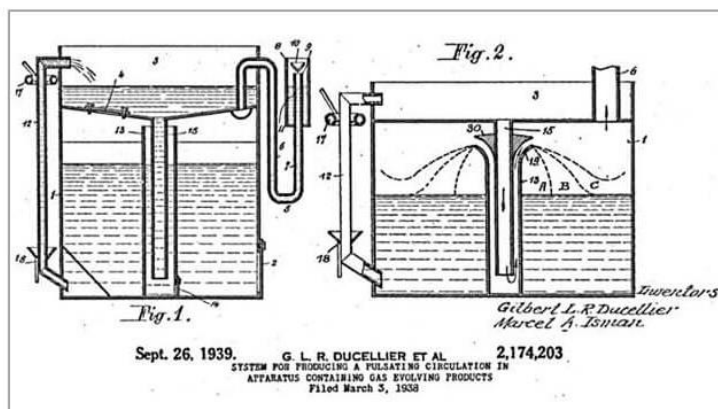


Рисунок 1.1 – Перша біогазова установка

Однак після війни зростання доступності дешевих енергоносіїв, таких як нафта і природний газ, зменшило поширення цих технологій.

Енергетична криза 1970 – х стала новим імпульсом для розвитку біогазових установок в країнах Південно – Східної Азії. Висока густота населення, активне використання всіх доступних земель для вирощування сільськогосподарських культур і сприятливий теплий клімат, що дозволяє експлуатувати біогазові установки в найпростішому варіанті без додаткового підігріву сировини, стали основою для розробки та реалізації численних національних і міжнародних програм із впровадження та популяризації біогазових технологій.

В Україні дослідження біогазу розпочалися з робіт мікробіолога В. Омелянського, який довів участь бактерій у процесі анаеробного бродіння.

У 1940 – х роках у СРСР створили першу лабораторну установку для виробництва біогазу, а в 1980 – х роках розробили кілька дослідних установок.

Найбільшим центром розробки став Запорізький конструкторсько – технологічний інститут, який виготовив 10 комплектів обладнання, зокрема установку, що виробляла 400 – 500 м<sup>3</sup> газу на добу з 50 м<sup>3</sup> гною.<sup>1</sup>

Окрім того значний внесок у розвиток біогазових технологій та очищення промислових стічних вод зробив професор Геннадій Олексійович Нікітін, зокрема дослідив біохімізм метанового бродіння, присвятивши цьому свої дисертаційні роботи. Він активно впроваджував біогазову технологію на практиці, зокрема через будівництво біогазових установок, що дозволяло ефективно перетворювати органічні відходи на біогаз. Його дослідження зосереджувалися на застосуванні метанового бродіння для обробки стоків харчової промисловості, перш за все, цукрової, м'ясної та молокопереробної галузей, тваринництва, які генерують значні обсяги органічних забруднювачів.

Він також розробив та оптимізував способи інтенсифікації анаеробного очищення, завдяки яким значно покращувалася ефективність видалення забруднювальних речовин з промислових стічних вод. Окрім науково – прикладних досліджень, Нікітін виховав цілу плеяду учнів, спеціалізованих на дослідженні процесів метанової ферментації відходів і стічних вод, що сприяло розвитку цієї галузі в Україні. Його наукова діяльність стала основою для освітніх програм, а також для практичного впровадження рішень з екологічної утилізації промислових відходів та біомаси.

## **1.2 Фактори розвитку біогазових технологій в Україні**

Розвиток біогазових технологій в Україні є важливим аспектом енергетичної стратегії, спрямованої на зменшення залежності від традиційних джерел енергії та покращення екологічної ситуації. Біогазова енергетика використовує органічні відходи, такі як сільськогосподарські відходи, відходи тваринництва та рослинництва, харчові залишки або спеціальні енергетичні культури, для виробництва біогазу, який перетворюється на електроенергію, тепло або біометан.

Основні фактори розвитку біогазових технологій в Україні:

### **1. Екологічні та економічні переваги:**

- зменшення кількості відходів та стічних вод, що позитивно впливає на екологічну ситуацію;

- виробництво біогазу як джерела відновлюваної енергії. Біогаз є екологічно чистим джерелом енергії, яке допомагає знизити залежність від викопних палив, скорочуючи викиди парникових газів. Згідно з українським законодавством, отримана з біогазу електроенергія може продаватися за «зеленим тарифом» відповідно до Закону України «Про альтернативні джерела енергії». <sup>5</sup>

Це економічно вигідно для підприємств, оскільки вони отримують додатковий дохід від продажу енергії за підвищеною ціною, що стимулює розвиток відновлюваних джерел енергії;

- використання дигестату як заміни хімічних добрив. Дигестат, який є побічним продуктом біогазових технологій, має значні екологічні переваги. Він містить цінні поживні речовини (азот, фосфор, калій), що підходять для агровиробництва і зменшують потребу у хімічних добривах, які можуть завдавати шкоди ґрунтам і водним ресурсам. Це не лише знижує забруднення довкілля, але й сприяє підвищенню родючості ґрунтів, роблячи сільське господарство стійкішим та екологічно чистим. Крім того, дигестат можна продавати, що є додатковим джерелом доходу для підприємств;

- сприяння створенню робочих місць. Біогазові установки потребують обслуговування, що сприяє створенню робочих місць у регіонах, де реалізовані такі проекти. Це приносить соціально – економічні вигоди, підвищує зайнятість та сприяє розвитку місцевих громад.

## **2. Державна підтримка:**

- Енергетична стратегія України до 2050 року. 21 квітня 2023 року Кабінет Міністрів України схвалив нову Енергетичну стратегію України на період до 2050 року, яка визначає основні напрямки розвитку енергетичного сектору країни. Стратегія передбачає, що Україна стане важливим енергетичним хабом для Європи, допомагаючи знизити залежність від російських енергоресурсів. Ця стратегія охоплює розвиток альтернативних джерел енергії, включаючи водневі та біоенергетичні технології, що дозволить Україні суттєво наростити потенціал зеленої енергетики. Зокрема, до 2050 року Україна має потенціал збільшити

енергетичні потужності до таких показників: вітрова генерація – до 140 ГВт, сонячна енергетика – до 94 ГВт, системи накопичення енергії – до 38 ГВт, атомна генерація – до 30 ГВт, ТЕЦ та біоенергетика – до 18 ГВт, а гідрогенерація – до 9 ГВт.;<sup>6</sup>

- зелений тариф та підтримка інвесторів. З метою стимулювання виробництва відновлюваної енергії в Україні діє система зеленого тарифу, впроваджена відповідно до Закону України «Про альтернативні джерела енергії». Зелений тариф дозволяє підприємствам, що виробляють енергію з відновлюваних джерел, продавати електроенергію за вищою ціною, що є економічно вигідним і привабливим для інвесторів;

- інвестиційні можливості. Згідно з Енергетичною стратегією, обсяг інвестиційних можливостей для розвитку нових енергетичних потужностей оцінюється у \$383 млрд. З них \$134 млрд припадає на вітрову генерацію, \$62 млрд – на сонячну енергетику, \$72 млрд – на водневі технології, \$25 млрд – на системи накопичення енергії, \$80 млрд – на атомну генерацію, \$5 млрд – на системи передачі електроенергії та \$4,5 млрд – на гідроенергетику.<sup>7</sup>

Це відкриває широкі можливості для розвитку як великих, так і малих проєктів у сфері біоенергетики, що сприяє економічному зростанню та створенню нових робочих місць, а також зниженню залежності від імпортованих енергоресурсів.

Цей комплекс заходів свідчить про пріоритетний розвиток біоенергетики в Україні, який підтримується державою та сприяє зниженню екологічного навантаження на довкілля.<sup>8</sup>

## **2. Потенціал сировини для виробництва біогазу:**

- Україна є аграрною країною з великим обсягом відходів тваринництва та сільськогосподарської продукції, які можуть бути використані для виробництва біогазу;

- фермери можуть отримувати додатковий дохід від продажу енергії або використовувати її для власних потреб.

## **3. Інвестиції та технології:**

- розвиток біогазових комплексів вимагає значних інвестицій, проте ринок стає все більш привабливим для іноземних та внутрішніх інвесторів;

- Україна поступово адаптує європейські технології, що дозволяє підвищити ефективність біогазових станцій.

Загалом АПК України, виробляючи значні обсяги органічних відходів, володіє ресурсами для виробництва біогазу, здатними замінити 1,5 млрд кубометрів газу на рік. При розвитку галузі і широкому використанні рослинної сировини цей потенціал може бути доведений до 18 млрд кубометрів у перерахунку на природний газ.<sup>4</sup>

### **1.3 Передумови розвитку галузі біогазового виробництва**

Однією з ключових передумов розвитку відновлюваних джерел енергії в Європейському Союзі стала стратегічна політика, започаткована в 1997 році з ухваленням Радою Європи та Європейським парламентом «Стратегії й плану дій Співтовариства». Це рішення стало вчасним, адже на той час частка відновлюваних джерел у загальному енергоспоживанні становила лише 6 %. У 2007 році до Енергетичної політики ЄС було інтегровано пакет «Енергетика та зміни клімату», який передбачав скорочення викидів парникових газів щонайменше на 20 % до 2020 року порівняно з рівнем 1990 року та збільшення частки відновлюваних джерел енергії до 20 %.

Політика ЄС спрямована на досягнення довгострокової мети – створення конкурентоспроможної низьковуглецевої економіки до 2050 року з амбіцією скоротити викиди парникових газів на 95 %. Для цього було розроблено та впроваджено низку Директив із відновлюваної енергетики та Стратегію біоекономіки.

Таким чином, сприятливі умови, створені в ЄС, разом із численними перевагами біогазового виробництва відкривають широкі перспективи для розвитку галузі та інтеграції біогазу в різні сектори економіки.

Схожі масштабні програми впроваджують і в інших країнах, таких як Індія, Китай, В'єтнам і Непал.

В Індії діє Національна програма управління гноєм і біогазом, яка сприяє будівництву біогазових установок для домогосподарств.

У Китаї розроблено середньо– та довгостроковий план розвитку відновлюваної енергетики, метою якого є досягнення виробництва біогазу в обсязі 50 млрд м<sup>3</sup> на рік за рахунок великих промислових установок та малих побутових станцій.

У В'єтнамі діють національні програми підтримки біогазового виробництва, а найуспішнішою у світі вважається програма Непалу, в рамках якої було збудовано понад 330 000 біогазових установок для домогосподарств.<sup>2</sup>

#### **1.4 Історія розвитку біометанових технологій в Україні та ЄС**

У 1980 – 1990 – х роках технології біогазу значно вдосконалилися. Науковці почали шукати способи очищення біогазу від домішок, щоб отримати біометан високої чистоти. Розробили кілька підходів, таких як:

- абсорбційні технології: очищення біогазу за допомогою абсорбентів, які видаляють вуглекислий газ;
- мембранні технології: процес, у якому за допомогою спеціальних мембран відокремлюють метан від інших газів;
- криогенне очищення: застосування низьких температур для розділення газів.

Ці технології дозволили отримувати біометан, який можна використовувати для подачі в газові мережі або як паливо для транспорту.

У 2000 – х роках біометанові технології почали активно розвиватися завдяки посиленню екологічних вимог і зростанню інтересу до відновлюваних джерел енергії. Європейський Союз, у рамках боротьби зі зміною клімату, почав активно підтримувати технології з виробництва біометану. Уряди країн ЄС запровадили фінансові стимули для розвитку біогазових установок та систем очищення біогазу до біометану.

Німеччина стала лідером у цій сфері. На початку 2010 – х років в країні вже діяли тисячі біогазових установок. Біометан, очищений до стандарту природного газу, стали подавати в газові мережі або використовувати як паливо для автомобілів і автобусів.

Сьогодні біометан є важливою складовою стратегії декарбонізації енергетичного сектору. Основні напрями сучасного розвитку включають:

- ефективніші способи очищення: мембранні системи та криогенне очищення постійно вдосконалюються, що дозволяє зменшити витрати на виробництво біометану;

- інтеграція з іншими відновлюваними джерелами: біометан можна поєднувати з електролізом водню для виробництва метанолу або синтетичних видів палива;

- поширення на нові ринки: країни Азії та Латинської Америки також починають впроваджувати біометанові технології, використовуючи свої значні ресурси біомаси.

В Україні розвиток біометанових технологій поки що перебуває на початкових етапах. Однак має великий потенціал через наявність значних ресурсів біомаси, особливо в сільському господарстві. У 2021 році були прийняті законодавчі зміни, які дозволяють подавати біометан в українську газотранспортну систему. Це може стати початком активного розвитку галузі, зокрема для забезпечення енергетичної незалежності країни та зменшення залежності від імпорту газу.<sup>4</sup>

Біометанові технології пройшли довгий шлях розвитку від простих біогазових установок до сучасних високотехнологічних рішень, які грають ключову роль у глобальному переході до відновлюваної енергії. Сьогодні вони є важливим елементом у боротьбі зі зміною клімату та у створенні стійкої енергетичної системи.

Прикладом є завод у Чернігівській області, відкритий у квітні 2023 року, який виробляє до 3 млн м<sup>3</sup> біометану щорічно. Він обробляє 600 м<sup>3</sup> сирого біогазу на годину, з якого отримують 330 м<sup>3</sup> біометану. Збагачення проводиться в мембранній установці, використовуючи силос кукурудзи як основну сировину. Біометан постачається до розподільної мережі компанії «Чернігівгаз».<sup>9</sup>

## **1.5 Передумови розвитку галузі біометанового виробництва**

Біометан, як одна з важливих складових сучасної енергетики, розвивається на основі кількох ключових факторів, що створюють передумови для його широкого впровадження. Ці передумови охоплюють екологічні, економічні, політичні та технологічні аспекти, які стимулюють розвиток біометанових технологій у всьому світі.

Однією з головних передумов розвитку біометанових технологій є прагнення багатьох країн зменшити залежність від імпорту викопних енергоресурсів, таких як природний газ і нафта. Виробництво біометану базується на використанні місцевих ресурсів – сільськогосподарських відходів, гною, органічного сміття, стічних вод, що робить цю технологію особливо актуальною для країн з розвиненим сільським господарством.

Оскільки більшість ресурсів для виробництва біометану є відновлюваними та доступними локально, це дозволяє підвищити енергетичну безпеку, особливо в регіонах, які залежать від імпорту природного газу.

Крім того зміни клімату та необхідність зменшення викидів парникових газів стали важливим рушієм для розвитку відновлюваних джерел енергії. Виробництво біометану з органічних відходів дозволяє не тільки зменшити викиди вуглекислого газу, але й скоротити неконтрольовані викиди метану, що утворюються під час розкладання органічних матеріалів на сміттєзвалищах. Метан є потужним парниковим газом, і його викиди значно впливають на глобальне потепління. Використання біометану замість природного газу дозволяє значно знизити ці викиди, сприяючи екологічній стійкості.

Європейський Союз та інші країни активно підтримують розвиток біометанових технологій через політичні та законодавчі ініціативи. Зокрема, директива щодо відновлюваної енергії (RED II) встановлює жорсткі вимоги щодо частки відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі країн ЄС. Такі політики включають фінансові стимули для підприємств, що займаються виробництвом біометану, а також розвиток інфраструктури для інтеграції біометану в газові мережі.<sup>3</sup>

Інтеграція біометану у системи переробки органічних відходів є ще однією важливою передумовою розвитку галузі. У країнах із розвиненим сільським господарством та високими обсягами органічних відходів таких як Україна, біометанові технології пропонують ефективне рішення для утилізації відходів і перетворення їх в енергію. Це дозволяє зменшити навантаження на сміттєзвалища, покращити екологічну ситуацію та створити нові можливості для сталого розвитку.<sup>4</sup>

## РОЗДІЛ 2

# БІОХІМІЗМ ПРОЦЕСУ МЕТАНОВОГО БРОДІННЯ ТА МЕТАНОГЕННІ МІКРООРГАНІЗМИ

## 2.1 Біохімізм процесу виробництва біогазу та метаногенні мікроорганізми

Біогаз отримують у результаті метанового зброджування органічної сировини рослинного та тваринного походження в біогазових установках. Існують три основні режими роботи біореакторів для виробництва біогазу:

- зброджування в (квазі – ) проточному режимі в рідкому середовищі;
- зброджування в (квазі – ) проточному режимі в твердому середовищі;
- зброджування в періодичному режимі в твердому середовищі.

Ці моделі можна використовувати для різних типів сировини. Проте перший варіант частіше застосовують для вологих сировин з гомогенним складом (виробничі та осадові стічні води, рідка гноївка, жом, силос кукурудзи). Другий і третій режими підходять для менш вологих і більш неоднорідних сировин (змішані харчові відходи, підстилковий гній або послід, рослинна сировина).<sup>10</sup>

Метанове зброджування є бактерійним процесом, що відбувається без доступу кисню за різних температур. Розрізняють три типи бродіння за температурними умовами: психрофільне (< 20 °C), мезофільне (20 – 40 °C) та термофільне (45 – 65 °C).

Біологічні процеси метанової ферментації проходять у бактеріальній біомасі, де складні органічні речовини трансформуються в метан та вуглекислий газ.

Це симбіотичне угруповання мікроорганізмів діє як саморегульована система, яка підтримує оптимальні значення рН, окисно – відновного потенціалу та термодинамічної рівноваги для росту.

Мікроорганізми, що беруть участь у процесі метанового бродіння, поділяються на три основні групи:

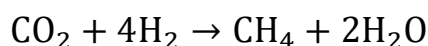
1. Гідролітичні або ацидогенні бактерії – здійснюють початковий гідроліз субстрату до низькомолекулярних органічних кислот та інших простих молекул.

Серед продуктів їхньої діяльності – оцтова, пропіонова, масляна, капронова, мурашина та молочна кислоти, спирти (метанол, етанол), кетони (ацетон), гази (водень, метан, діоксид вуглецю) та вітаміни (В<sub>2</sub>, В<sub>12</sub>). До цієї групи належать як облигатні, так і факультативні анаероби, серед них *Eubacterium*, *Clostridium*, *Acetobacterium*, *Bacteroides*, *Bifidobacteria*, *Enterobacteriaceae*.

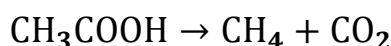
2. Гетероацетогенні бактерії – виробляють оцтову кислоту та водень, дегідрогенізуючи органічні кислоти з довгими вуглецевими ланцюгами. До них належать, наприклад, *Synthrobacter wolinii*, *Synthrophomonas wolfii*.

3. Метаногенні бактерії – виробляють метан. Вони поділяються на дві підгрупи:

- хемолітотрофні бактерії, що перетворюють водень і вуглекислий газ у метан за участю водню як донора електронів:



- бактерії, що метаболізують органічні кислоти (оцтова, мурашина) або метанол і метиламін у метан:



Кількість метаногенних мікроорганізмів *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanococcus*, *Methanosarcina* та *Methanothrix* досягає 10<sup>6</sup> – 10<sup>8</sup> клітин в 1 см<sup>3</sup> мулу.

Загалом на сьогоднішній день найпоширенішим методом виробництва біогазу є анаеробне зброджування органічної біомаси в умовах відсутності кисню.

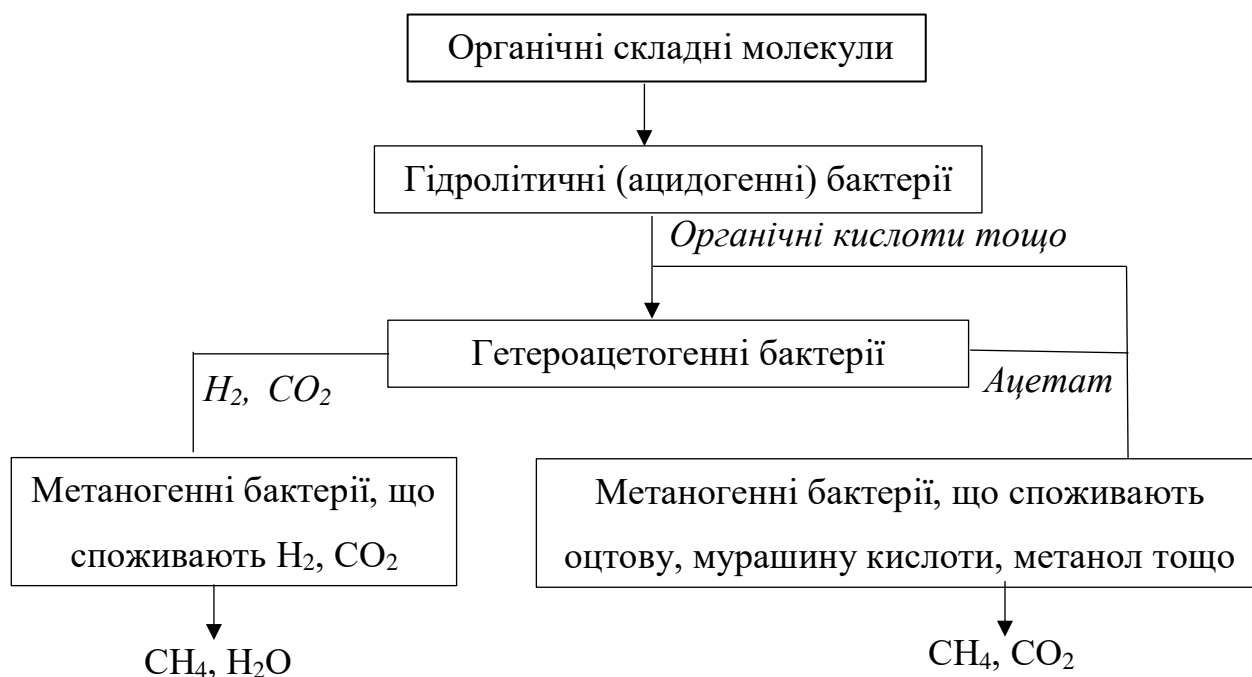
У процесі зброджування анаеробні бактерії розкладають складні органічні речовини, такі як білки, вуглеводи, жири та целюлозу, на низькомолекулярні компоненти (цукри, амінокислоти, жирні кислоти та воду) за допомогою ферментів. Ферменти, що виділяються гідролітичними мікроорганізмами, прикріплюються до їхньої зовнішньої оболонки (екзоферменти), розщеплюючи субстрат на водорозчинні молекули. У цьому процесі полімери перетворюються на мономери, і відбувається гідроліз. Він є повільним і залежить від ферментів, таких як целюлаза, амілаза та ліпаза. Процес розщеплення органіки до метану можливий лише у вологому середовищі, оскільки мікроорганізми переробляють лише розчинені речовини, що обумовлює потребу у воді при зброджуванні твердих субстратів.

Далі відбувається активізація кислотоутворюючих бактерій, які продовжують розщеплювати органічні речовини всередині своїх клітин. На цьому етапі, за рН 6 – 7,5, утворюються жирні кислоти (як оцтова, масляна, мурашина та пропіонова), низькомолекулярні спирти (етанол) та гази ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ). Цей процес називають фазою окислення і він триває від кількох годин до двох діб. У цьому етапі важливо контролювати кількість поживних речовин, щоб уникнути накопичення кислот, яке може спричинити значне зниження рН та негативно вплинути на інші мікроорганізми.<sup>10</sup>

Потім кислотоутворюючі бактерії перетворюють органічні кислоти на субстрати для утворення метану, такі як оцтова та мурашина кислоти, вуглекислий газ та водень. Ці бактерії є чутливими до змін температури.

Далі процес виконується метаноутворюючими мікроорганізмами, які виробляють метан, вуглекислий газ і воду з оцтової та мурашиної кислот, вуглецю і водню. На цьому етапі утворюється до 90 % метану, причому 70 % цього газу походить з оцтової кислоти. Тому кількість утворюваної оцтової кислоти є ключовим фактором у швидкості утворення метану. Метаноутворюючі бактерії є винятково анаеробними, а оптимальний рН для них складає 7. На кожному етапі продукти обміну однієї групи мікроорганізмів стають поживними речовинами для наступної, але швидкість розщеплення у різних груп мікроорганізмів може відрізнятись.

На рисунку 2.1 наведена роль мікроорганізмів, які беруть участь у процесі метанового бродіння.

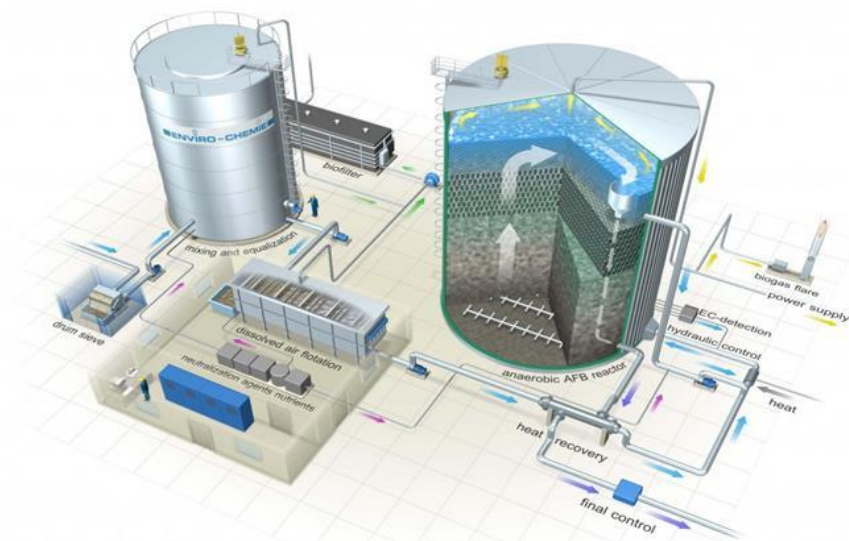


## Рисунок 2.1 – Роль мікроорганізмів у процесі метанового бродіння

Загалом процес виробництва біогазу відбувається у спеціальних реакторах – метантенках, виготовлених із металу або залізобетону, об'ємом від 1 до кількох тисяч кубометрів. На початковому етапі біомаса піддається підготовці, яка включає подрібнення, змішування та нагрівання. Потім вона проходить через етап анаеробного (метанового) зброджування, де відбувається активне виділення метану.

Для збору отриманого біогазу під тиском часто використовують газгольдери «мокрого» типу. Біогазові установки також можуть бути обладнані блоком для виробництва енергії, що дозволяє отримувати 2 – 4 кВт·год електроенергії та 2 – 8 кВт·год тепла з 1 м<sup>3</sup> біогазу. Сам біогаз є сумішшю метану (CH<sub>4</sub>) і вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), і його згоряння забезпечує до 60 – 90 % енергії від тієї, що міститься у вихідній сухій сировині.

На рисунку 2.2 зображена схема отримання біогазу анаеробним зброджуванням.



## Рисунок 2.2 – Схема отримання біогазу анаеробним зброджуванням

Окрім енергетичних переваг, процес зброджування має додаткову екологічну користь: утворюється органічне добриво з пониженою кількістю патогенних мікроорганізмів. Проте важливо відзначити, що не всі патогенні мікроорганізми повністю знищуються у процесі анаеробного зброджування.<sup>11</sup>

Економічна вигода виробництва біогазу досягається, коли біогазогенератор працює на постійному потоці відходів, як – от стоки каналізаційних систем, відходи свиноферм чи скотобоєнь. У такому випадку немає потреби в додатковій організації збору відходів, а лише в управлінні їх переробкою на біогаз та добриво.<sup>10</sup>

Біогаз можна виробляти у різних масштабах, зокрема на агропромислових комплексах, де можна реалізувати екологічний цикл. Тут гній зброджується в анаеробному середовищі, після чого відходи проходять аеробну обробку в басейнах. Біогаз використовується для обігріву, освітлення, роботи ДВЗ, електрогенераторів тощо. Басейни можуть слугувати місцем для вирощування водоростей, які йдуть на корм худобі. Після аеробної обробки відходи можуть бути використані як добриво або подані до рибних садків чи ставків для вирощування водоплавних птахів. Реалізація таких схем залежить від якісної підготовки проекту, стандартизації конструкцій та регулярного обслуговування.

На рисунку 2.3 зображена схема роботи біогазової установки.

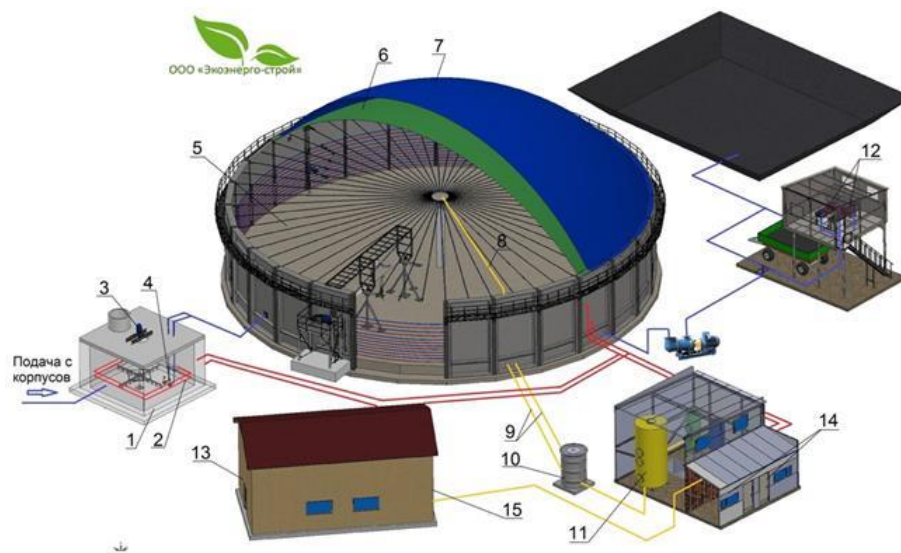
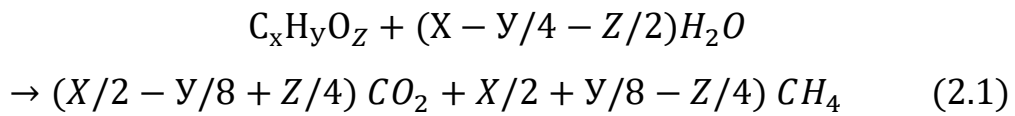


Рисунок 2.3 – Схема роботи біогазової установки

Приймаючий резервуар (1) обладнаний системою для обігріву (2) та механічним мішалкою (3). Система подачі субстрату (4) подає його до метантенка (5). Газ накопичується у газгольдері (6) під куполом (7). Відведення та подача газу здійснюється через систему газовідведення (8) і газоподачі (9), яка включає механізм відведення конденсату (10) та сіркоочищення (11). Сепаратор (12) розділяє субстрат, а система автоматики та візуалізації (13) контролює процеси. Теплопункт (14) забезпечує теплопостачання, а когенератор (15) генерує енергію.

У формулі 2.1 наведено основне рівняння для опису анаеробного зброджування:



X – кількість атомів Вуглецю (C) в молекулі, Y – кількість атомів Водню (H) в молекулі, Z – кількість атомів Кисню (O) в молекулі.

У формулі 2.2 наведено основне рівняння для опису анаеробного зброджування целюлози:



Ці реакції є екзотермічними, виділяючи приблизно 1,5 МДж тепла на кожний кілограм сухої маси матеріалу, що зброджується, або близько 25 кДж на моль  $C_6H_{10}O_5$ . Зазвичай цього тепла недостатньо для суттєвого підвищення температури зброджуваної маси.

Коефіцієнт корисної дії конверсії становить 90 %, але на практиці повного зброджування рідко досягають, щоб не подовжувати процес надміру. В середньому зброджують близько 60 % початкової сировини. Вихід газу при цьому становить приблизно від 0,2 до 0,4 м<sup>3</sup> на кілограм сухої речовини в стандартних умовах, при концентрації 5 кг сухої біомаси на кубометр води (5 % розчин).<sup>10</sup>

Для успішного зброджування необхідно забезпечити постійні умови, зокрема за температурою та подачею сировини. Це дозволяє вивести популяцію бактерій, найбільш адаптовану до заданих умов.

Крім того, чим складніша структура субстрату, тим довше триває його розкладання. Обсяг виробленого біогазу щодня зростає до досягнення максимального рівня, після чого він знижується, коли мікроорганізми залишаються лише з важкорозчинними речовинами. Виробництво біогазу можна проводити періодичним способом, коли субстрат завантажується порціями протягом дня, що забезпечує рівномірний вихід газу. Оскільки швидкорозчинний субстрат має схильність до окислення, рекомендується використовувати окремий резервуар для гідролізу та окислення, звідки продукти розкладання будуть подаватися у ферментатор дозовано (двоступенева технологія). Це створює сприятливі умови для мікроорганізмів і підвищує ефективність виробництва біогазу.<sup>10</sup>

Метаногенним бактеріям потрібне виключно анаеробне середовище, і їх відтворення займає більше часу порівняно з кислототворними бактеріями. Швидкість анаеробного зброджування у метаногенних бактерій залежить від рівня їхньої метаболічної активності, яка, в свою чергу, залежить від температури. Максимальна активність спостерігається при температурі близько 33 °С та 54 °С. За підвищення температури до 54 °С умови для утворення біогазу покращуються, тоді як при зниженні до 15 °С мікробіологічна активність майже зупиняється. Зміни температури, особливо різке зниження, негативно впливають на метаболічну активність і здатність бактерій до розмноження.

На ефективність мікробіологічного процесу також впливає співвідношення вуглецю і азоту в середовищі. Найсприятливіші умови досягаються при C/N у межах 10...16.

Склад субстрату для зброджування залежить від виду тварин, їхнього раціону та умов утримання. Зокрема, важливо враховувати вміст лігніну, який практично не розкладається мікроорганізмами і тому не бере участі в газоутворенні. Через це вихід газу з екскрементів жуйних тварин, як-от великої рогатої худоби, які споживають корми з високим вмістом сирової клітковини, значно менший, ніж у випадку екскрементів свиней або курей.

На рисунку 2.4 зображено орієнтовний вихід біогазу в залежності від виду та кількості сировини.




Джерело відходів	Місткість реактора, м <sup>3</sup>	Кількість голів, од.	Виробіток біогазу на день, м <sup>3</sup>
<b>Кури-несучки</b> 	500	35 000	400
	10 000	710 000	8 800
<b>Свині</b> 	500	1 500	300
	10 000	30 000	6 200
<b>Дійні корови</b> 	500	160	230
	10 000	106 000	4 800

Рисунок 2.4 – Орієнтовний вихід біогазу в залежності від виду та кількості сировини

Для зброджування рослинних матеріалів з високим вмістом легкорозкладних вуглеводних сполук потрібно додавати речовини, багаті на азот, наприклад курячий послід або свинячий гній, щоб досягти оптимального співвідношення C/N, необхідного для активного проходження процесу.

Крім того, на вихід газу впливають такі фактори, як конструкція біогазової установки, рівень завантаження робочого об'єму, тривалість циклу зброджування та інтенсивність перемішування. З подовженням часу зброджування підвищується вміст метану ( $\text{CH}_4$ ) у газі, що виділяється, та знижується вміст вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ), що сприяє покращенню якості газу.<sup>10</sup>

## 2.2 Склад біогазу

За хімічним складом біогаз, який одержують в реакторах, близький до природного:

- біогаз: метан ( $\text{CH}_4$ ) – 65 – 70 %, вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) – до 30 %;
- природний газ: метан – 80 – 90 %, вуглекислий газ – до 10 %.

Найпоширенішими домішками в біогазі крім діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) є сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ) – 1,2 %, азот ( $\text{N}_2$ ) – 0,1 %, водень ( $\text{H}_2$ ) – 0,1 %, сліди монооксидів вуглецю ( $\text{CO}$ ) та кисню ( $\text{O}_2$ ). Кількість сірководню ( $\text{H}_2\text{S}$ ) у біогазі може змінюватися від відсотків до десятих часток відсотка залежно від джерела, наприклад, каналізаційних стоків, сміттєзвалищ побутових відходів чи біореакторів для анаеробної переробки тваринницьких відходів. Оскільки саме метан є джерелом енергії в біогазі, для оцінки якості, виходу та обсягу газу доцільно орієнтуватися на показники, віднесені до метану, за стандартних умов.

Обсяг газу залежить від тиску та температури: підвищення температури викликає розширення газу і зменшення його калорійності, крім того зростання вологості також знижує калорійність.

Для коректного порівняння виходу газу використовують нормальні умови: температура 0 °C, тиск 1,01325 бар, відносна вологість 0 %. Найточніше вихід газу вимірюється у літрах або кубометрах метану на кілограм органічних сухих речовин (ОСР), що є інформативнішим, ніж дані про біогаз загалом.

Основний показник якості біогазу – вміст метану ( $\text{CH}_4$ ), який визначає його енергетичну цінність. Високий вміст метану (50 – 75 %) є бажаним, тоді як двоокис вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) лише розбавляє газ і викликає втрати під час зберігання.

Вміст метану залежить від кількох факторів:

1. технологія процесу: у одноступінчастих установках весь газ утворюється як суміш, тоді як у двоступінчастих установках газ першого етапу містить переважно  $\text{CO}_2$ , а газ другого етапу має більший вміст метану (до 80 % і більше);

2. склад субстрату: кількість та якість біогазу залежать від поживних речовин субстрату. Наприклад, протеїни та жири сприяють більшому вмісту метану, тоді як для субстратів із високим вмістом вуглеводів, таких як кукурудза, вміст метану становить у середньому 53 %;

3. температура субстрату: при високих температурах відбувається підвищене газоутворення  $\text{CO}_2$ , що знижує частку  $\text{CH}_4$  у біогазі.

Сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ) є третьою за важливістю складовою біогазу після метану та  $\text{CO}_2$ . Цей газ агресивний, викликає корозію обладнання (арматури, газових лічильників, пальників і двигунів), тому біогаз потребує очищення від сірки. Очищений біогаз практично не має запаху. У біогазі також можуть міститися сліди аміаку, азоту, водню та кисню загальним обсягом 6 – 8 %, які вимірюються спеціальними приладами, наприклад, трубками Дрегера.<sup>11</sup>

Щойно вироблений біогаз насичений водяною парою, яка може містити сліди інших речовин, що викликають проблеми при спалюванні. Сушка газу та видалення конденсату – важливі етапи підвищення його якості. Разом із водою видаляється значна частина аміаку, який пошкоджує двигуни, особливо їх підшипники з кольорових металів.

За теплою згоряння 1 м<sup>3</sup> біогазу еквівалентний:

- 0,8 м<sup>3</sup> природного газу;
- 0,7 кг мазуту;
- 0,6 кг бензину;
- 0,85 л спирту;
- 1,6 кг дров;

- 1,4 кВт електроенергії.

Біогаз горить блакитним полум'ям (температура займання +650...+750 °С). Він має теплову здатність 5000 – 8000 ккал/м<sup>3</sup>. Величина теплотворної здатності прямо пропорційна вмісту метану, який, у свою чергу, залежить від сировини, що використовується для одержання біогазу. За визначенням, одна ккал – це тепло, потрібне для того, щоб підняти температуру 1 кг (літра) води на один градус. Отже, корисне тепло, що міститься в одному кубометрі біогазу, є достатнім для доведення до кипіння 100 кг (літрів) води з початковою температурою 20 °С або забезпечення протягом 4 – 5 годин горіння лампи потужністю 60 – 100 Вт.

У таблиці 2.1 наведена питома теплота згорання палива.<sup>12</sup>

Таблиця 2.1 – Питома теплота згорання палива

Паливо	ккал/кг	кДж/кг
Деревина	2960	12400
Торф	2900	12100
Кам'яне вугілля	6450	27000
Бензин	10500	44000
Гас	10400	43500
Дизельне паливо	10300	43000
Зріджений газ	10800	45200
Природний газ	8000	33500
Біогаз	7500	31400

У порівнянні з іншими газами для займання біогазу потрібно менше повітря. Для повного згорання 1 дм<sup>3</sup> біогазу необхідно близько 5,7 дм<sup>3</sup> повітря, в той час як для бутану – 30,9 дм<sup>3</sup> і для пропану – 23,8 дм<sup>3</sup>, які володіють теплотворною здібністю майже в 3 рази вище, ніж біогаз, і дають в 2 рази більше полум'я.

Біогаз – нетоксичний, безбарвний, не має запаху. Проте, в разі наявності малої кількості сірководню, він може мати слабкий запах тухлих яєць. Даний запах зникає при спалюванні. Біогаз використовується не тільки як паливо, але й у вигляді його основних складових – метану та вуглекислого газу, що значно підвищує економічну цінність біогазу як нетрадиційного джерела енергії. Його застосування сприяє

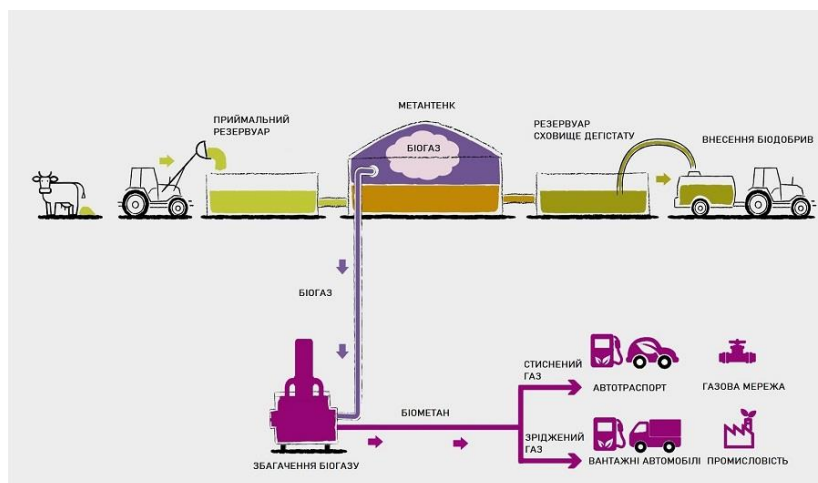
покращенню екологічної ситуації та дозволяє отримувати високоякісні органічні добрива.

Метан використовується як паливо, тоді як вуглекислий газ знаходить застосування як інертний газ для зварювання, заправлення вогнегасників, у харчовій промисловості та як «добриво» для теплиць. Таким чином, біогаз можна використовувати як аналог природного газу – його накопичують, транспортують, застосовують для виробництва електроенергії та використовують як паливо для двигунів внутрішнього згорання.

### 2.3 Етапи отримання біометану з біогазу

Біометан – це паливо у газоподібному стані, яке отримують шляхом очищення біогазу, досягаючи концентрації метану на рівні 95 – 98 %. Він має значні переваги над біогазом. Зазвичай, біогазові установки спершу виробляють біогаз із вмістом метану 50 – 55 %, після чого з нього генерують електроенергію та тепло. Такі установки зазвичай розташовані у сільській місцевості поблизу джерел сировини (як – от гній, силос та інші сільськогосподарські відходи). Проте значна частина теплової енергії втрачається, адже у сільській місцевості часто відсутні великі споживачі тепла, що знижує ефективність використання біогазу. Виробництво біометану шляхом збагачення біогазу до якості природного газу дає змогу подавати його до газової мережі, спрощувати транспортування і виробляти електроенергію та тепло в місцях, де є стабільне споживання теплової енергії. Це значно підвищує ефективність використання енергії, що міститься в біогазі.

На рисунку 2.5 зображена біометанова станція.



## Рисунок 2.5 – Біометанова станція

Згідно даної схеми біометанова станція складається з наступних основних компонентів:

### **1. Приймальний резервуар:**

Уся сировина, що надходить на біогазову станцію, завантажується у приймальний резервуар. Основна функція цього резервуару – приймати органічну сировину та забезпечувати її подачу до метантенка. Приймальний резервуар може бути оснащений мішалкою для зберігання рідкої біомаси або мати систему подачі для твердої біомаси. подача сировини в метантенк здійснюється відповідно до технологічної карти.

### **2. Метантенк**

Процес зброджування органічної сировини здійснюється у безкисневому середовищі в метантенку з інтенсивним перемішуванням. Метантенки обладнані мішалками, які забезпечують рівномірне перемішування, що запобігає утворенню кірки, плаваючого шару та температурних зон. Гідравлічний час перебування біомаси в метантенку залежить від її складу і може тривати від 20 до 45 діб.

Найвища ефективність зброджування досягається у мезофільному (35 – 38 °С) або термофільному (50 – 55 °С) температурних діапазонах. Вибір оптимальної температури визначається комбінованими властивостями біомаси, що дозволяє досягати найкращих результатів у біогазовому виробництві. Економічна ефективність процесу залежить від стабільності виробничих процесів, і тому в біогазових станціях використовується система зовнішніх теплообмінників, що дозволяє виконувати технічне обслуговування за кілька годин без зупинки процесу біогазового виробництва.

### **3. Газосховище – газгольдер – зберігання біогазу**

Зберігання біогазу допомагає урівноважити коливання в його виробництві. Об'єм газосховища зазвичай розраховується на кілька годин генерації біогазу. Газосховище може бути розміщене на метантенку, резервуарі для зберігання дигестату або як окреме наземне сховище у формі сфери. Вибір розташування залежить від конфігурації біогазової станції, територіальних обмежень і специфічних вимог проєкту.

#### **4. Резервуар – сховище дигестату**

Після завершення зброджування в метантенку дегазована біомаса перекачується до резервуару – сховища, де зберігається до часу внесення в ґрунт як добриво. Об'єм такого сховища зазвичай розраховується на 6 – 8 місяців для накопичення дигестату. Альтернативою є процес концентрування дигестату. Резервуар – сховище може мати форму циліндричної ємності, відкритого або закритого типу, залежно від вимог зберігання.

#### **5. Аварійний факел**

Як запобіжний засіб на біогазовій станції встановлюється аварійний факел для безпечного спалювання надлишків біогазу.<sup>13</sup>

#### **6. Виробництво біометану**

На заводах із виробництва біометану сирій біогаз очищується до рівня, що дозволяє отримати біометан — відновлюваний аналог природного газу, також відомий як біоприродний газ. Після очищення його можна подавати в газову мережу. Процес перетворення біогазу в біометан включає видалення домішок, таких як сірководень ( $H_2S$ ), аміак ( $NH_3$ ) і водяна пара ( $H_2O$ ). На наступному етапі з газу видаляють вуглекислий газ ( $CO_2$ ), що дозволяє отримати біометан із необхідними властивостями для подачі в газову мережу. Для цього потрібно налаштувати тиск, теплотворну здатність і, за необхідності, провести одоризацію.

Основні етапи перетворення біогазу на біометан включають:

- видалення сірки;
- сушіння газу;
- збагачення метаном (усунення  $CO_2$ );
- видалення додаткових газів (галогенопохідних вуглеводнів, кремнієвих сполук, аміаку);
- очищення вихлопних газів для зниження впливу на клімат.

Для надійної подачі біометану в мережу потрібна високоякісна десульфуризація, яка може виконуватися біологічними, хімічними, адсорбційними або сорбційно – каталітичними методами. Сушіння біогазу, що містить водяну пару, є необхідним для запобігання корозії та захисту наступних етапів очищення.

Найпоширеніші методи сушіння – адсорбція на силікагелі, оксиди алюмінію, молекулярні сита, конденсаційне сушіння та гліколеве промивання.

Завдяки зазначеним процесам вміст метану в біогазі підвищується з 50 – 55 % до 98 %, залежно від вимог мережі. Сьогодні для очищення біогазу використовуються такі методи:

- адсорбція з перемінним тиском;
- промивка водою під тиском;
- фізичне та хімічне промивання;
- мембранне розділення;
- кріогенне очищення.

Також рекомендуються певні етапи підготовки біогазу відповідно до його початкової якості.

Для видалення метилсилоксанів та важких вуглеводнів застосовується адсорбція на активованому вугіллі, яка часто проводиться у двох послідовних адсорберах.

Для доочищення бідного газу обирають методи залежно від вмісту метану: термічне окислення для газу з низьким вмістом метану, каталітичне спалювання для видалення важких вуглеводнів без сірки, або спалювання бідного газу для високих концентрацій метану.<sup>14</sup>

## РОЗДІЛ 3

# ЗАКОНОДАВЧА БАЗА ЄС ТА УКРАЇНИ У СФЕРІ БІОГАЗОВИХ ТА БІОМЕТАНОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

### 3.1 Законодавча база ЄС у сфері біогазових та біометанових технологій

Європейський Союз активно формує та вдосконалює законодавчу базу у сфері біогазових та біометанових технологій, оскільки розглядає цей напрям як важливу частину своєї стратегії з досягнення сталого розвитку. Попит на біогаз та біометан зростає завдяки його здатності зменшити залежність від традиційних енергоресурсів, скоротити викиди парникових газів та зробити вагомий внесок у реалізацію кліматичних цілей ЄС. Оскільки однією з ключових задач Європейського Союзу є перехід до відновлюваної енергетики, тому виробництво біогазу та біометану, виступає як надійне рішення для забезпечення енергетичних потреб екологічними методами.

Законодавство ЄС у цій галузі охоплює комплекс важливих питань, таких як підтримка екологічної стабільності, обґрунтована економічна ефективність та зміцнення енергетичної незалежності країн – членів. Основні правові акти, що визначають умови розвитку біогазових та біометанових технологій, встановлюють чіткі стандарти та правила їх безпечного і раціонального впровадження, одночасно забезпечуючи збалансований підхід до екологічних та економічних інтересів країн ЄС.

Загальна законодавча база Європейського Союзу, у сфері біогазових та біометанових технологій, наведена в таблиці 3.1.<sup>16, 17, 18, 19, 3, 20, 21, 22</sup>

Таблиця 3.1 – Загальна законодавча база Європейського Союзу щодо відновлюваної енергетики.

Назва	Коротка інформація про документ
Директива 2009/73/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про спільні правила внутрішнього ринку природного газу» <sup>16</sup>	Спрямована на запровадження спільних правил транспортування, розподілу, постачання та зберігання природного газу. В основному це стосується природного газу, біометану, біогазу та газу з біомаси.

### Закінчення таблиці 3.1

Назва	Коротка інформація про документ
Директива 2009/28/ЄС RED I «Про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел та якою вносяться зміни до, а в подальшому скасовуються Директиви 2001/77/ЄС та 2003/30/ЄС» <sup>17</sup>	Встановлює правову основу для розвитку відновлюваних джерел енергії в ЄС, зокрема завдяки національним планам і обов'язковим цілям для кожної країни.
Директива 2012/27/ЄС «Про енергоефективність» <sup>18</sup>	Встановлює загальну структуру заходів для сприяння енергоефективності в Європейському Союзі.
European Green Deal (2015 рік) <sup>19</sup>	Ініціатива Європейського Союзу, спрямована на перетворення Європи на перший у світі кліматично нейтральний континент до 2050 року, розвиток економіки, покращення здоров'я населення та якості життя, а також вирішення кліматичних та екологічних проблем.
Директива 2018/2001/ЄС RED II <sup>3</sup>	Встановлює жорсткі вимоги щодо частки відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі країн ЄС.
Fit for 55 (2021 рік) <sup>20</sup>	Метою програми є досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року.
REPowerEU (2022 рік) <sup>21</sup>	Пропозиція Європейської комісії припинити залежність від російського викопного палива до 2030 року у відповідь на російське вторгнення в Україну в 2022 році.
Директива 2023/2413/ЄС RED III <sup>22</sup>	Збільшує частку відновлюваної енергії в загальному енергоспоживанні Європейського Союзу до 42,5 % до 2030 року, з можливістю додаткового індикативного підвищення на 2,5 % для досягнення показника у 45 %. Встановлює амбітні цільові орієнтири для секторів транспорту, промисловості, будівництва та охолодження.

Надалі ми розглянемо кожен документ, що регулює сферу біогазу та біометану детальніше. Такий аналіз дозволить нам розглянути правові основи, вимоги та

можливості, які відкриваються перед галуззю відновлюваної енергетики в Європейському Союзі.<sup>15</sup>

### **3.1.1 Директива 2009/73/ЄС**

Директива 2009/73/ЄС спрямована на запровадження спільних правил транспортування, розподілу, постачання та зберігання природного газу. В основному це стосується природного газу, біометану, біогазу та газу з біомаси.

Правила організації сектору спрямовані на створення конкурентного, безпечного та екологічно стійкого ринку природного газу. Ця Директива вказує на те, що держави – члени можуть накладати на підприємства, які працюють у газовому секторі, зобов'язання щодо надання суспільних послуг, які охоплюють питання безпеки та безпеки постачання, регулярності та якості послуг, ціни, захисту навколишнього середовища та енергоефективності.<sup>16</sup>

### **3.1.2 Директива 2009/28/ЄС RED I**

Директива 2009/28/ЄС, відома як RED I, – це документ Європейського Союзу, який визначив основні правила та цілі для розвитку відновлюваних джерел енергії. Її головна мета – до 2020 року досягти 20 % частки відновлюваної енергії в загальному споживанні енергії в ЄС та 10 % у транспортному секторі. Це стало важливим кроком до зниження викидів парникових газів і підвищення енергетичної безпеки.

RED I стимулювала розвиток технологій для виробництва біогазу й біометану, підкреслюючи їх важливість у досягненні кліматичних цілей. Ці джерела енергії сприяють економічному розвитку регіонів, адже їх виробництво використовує місцеві ресурси, створюючи робочі місця й підтримуючи підприємства на місцях.

Крім того RED I підкреслює важливість скорочення викидів парникових газів і зменшення залежності від викопного палива. Біогаз і біометан відіграють ключову роль у цій стратегії завдяки своїй здатності замінити традиційні джерела енергії, використовуючи місцеві ресурси. Це створює можливості для розвитку малих і

середніх підприємств, особливо у сільських регіонах, що сприяє створенню робочих місць та економічному зростанню.<sup>17</sup>

### **3.1.3 Директива 2012/27/ЕС**

Директива 2012/27/ЕС встановлює спільні рамки для просування заходів з енергоефективності в Європейському Союзі щоб забезпечити досягнення головної цілі ЄС досягнення енергоефективності.

Згідно даної Директиви встановлюються правила, спрямовані на усунення бар'єрів на енергетичному ринку та подолання провалів ринку, які перешкоджають ефективності постачання та використання енергії.<sup>18</sup>

### **3.1.4 European Green Deal**

European Green Deal – це амбітна кліматична політика ЄС, яка спрямована на те, щоб до 2050 року Європа стала першим кліматично нейтральним континентом. Це вимагає фундаментальної трансформації енергетичної системи. Енергетичний союз є основним політичним інструментом для здійснення цієї трансформації, яка спрямована на надання безпечної, сталої, конкурентоспроможної та доступної енергії всім споживачам ЄС – домогосподарствам і підприємствам.

У лютому 2015 року Європейська комісія запустила нову стратегію стійкого Енергетичного союзу з перспективною політикою щодо зміни клімату.

Мета Енергетичного союзу – надати споживачам ЄС – домогосподарствам і підприємствам – безпечну, стійку, конкурентоспроможну та доступну енергію. Досягнення цієї мети вимагатиме фундаментальної трансформації енергетичної системи Європи.

Стратегія Енергетичного Союзу складається з п'яти тісно взаємопов'язаних і взаємопідсилювальних аспектів, спрямованих на забезпечення більшої енергетичної безпеки, стійкості та конкурентоспроможності:

- енергетична безпека, солідарність і довіра. Диверсифікація європейських джерел енергії та краще та ефективніше використання енергії, виробленої в ЄС;

- повністю інтегрований внутрішній енергетичний ринок. Використання з'єднувальних мереж, які забезпечують вільний перетік енергії через ЄС – без будь-яких технічних чи нормативних бар'єрів. Лише тоді постачальники енергії зможуть вільно конкурувати та забезпечувати найкращі ціни на енергію;

- енергоефективність сприяє зменшенню попиту. Споживання менше енергії для зменшення забруднення та збереження внутрішніх джерел енергії. Це зменшить потребу ЄС в імпорті енергоносіїв;

- декарбонізація економіки. Просування глобальної угоди щодо зміни клімату та заохочення приватних інвестицій у нову інфраструктуру та технології;

- дослідження, інновації та конкурентоспроможність. Підтримка проривів у низьковуглецевих технологіях шляхом координації досліджень і допомоги у фінансуванні проектів у партнерстві з приватним сектором.<sup>19</sup>

### **3.1.5 Директива Ради ЄС 2001/2018/ЄС RED II**

У грудні 2018 року набула чинності переглянута Директива Ради ЄС 2001/2018/ЄС (RED II) щодо відновлюваних джерел енергії. Ця директива спрямована на те, щоб країни Європейського Союзу виконували вимоги зі скорочення викидів парникових газів під час виробництва палива з відновлюваних джерел відповідно до положень Паризької угоди.

RED II встановлює, що до 2030 року частка відновлюваних джерел енергії в загальному споживанні енергії в ЄС повинна досягти 32 %.

Директива також визначає критерії сталості та рівня викидів парникових газів для біорідин, що використовуються як біопаливо у транспортному секторі. У разі невідповідності цим критеріям біопаливо не зможе отримати фінансову підтримку від держави. Крім того, RED II запроваджує вимоги сталості для продукції лісового господарства та встановлює критерії для викидів парникових газів, пов'язаних із твердим і газоподібним паливом із біомаси.

Оператори ринку можуть обирати між використанням стандартних показників інтенсивності парникових газів, які надає RED II, або розраховувати фактичні показники для свого виробництва. Основна вимога – дотримання визначеного RED

II рівня скорочення викидів по всьому ланцюгу виробництва біопалива. Цей показник залежить від дати введення біопаливного заводу в експлуатацію (наприклад, для установок, що почали роботу після жовтня 2015 року, рівень скорочення має становити 60 %).<sup>3</sup>

### 3.1.6 Fitfor55

14 липня 2021 року Європейська Комісія представила пакет законодавчих ініціатив «Fit for 55», спрямований на досягнення проміжних цілей Європейського Зеленого Курсу (European Green Deal), який передбачає досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. Одним із головних завдань цього плану є розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), включно з біогазом та біометаном, що відіграють важливу роль у переході до чистої енергетики. Для цього необхідні масштабні зміни у сфері виробництва енергії, транспорту, видобутку ресурсів, енергоефективності та землекористування.

Для досягнення цих амбітних цілей ЄС підвищив план зі скорочення викидів CO<sub>2</sub> до 55 % до 2030 року (попередня ціль – 40 %) порівняно з рівнем 1990 року.

У рамках прискорення енергетичного переходу Єврокомісія вже запропонувала кілька стратегій, зокрема:

- Стратегію розвитку офшорної відновлюваної енергетики (листопад 2019);
- Промислову стратегію ЄС (березень 2020, оновлену у червні 2021);
- Стратегію інтеграції енергосистеми та Стратегію розвитку водневих технологій (червень 2020).

Політика декарбонізації економіки передбачає значне збільшення частки вітроенергетики у виробництві електроенергії – з 16 % до 50 % до 2050 року. Для цього необхідно наростити потужності до 1000 ГВт наземних вітрових станцій (зараз 165 ГВт) та 300 ГВт офшорних (зараз 15 ГВт). План передбачає будівництво 15 ГВт вітрових потужностей на рік до 2025 року, але для досягнення цілі скорочення викидів на 55 % цей показник потрібно збільшити до 30 ГВт щорічно.

«Fit for 55» також встановлює конкретні цілі до 2030 року:

- частка ВДЕ в енергобалансі має досягти 40 % (раніше 32 %);
- покращення енергоефективності на 39 % (було 32,5 %);
- частка ВДЕ в кінцевому споживанні енергії має становити 36 %.

Для підтримки кліматичних цілей ЄС розроблено «Механізм вуглецевого коригування на кордоні» (СВАМ). Цей механізм доповнює систему торгівлі викидами (EU ETS), але замість квот використовуються спеціальні СВАМ – сертифікати, які імпортери повинні купувати для товарів із високим рівнем викидів CO<sub>2</sub> (наприклад, сталь, цемент, добрива, алюміній та електроенергія). Ціна сертифіката визначатиметься на основі середньої вартості квот у EU ETS за попередній тиждень, а один сертифікат відповідає 1 тонні CO<sub>2</sub>.<sup>20</sup>

Етапи впровадження СВАМ:

- 2023 – 2025 роки – перехідний період, протягом якого компанії звітуватимуть про викиди CO<sub>2</sub>.

- 2026 рік – повноцінний запуск системи з обов’язковою купівлею сертифікатів.

СВАМ застосовуватиметься до всіх імпортних товарів із країн, які не входять до ЄС, крім учасників Європейської економічної зони та Швейцарії. Після завершення перехідного періоду Єврокомісія оцінить ефективність механізму та може розширити список товарів і враховувати непрямі викиди.

СВАМ також охоплюватиме імпорт електроенергії з країн, які планують інтегрувати свої ринки з ринком ЄС. До повної інтеграції такі країни можуть бути звільнені від СВАМ за умови виконання вимог щодо декарбонізації. У 2030 році ЄС перегляне надані звільнення та оцінить виконання встановлених зобов’язань.<sup>20</sup>

### **3.1.7 REPowerEU**

18 травня 2022 року Європейська комісія оприлюднила деталі плану REPowerEU. Це категорична відповідь ЄС – звільнитися від імпорту російської енергії, дотримуючись кліматичних цілей.

REPowerEU частково підтримується розширенням виробництва та використання відновлюваної енергії, включно з біометаном, одним із доступних зараз відновлюваних газів, готових до подальшого розширення. Новий пакет

REPowerEU надає набір інструментів для відокремлення ЄС від російського викопного палива, а також для посилення Зеленої угоди ЄС та залучення інвестицій у більш сталу та стійку суміш енергоресурсів.

План структурований навколо 3 ключових напрямів дій: диверсифікація джерел енергії, прискорення переходу на чисту енергію та збільшення енергозбереження. З точки зору законодавства, план передбачає цілеспрямований перегляд цілей Fitfor55 з енергоефективності та відновлюваних джерел енергії.

Він також пропонує інструменти для прискорення видачі дозволів на ВДЕ та рекомендації щодо полегшення закачування газу з відновлюваних джерел. Це крок до досягнення кліматичних цілей, циркулярної біоекономіки та безпеки постачання по всій Європі.

Крім того план матиме прямий вплив на розвиток відновлюваного газу. Біометан, разом із зеленим воднем, є одними з пріоритетів Європейської комісії для досягнення більш сталої та суверенної енергетичної системи. REPowerEU запроваджує План дій щодо біометану з цільовими заходами для сприяння сталому виробництву та використанню біогазу та біометану на рівні ЄС і національному рівні, а також закачування біометану в газову мережу.

План передбачає стимули для перетворення біогазу на біометан, підтримку інновацій і прямий доступ до фондів, позик, грантів та інших фінансових інструментів. Він також пропонує створити промисловий альянс з виробництва біометану для мобілізації всього ланцюжка створення вартості та конкретну ціль для виробництва біометану: 35 млрд кубометрів до 2030 року.

До 2030 року запропоноване розширення замінить 20% нинішнього імпорту викопного газу з росії. Біометан можна вводити безпосередньо в газову мережу без необхідності великих інвестицій в інфраструктуру. Це також гарне доповнення до енергії вітру та сонця, оскільки її можна легко накопичувати та виробляти з постійною швидкістю, допомагаючи збалансувати енергопостачання зі змінних відновлюваних джерел енергії. Розгортання біометану також є економічно вигідним. На початку 2023 року ціни на природний газ перевищували 200 євро, а сьогодні становлять близько 85 євро. Хоча це відбувається, витрати на виробництво біометану стають нижчими. Типові витрати на виробництво біометану в Європі

коливаються від 55 до 100 євро/МВт – год залежно від місця розташування, вихідної сировини, розміру та налаштування установки.

Для впровадження REPowerEU потрібно розумно поєднувати інвестиції та реформи.

Повний ланцюжок створення вартості виробників і користувачів біометану потребуватиме співпраці з державними органами та організаціями громадянського суспільства, щоб виявити поточні слабкі місця та запропонувати рішення для стійкого розширення. Сектор потребуватиме керівництва, включаючи відповідну законодавчу та фінансову підтримку в найближчі роки. Для досягнення мети до 2030 року ЄБА передбачає необхідність додаткових капіталовкладень. Європі знадобиться 48 мільярдів євро для будівництва 4000 середніх заводів і 35 мільярдів євро для будівництва 1000 великих заводів за 8 років.

Це реалістична мета: лише Німеччина побудувала 6000 заводів за 9 років. Розширення виробництва біометану можливе за допомогою стійкої сировини, включаючи відходи, сільськогосподарські залишки та послідовні культури. До 2030 року ЄБА передбачає збільшення поставок сировини для виробництва біометану з харчових відходів, промислових і міських стічних вод і сільськогосподарських залишків.

Крім енергетичної безпеки розширення виробництва біометану не тільки посилить енергетичну незалежність, але й принесе соціально – економічні та екологічні вигоди. За оцінками ЄБА, виробництво біогазу та біометану вже створило 210 000 екологічних робочих місць у Європі та заощаджує щороку 60 Мт викидів ПГ (еквівалент CO<sub>2</sub>).

Крім того, виробництво біогазу та біометану повністю відповідає принципам циркулярної економіки. З одного боку, відходи оцінюються та використовуються як сировина для виробництва енергії. З іншого боку, ми отримуємо дигестат як свого роду «залишок», який ми називаємо побічним продуктом. Дигестат є чудовим органічним добривом, і його використання допомагає замінити енергоємне, екологічно шкідливе виробництво мінеральних добрив. Це зменшує залежність ЄС від імпорту добрив і допомагає фермерам знизити витрати на виробництво, обмежуючи волатильність цін на продукти харчування. Це лише приклад того, як

виробництво відновлюваного біогазу/біометану може доповнювати та підтримувати стале сільське господарство. <sup>21</sup>

### **3.1.8 Директива 2023/2413/ЄС RED III**

20 листопада 2023 року набрала чинності Директива 2023/2413/ЄС, яка вносить зміни до Директиви 2018/2001/ЄС, Регламенту 2018/1999/ЄС та Директиви 98/70/ЄС щодо розвитку використання енергії з відновлюваних джерел (ВДЕ).

Основним досягненням цієї Директиви стало оновлення базових положень про ВДЕ, які визначають обов'язковий рівень частки ВДЕ у кінцевому споживанні енергії. Відповідно до нових цілей, країни ЄС повинні досягти щонайменше 42,5 % частки ВДЕ до 2030 року, з можливістю збільшення до 45 %.

Також встановлено ціль для інноваційних ВДЕ – технологій на рівні не менше 5 % нових енергетичних потужностей до 2030 року.

Основні завдання для країн ЄС:

- до 21 лютого 2024 року: країни повинні забезпечити, щоб процедура надання дозволів для станцій ВДЕ, підключення до мережі, а також будівництво інфраструктури вважалися пріоритетними для суспільних інтересів, здоров'я та безпеки;

- до 21 травня 2025 року: введення в дію законодавчих актів та адміністративних положень для виконання вимог Директиви 2023/2413;

- До 21 травня 2025 року: проведення картографування територій для визначення потенціалу ВДЕ та відповідних земельних, підземних, морських і водних ділянок для розгортання інфраструктури;

- до 31 грудня 2025 року: затвердження співпраці з іншими країнами ЄС щодо реалізації спільних проєктів у сфері ВДЕ;

- до 31 грудня 2030 року: домовленість про запуск принаймні двох спільних проєктів.

- до 31 грудня 2033 року: країни з річним споживанням електроенергії понад 100 ТВт – год повинні запуснути третій спільний проєкт;

- до 21 лютого 2026 року: ухвалення планів територій для «зон прискореного розвитку ВДЕ» (renewables acceleration areas), де вплив на довкілля буде

мінімальним. Пріоритет надається дахам, фасадам будівель, транспортній інфраструктурі, промисловим майданчикам та деградованим землям;

- до 2030 року: забезпечення частки 42 % відновлюваного водню у промисловому секторі (60 % до 2035 року);

- досягнення 29 % ВДЕ у транспортному секторі: країни з морськими портами повинні досягти 1,2 % частки відновлюваного палива небіологічного походження у морському транспорті.

Вимоги до місцевої влади:

- інтеграція ВДЕ у планування та будівництво міської інфраструктури, промислових та житлових зон, а також транспортної системи;

- розвиток технологій для опалення та охолодження на основі ВДЕ;

- сприяння участі громадськості у проектах із ВДЕ та розробці планів визначення зон для їх прискореного розвитку;

- забезпечення програм навчання у сфері ВДЕ, включно з сонячними фотоелектричними системами, накопичувачами енергії та зарядними станціями.

Обов'язки Єврокомісії:

- до 21 листопада 2024 року: створити базу даних для моніторингу рідкого та газоподібного відновлюваного палива;

- до 31 грудня 2025 року: запровадити систему маркування для нових установок ВДЕ. Виробники використовуватимуть гарантії походження для підтвердження відповідності цим вимогам.

### **3.2 Законодавча база України у сфері біогазових технологій**

Законодавче регулювання відновлюваної енергетики в Україні охоплює значну кількість постанов, розпоряджень, наказів і роз'яснень, що забезпечують функціонування цієї галузі, основними законами даної сфери є:

Закон України «Про альтернативні види палива» (прийнятий 14 січня 2000 року). Він визначає соціальні, правові, екологічні, економічні та організаційні основи виробництва та використання альтернативних видів палива, а також

передбачає заходи для збільшення їх частки до 20 % у загальному енергоспоживанні країни до 2020 року.

Згідно даного закону біогаз і біометан, отримані з органічних відходів та біомаси, визнаються альтернативними видами палива, що підлягають державному стимулюванню та можуть використовуватися для заміщення традиційних паливних ресурсів.

Закон України «Про альтернативні джерела енергії» (від 20.02.2003 року) визначає екологічні, економічні, правові та організаційні засади використання альтернативних джерел енергії та сприяння розширенню їх використання у паливно-енергетичному комплексі. Біогаз і біометан, отримані з відновлюваних ресурсів, визнаються пріоритетними видами енергії, що підлягають державному стимулюванню, оскільки їх використання сприяє підвищенню енергетичної безпеки України та зменшенню негативного впливу на довкілля.

Закон України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу» (від 05.04.2005 року). Він має на меті створити умови для ефективного використання палива при виробництві енергії. Та спрямований на розвиток технологій, які дозволяють одночасно виробляти тепло й електрику, підвищуючи надійність енергопостачання в регіонах і залучаючи інвестиції для створення сучасних когенераційних установок. Згідно даного закону біогаз і біометан, як екологічно чисті види палива, можуть використовуватись у когенераційних установках, що дозволяє зменшити витрати на паливо, знизити шкідливі викиди та підвищити ефективність енергетичних процесів.

Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива» (від 21.05.2009 року), спрямований на розвиток національного паливного ринку на основі відновлювальної сировини, зокрема біомаси. Для досягнення цієї мети Закон передбачає комплекс заходів, серед яких створення сприятливих умов для будівництва та експлуатації біогазових установок. Зокрема, планується запровадження пільгового кредитування, зниження податкового навантаження та спрощення процедур отримання дозволів.

Закон України «Про ринок електричної енергії» (від 13.04.2017 року) – даний закон не лише регулює основні аспекти функціонування енергетичної системи країни, а й приділяє увагу екологічно чистим технологіям, таким як використання біогазу та біометану. Завдяки цьому, у законі передбачені умови, які сприяють впровадженню цих джерел енергії в загальну енергосистему, створюючи нові можливості для розвитку «зеленої» енергетики.

Наприклад, стаття 58 закону дозволяє домогосподарствам і малим виробникам використовувати генератори, що працюють на біогазі чи біомасі, потужністю до 150 кВт без необхідності отримання ліцензії. Це робить технологію доступною для більш широкого кола учасників ринку. Крім того, біогаз і біометан підпадають під дію «зеленого тарифу», що стимулює виробників використовувати ці екологічно чисті джерела, допомагаючи зменшити залежність від викопного палива.

Таким чином, закон створює сприятливі умови для інтеграції відновлюваних джерел енергії в економіку країни, підтримуючи розвиток інноваційних та екологічно відповідальних технологій.

21 квітня 2023 року Кабінет Міністрів України затвердив оновлену Енергетичну стратегію країни до 2050 року. Документ окреслює основні шляхи розвитку енергетичного сектору та передбачає перетворення України на ключовий енергетичний центр для Європи. Це дозволить значно зменшити залежність європейського регіону від постачання енергоносіїв із росії.

Стратегія приділяє особливу увагу розвитку відновлюваних джерел енергії та технологій, зокрема водневої та біоенергетики, що відкриває широкі перспективи для розширення зеленої енергетики в Україні.

Крім технологічного оновлення, стратегія спрямована на інтеграцію України в європейські енергетичні ринки, що створить нові можливості для експорту зеленої енергії та покращення енергетичної безпеки регіону.

Окрім того відповідно до Закону України «Про альтернативні джерела енергії» передбачається низка важливих стимулів для розвитку «зеленої» енергетики

- гарантований «зелений» тариф для виробників електроенергії з відновлюваних джерел діятиме до 2030 року;
- прив'язка тарифу до курсу євро, що мінімізує валютні ризики для інвесторів;

•обов'язковий викуп «зеленої» енергії державним підприємством «Енергоринок», що забезпечує стабільність для виробників.

Щоб адаптувати своє законодавство до європейських стандартів, у 2011 році Україна приєдналася до Енергетичного Співтовариства. Це зобов'язало країну впроваджувати європейські норми у сфері енергетики та екології. У 2014 році ратифікована Угода про асоціацію з ЄС, у межах якої Україна взяла на себе зобов'язання досягти 11 % частки відновлюваних джерел енергії у загальному енергоспоживанні до 2020 року.

Попри наявність законодавчої бази та стимулів, розвиток відновлюваної енергетики в Україні все ще має суперечливу динаміку. Основними викликами залишаються:

- нестабільність виплат за «зеленим» тарифом;
- складнощі з отриманням дозволів для нових проєктів;
- відсутність прозорих правил ведення бізнесу у сфері відновлюваних джерел енергії.

Для усунення цих перешкод необхідно забезпечити стабільність законодавчого регулювання, спростити адміністративні процедури та створити прозорі правила гри для нових учасників ринку.<sup>23</sup>

### **3.3 Законодавча база України у сфері біометанових технологій**

В умовах воєнного стану в Україні нагальною стала потреба прискореного пошуку альтернатив для заміщення імпортованого природного газу. У цьому контексті розвиток виробництва біометану набуває ще більшої актуальності та значення. Згідно із Законом України «Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку виробництва біометану» (від 21.10.2021), Кабінет Міністрів України ухвалив Порядок функціонування реєстру біометану та привів нормативно – правову базу у відповідність до його положень.

Пропонується в рамках Порядку функціонування реєстру передбачити можливість для виробників біометану додавати до реєстру інформацію про відповідність свого продукту критеріям сталості. Це можна реалізувати

завантаженням копій сертифікатів, які підтверджують дотримання цих критеріїв. Сертифікати мають видаватися відповідно до стандартів добровільних схем сертифікації, визнаних Європейською Комісією, та рекомендацій ЄС щодо їх використання. Такий підхід дозволить українським виробникам офіційно підтверджувати відповідність вимогам сталості, передбаченим Директивою ЄС 2018/2001 від 11 грудня 2018 року.

Крім того, 2 серпня 2022 року Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП), ухвалила рішення про зниження допустимої молярної частки кисню в природному газі: з 0,02 моль.% до 0,2 моль.% для доступу до газотранспортної системи (ГТС) та до 1,0 моль.% – для підключення до газорозподільних систем (ГРС). Ці зміни спрямовані на спрощення транспортування біогазу та інтеграцію його в існуючу газову інфраструктуру. Регулятор також вніс відповідні корективи до Кодексу газотранспортної системи та Кодексу газорозподільних систем, що значно полегшує доступ виробників біогазу до цих мереж.

Загалом зміни, впроваджені НКРЕКП, є важливим кроком для підтримки розвитку ринку біометану в Україні. Вони створюють умови для інтеграції відновлюваного газу в існуючу енергетичну інфраструктуру, що дає можливість більш ефективно використовувати потенціал біогазових технологій. Зокрема, зниження вимог до молярної частки кисню в газі стало ключовим рішенням, яке спрощує доступ біометану до газотранспортної та газорозподільної систем. Це важливо для виробників, оскільки зменшує технічні обмеження, які раніше могли ускладнювати транспортування біогазу через існуючу мережу.

Доступ до газових мереж відкриває нові перспективи для українських виробників біометану. Тепер вони можуть продавати свою продукцію через наявну інфраструктуру, що значно скорочує витрати на логістику. Крім того, такі зміни стимулюють розширення виробництва, залучення інвестицій у галузь та появу нових гравців на ринку. У контексті воєнного стану, коли питання енергетичної незалежності України є особливо актуальним, це рішення допоможе зменшити залежність від імпорту природного газу.

Окрім того не менш важливою є постанова Кабінету Міністрів № 823 «Про затвердження Порядку функціонування реєстру біометану».<sup>24</sup>

Запуск цього реєстру створить прозорі правила для сертифікації біометану, що дозволить виробникам підтверджувати відповідність своєї продукції міжнародним стандартам сталості. Наприклад, використання добровільних схем сертифікації, визнаних Європейською Комісією, відкриє українському біометану доступ до європейського ринку. Це важливий крок для інтеграції України в енергетичну систему ЄС.

Ще один аспект, який заслуговує на увагу, – це вплив біометанових проєктів на розвиток місцевих громад. Оскільки біогазові установки використовують органічні відходи, такі як сільськогосподарські залишки, це сприятиме зменшенню обсягів відходів і скороченню викидів метану. Водночас це створює нові робочі місця в регіонах, розвиває місцеву економіку та допомагає громадам вирішувати екологічні проблеми.<sup>25</sup>

Порівняльний аналіз законодавчих актів ЄС та України наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльний аналіз законодавчих актів ЄС та України

<b>Законодавчий акт ЄС</b>	<b>Ключові аспекти (ЄС)</b>	<b>Законодавчий акт України</b>	<b>Ключові аспекти (Україна)</b>
Директива 2009/28/ЄС (RED I)	Досягти 20 % частки ВДЕ в загальному споживанні енергії та 10 % у транспортному секторі до 2020 року.	Закон України «Про альтернативні види палива» (2000 р.)	Збільшити частку альтернативного палива до 20 % в загальному обсязі споживання палива до 2020 року.
Директива 2018/2001/ЄС (RED II)	Підвищити частку ВДЕ до 32 % до 2030 року.	Енергетична стратегія України до 2050 року (2023 р.)	Розвивати альтернативні джерела енергії з метою значного нарощування потужностей до 2050 року. В рамках національної стратегії передбачено розвиток ВДЕ, включаючи впровадження інноваційних технологій

### Закінчення таблиці 3.2

Законодавчий акт ЄС	Ключові аспекти (ЄС)	Законодавчий акт України	Ключові аспекти (Україна)
Fit for 55	Знизити викиди CO <sub>2</sub> до 55 % (від рівня 1990 року) до 2030 року. Підвищити частку ВДЕ до 40 % та енергоефективність до 39 %.		
REPowerEU	План виробництва 35 млрд м <sup>3</sup> біометану до 2030 року для заміщення 20 % імпорту викопного газу з росії.		
Директива 2023/2413/ЄС (RED III)	Щонайменше 42,5 % ВДЕ у кінцевому споживанні енергії до 2030 року (індикативно – 45 %).		

Дана таблиця містить порівняльний аналіз законодавчих актів Європейського Союзу та України у сфері відновлюваної енергетики. Європейські акти, такі як директиви RED I, RED II, RED III, та ініціативи на зразок REPowerEU, чітко визначають амбітні цілі щодо збільшення частки відновлюваних джерел енергії, зниження викидів CO<sub>2</sub> та підтримки інновацій. Ці цілі підкріплюються конкретними показниками, які повинні бути досягнуті у визначені строки, наприклад, 45 % ВДЕ в кінцевому споживанні енергії до 2030 року.

З іншого боку, українські законодавчі акти, зокрема Закон «Про альтернативні види палива» та Енергетична стратегія до 2050 року, які в основному спрямовані на загальний розвиток альтернативної енергетики та поступову адаптацію до європейських стандартів. Стратегія України декларує прагнення стати енергетичним хабом для Європи, але її цілі є менш деталізованими, ніж у ЄС.

Таким чином, європейські акти виглядають амбітнішими та конкретнішими, тоді як українські лише починають формувати чіткі рамки для інтеграції в європейський енергетичний простір, що є перспективним, але потребує подальших зусиль і чіткішого планування.

## РОЗДІЛ 4

# ПОТЕНЦІАЛ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ І БІОМЕТАНУ В УКРАЇНІ ТА ЄС

### 4.1 Потенціал сировини для виробництва біогазу та біометану в ЄС

Європейський Союз має величезний потенціал для розвитку біогазу та біометану як джерел відновлюваної енергії. ЄС має багатий вибір органічної сировини, передові технології та амбітну кліматичну політику, спрямовану на скорочення викидів і зміцнення енергетичної незалежності.

За даними на 2022 рік, ЄС виробляє близько 21 мільярда кубометрів біогазу та близько 4,2 мільярда кубометрів біометану щороку, що на 20 % більше порівняно з 2021 роком.<sup>26</sup>

Це не тільки перевищує річне споживання природного газу Польщею, а й покриває близько 6 % усіх потреб ЄС у газі. І хоча ці цифри вражають, це лише початок. Згідно з оцінками експертів, до 2030 року обсяги виробництва біогазу можуть подвоїтися, а до 2050 року – досягти 370 – 400 мільярдів кубометрів, що відповідає третині всього нинішнього споживання природного газу в регіоні.

На сьогоднішній день однією з найважливіших переваг біогазу є можливість його отримання з відходів, які у звичайних умовах залишаються невикористаними.<sup>24</sup>

Загалом у ЄС сировину для біогазу можна розділити на кілька ключових категорій:

#### 1. Сільське господарство.

Сільське господарство – це основне джерело сировини для біогазу. Близько 65 – 70 % виробництва забезпечують:

- гній від великої рогатої худоби, свиней і птиці. Його величезна кількість генерується фермами по всій Європі. Наприклад, використання навіть частини гною дозволяє значно скоротити викиди парникових газів і одночасно отримати енергію;
- рештки врожаю, такі як солома, листя та стебла. Ці матеріали зазвичай залишаються у полі або спалюються, але вони мають величезний потенціал для

зброджування. За підрахунками, лише використання соломи в ЄС може забезпечити 50 мільярдів кубометрів біометану щороку.

- енергетичні культури, включаючи кукурудзу, сорго та траву. У Німеччині, Угорщині та Австрії такі культури використовуються для отримання стабільних обсягів біогазу.

## 2. Органічні побутові відходи.

Велика частина біогазу може надходити з відходів, які утворюються в наших домівках: залишки їжі, зіпсовані продукти, рослинні рештки. Завдяки розвиненим системам роздільного збору в багатьох країнах ЄС ці матеріали вже активно переробляються на біогаз. За підрахунками, органічні відходи можуть генерувати додаткові 30–40 мільярдів кубометрів біогазу щороку.

## 3. Промислові органічні відходи.

Залишки виробництва в харчовій промисловості та виробництві напоїв також є сировиною для виробництва біогазу, окрім того вони мають значний потенціал. Наприклад, у Бельгії, Данії та Польщі до 10 % біогазу виробляється з органічних залишків, які утворюються під час переробки фруктів, м'яса, молока чи пива. Крім того у же Польщі та Бельгії залишки харчової промисловості також активно переробляються в біометан.

## 4. Лісова біомаса.

Обрізки дерев, тирса, тріска – усе це може стати джерелом біогазу та біометану, особливо завдяки термічній газифікації. У країнах Скандинавії, де лісове господарство займає значні площі, цей ресурс використовується все активніше.

## 5. Стічні води та осад.

Очисні споруди, які переробляють стічні води, генерують осад – багатий на органічні речовини. У Польщі, Литві та Швеції вже зараз близько 8 % біогазу виробляється з осаду стічних вод.

## 6. Сміттєзвалища.

Звалищний газ – ще одне джерело, яке активно використовується для отримання біогазу, особливо у Великобританії, Іспанії та Франції.

Загалом на сьогоднішній день Німеччина залишається найбільшим виробником біогазу та біометану в ЄС, забезпечуючи 45 % загального обсягу. Франція, Італія, Іспанія, Швеція та Польща також є значними учасниками цього ринку.

Основним потенціалом для зростання виробництва є активніше використання:

- сільськогосподарських відходів, які нині значною мірою залишаються невикористаними;
- побутових органічних відходів, зокрема через впровадження роздільного збору в усіх країнах ЄС;
- нових технологій.

Таким чином, біогаз і біометан стають не лише важливими джерелами енергії, а й інструментом для створення сталого майбутнього. До 2050 року, за умови активних інвестицій, ці джерела можуть задовольнити третину потреб Європи в газі у будь – яких сферах: від побутового споживання до промислового виробництва. Це шлях до енергетичної незалежності, екологічної рівноваги та збереження природи для майбутніх поколінь.<sup>27</sup>

На рисунку 4.1 зображено тип сировини для виробництва біогазу, який домінує в країнах ЄС.

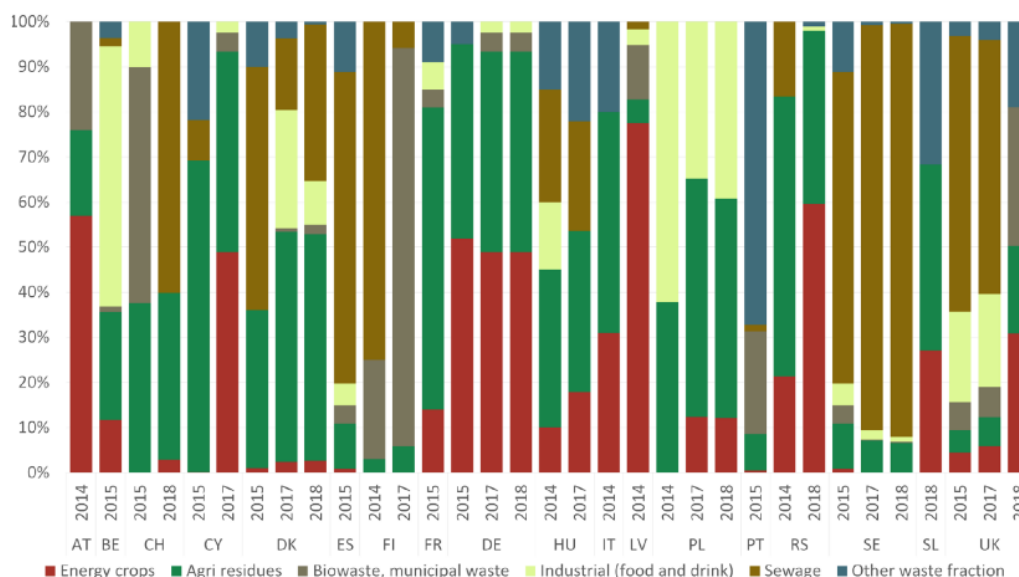


Рисунок 4.1 – Типи сировини у країнах ЄС для виробництва біогазу

Згідно даного рисунку у більшості країн переважає один основний тип сировини для виробництва біогазу, який залежить від специфіки країни. Наприклад, у Німеччині, Австрії, Латвії, Угорщині та Італії понад 70 % сировини складають енергетичні культури та сільськогосподарські відходи. У Бельгії, Данії та Польщі

значна частина біогазу та електроенергії з нього виробляється з промислових органічних відходів харчової промисловості та виробництва напоїв. У Швеції основною сировиною для виробництва біогазу є стічні води, оброблювані на очисних спорудах.<sup>28</sup>

Станом на 2024 рік джерела сировини для виробництва біогазу продовжують відрізнятися між країнами, однак загальні тенденції відображають активний розвиток галузі завдяки політиці декарбонізації та технологічним інноваціям.

В країнах Європейського Союзу основними джерелами залишаються сільськогосподарські відходи, енергетичні культури та органічні відходи з харчової промисловості. Так Німеччина, Франція та Данія лідирують завдяки використанню цих ресурсів, причому Данія активно спрямовує біометан у загальні газові мережі. Італія також є прикладом країни, яка вдало поєднує традиційні методи переробки з сучасними технологіями.

Швеція зберігає акцент на стічних водах, які є давнім джерелом для виробництва біогазу, але зростає частка використання харчових відходів. Це показує, як країна інтегрує старі підходи з новими екологічними ініціативами.

Загалом, біогазова галузь знаходиться на перехресті старих традицій та нових технологій.<sup>29</sup>

#### 4.2 Потенціал сировини для виробництва біогазу та біометану в Україні

Сировинна база для виробництва біогазу та біометану може охоплювати широкий перелік видів органічних матеріалів. Загалом можна виділити 12 окремих категорій видів сировини, як наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Категорії видів сировини, придатної для виробництва біогазу<sup>25</sup>

№	Категорія	Об'єкти збору сировини	Приклади сировини
1	2	3	4
1	Промислове тваринництво	<ul style="list-style-type: none"> <li>ферми ВРХ (молочні ферми);</li> <li>свиноферми;</li> <li>птахофабрики.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>гній ВРХ;</li> <li>гній свиней;</li> <li>послід.</li> </ul>

Закінчення таблиці 4.1.

1	2	3	4
2	Промислове рослинництво	<ul style="list-style-type: none"> <li>енергетичні культури;</li> <li>пожнивні рештки;</li> <li>покривні культури.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>силос кукурудзи;</li> <li>солома пшениці;</li> <li>стебла кукурудзи;</li> <li>жито озиме.</li> </ul>
3	Виробництво харчових продуктів, кормів та напоїв	<ul style="list-style-type: none"> <li>цукрові заводи;</li> <li>спиртові заводи;</li> <li>пивзаводи.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>жом;</li> <li>барда;</li> <li>дробина.</li> </ul>

Доцільність і масштаб використання різних видів сировини для виробництва біометану та біогазу залежать від ряду важливих факторів. Серед ключових критеріїв:

- економічна доцільність – питома вартість одиниці енергії у сировині з урахуванням витрат на доставку до біогазової станції (грн/МДж);
- технологічна складність – рівень складності переробки сировини у біогаз;
- локальна доступність – обсяг сировини в межах доцільного радіусу транспортування.

При виробництві біометану для експорту до країн, які впровадили системи обігу гарантій походження відновлюваних біопалив, вид сировини може впливати на контрактну ціну. Наприклад, матеріали, які входять до списків із «подвійним зарахуванням» виробленої енергії (згідно з Додатком IX Директиви ЄС RED II), є більш вигідними для використання.

Пріоритети у виборі сировини є відходи без альтернативного використання:

- гній, некондиційні продукти харчування, органічна фракція твердих побутових відходів (ТПВ), осади стічних вод;
- пожнивні рештки, які не використовуються як корм, наприклад, солома зернових, стебла кукурудзи;
- побічні продукти тваринного походження, непридатні до споживання людиною;
- покривні культури. Вирощувані між основними харчовими культурами, вони забезпечують додаткову сировину для біогазу. За оцінками Європейської Біогазової Асоціації, близько 25 % потенціалу виробництва біометану можна забезпечити завдяки використанню покривних культур;

• побічні продукти промисловості. Наприклад, жом цукрових буряків, відходи зернової обробки, фуз і шрот олійних культур. Такі ресурси зазвичай не мають високого попиту або втратили свої товарні властивості.

Загалом в Україні нині для виробництва біогазу використовують переважно п'ять основних видів сировини: свинячий гній, гній великої рогатої худоби, курячий послід, жом цукрових буряків і силос кукурудзи. За даними UABIO, ці види сировини забезпечують близько 97 % загального обсягу використання за свіжою масою (рис. 4.2) і генерують приблизно 92 % усього виробленого біогазу (рис. 4.3).<sup>30</sup>

Найбільші обсяги біогазу наразі отримують із жому цукрових буряків (39,8 %) та силосу кукурудзи (38,4 %). Крім того, у менших кількостях застосовують половину зернових культур, мелясу, жирові флотошлами та інші види сировини.<sup>30</sup>

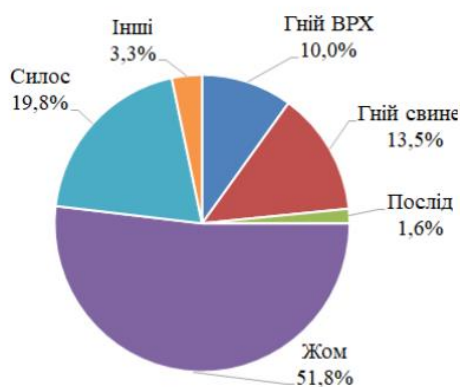


Рисунок 4.2 – Структура споживання свіжої маси сировини для виробництва біогазу

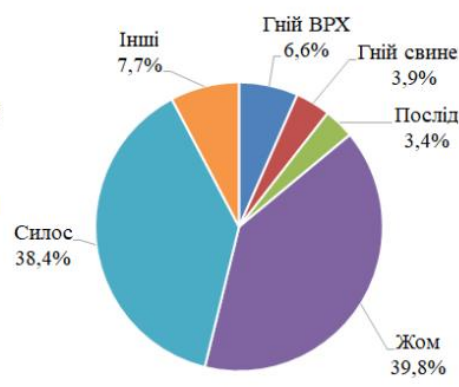


Рисунок 4.3 – Структура обсягів виробництва біогазу за видами сировини

Останнім часом у виробництві біогазу з'являються нові напрямки, зокрема використання соломи зернових і стебел кукурудзи, які мають значний потенціал.

Однак починаючи з 2018 року, у Європі припинили будівництво нових виробництв біометану, основною сировиною для яких був силос кукурудзи. Це пов'язано із запровадженням жорсткіших екологічних стандартів і вимог сталості. Відповідно, при експорті біометану з України, виробленого із силосу кукурудзи, контрактна ціна може бути нижчою через обмеження з боку ринку ЄС.<sup>25</sup>

Однак для внутрішнього споживання в Україні використання силосу кукурудзи залишається економічно та технологічно доцільним. Це пояснюється тим, що нинішній рівень використання цієї сировини не створює помітної конкуренції з

харчовими продуктами чи кормами для тварин. Жорсткі екологічні вимоги, що діють у ЄС, можуть бути адаптовані в Україні у м'якшій формі, враховуючи її роль як ключового експортера зернових для країн Азії та Африки.

Серед аргументів щодо доцільності подальшого використання силосу кукурудзи на біогаз в Україні можна навести такі:

- великі площі орних земель. Україна має найбільші площі ріллі серед європейських країн і входить до топ – 10 країн світу за цим показником. На одного жителя припадає 0,74 га ріллі, що є одним із найвищих показників у світі (3 – те місце в Європі та 7 – ме у світі);

- незначне використання ріллі для біогазу. У 2020 році в Україні під вирощування кукурудзи на силос для біогазу було зайнято лише 14 – 20 тис. га, що становить 0,4 – 0,6 % загальної площі ріллі. Для порівняння, у Німеччині ще у 2012 році близько 1 млн га (8,3 % ріллі) було відведено під кукурудзу для біогазу, а в 2019 році площа земель, зайнятих під енергетичні культури, сягнула 2,67 млн га;

- потенціал підвищення врожайності. Україна має значний потенціал для підвищення врожайності харчових і кормових культур, що дозволить виділити більше земель під енергетичні цілі без зниження обсягів виробництва основних культур;

- диверсифікація енергоресурсів. У світлі потреби зменшити залежність від імпорتنих енергоносіїв, використання силосу кукурудзи для внутрішнього виробництва біометану може сприяти енергетичній безпеці України.

Хоча використання силосу кукурудзи для біометану на експорт до ЄС має певні обмеження, у внутрішніх умовах України це залишається економічно виправданим. Враховуючи великий сільськогосподарський потенціал і низький рівень конкуренції з харчовим виробництвом, подальший розвиток цієї галузі може стати важливим елементом енергетичної стратегії країни.<sup>25</sup>

Також є приклади отримання біогазу зі стічних вод промислових підприємств, таких як заводи з виробництва чіпсів, дріжджів, пива чи картону.

Щодо осадів комунальних очисних споруд, їх частково застосовують лише на Бортницькій станції аерації, хоча вже розробляються проєкти для Харківської та

Львівської станцій. Однак органічна фракція твердих побутових відходів поки не використовується для виробництва біогазу чи біометану.

За даними UABIO потенціал гною великої рогатої худоби використовується лише на 4 %, свинячого гною – на 6 %, курячого посліду – на 1 %, а жому цукрових буряків – на 20 %. Інші види сировини застосовуються не більше ніж на 1 – 2 %, а багато з них взагалі не використовуються. Це свідчить про значні можливості для розширення виробництва біогазу з різних видів сировини.<sup>30</sup>

Україна має значний територіальний потенціал і сприятливі умови, включаючи низьку щільність населення, значну кількість сільськогосподарських угідь і відповідний клімат.

Понад те, близько 7,9 млн га перелогових земель, що становить 13 % території країни, можна було б використовувати для вирощування енергетичних культур, створюючи нові можливості для розвитку біоенергетики.<sup>30</sup>

Існують перспективні можливості використання відходів комунального господарства (осади стічних вод, побутове сміття) та біогенних відходів промисловості (харчові та інші промислові відходи) для виробництва біогазу.

За даними Міністерства екології України, кожен житель країни щорічно генерує в середньому 220 – 250 кг побутових відходів, у містах цей показник зростає до 330 – 380 кг. Із загального обсягу побутового сміття, який складає 50 млн куб. м (14 млн тонн) на рік, понад 95 % несортованого і необробленого сміття вивозиться на полігони. Більшість із них або не відповідають екологічним нормам, або взагалі є несанкціонованими.<sup>31</sup>

За даними Національного центру екології, в Україні на полігонах, як дозволених, так і нелегальних, накопичено близько 3 млрд куб. м твердих побутових відходів. Водночас лише 3,5 % сміття утилізується, а загальна площа сміттєзвалищ сягає 7 млн га.<sup>31</sup>

Гази, які виділяються на таких звалищах, як метан (CH<sub>4</sub>) і вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), створюють серйозну екологічну проблему, сприяючи глобальному потеплінню. Зокрема, вплив метану на парниковий ефект у 21 раз потужніший, ніж CO<sub>2</sub>. Окрім того, звалища забруднюють ґрунтові води через просочування токсичних речовин і дощової води.

Використання побутових відходів для виробництва біогазу могло б істотно зменшити обсяги забруднення. Отриманий газ можна використовувати для виробництва електроенергії та тепла на місці, а також продавати сертифікати на скорочення викидів CO<sub>2</sub> іншим країнам. Однак, із 800 дозволених полігонів в Україні для ефективного збору полігонного газу підходять лише близько 160. З них 90 найбільших полігонів обробляють приблизно 30 % усіх побутових і промислових відходів. Потенційний теоретичний вихід біометану із цих ресурсів становить 0,35 млрд Нм<sup>3</sup> на рік.

Крім того, варто врахувати потенціал осадів стічних вод, який також залишається значним. Виробництво біометану з цього ресурсу теоретично може досягати близько 0,15 млрд Нм<sup>3</sup> на рік, що відкриває додаткові можливості для розвитку біоенергетики в Україні.<sup>30</sup>

Порівняння сировинної бази для виробництва біогазу та біометану в Україні та ЄС наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняння сировинної бази для виробництва біогазу та біометану в Україні та ЄС

Тип сировини	Україна	ЄС
Відходи сільського господарства	60 – 70 % (переважно поживні рештки, гній)	56,7 % (включаючи аграрні відходи та спеціально вирощені культури)
Тверді побутові відходи (ТПВ)	10 – 15 %	31,3 % (біогаз з полігонів ТПВ)
Стічні води	5–10 %	12 % (у тому числі, осад після очищення стічних вод)
Інші органічні відходи	10 – 15 % (харчові відходи, промислові залишки)	Залежно від країни

Дана таблиця демонструє порівняльний аналіз сировинної бази для виробництва біогазу та біометану в Україні та країнах ЄС. В Україні основними джерелами є відходи сільського господарства, які складають 60 – 70 % сировини, тоді як у ЄС цей показник становить 56,7 % і включає аграрні відходи та спеціально вирощені культури.

У країнах ЄС також значну частку становлять тверді побутові відходи (31,3 %), що значно більше, ніж в Україні (10 – 15 %). Україна використовує стічні води в

обсязі 5 – 10 %, тоді як у ЄС ця частка сягає 12 %, включаючи осади після очищення стічних вод. Органічні відходи займають до 15 % у структурі сировини в Україні, але у ЄС їх використання варіюється залежно від країни.

Це свідчить про те, що Україна має великий потенціал для розширення спектра сировини, особливо за рахунок ефективнішого використання ТПВ та інших органічних відходів, орієнтуючись на кращі практики ЄС.

## РОЗДІЛ 5

# РОЗВИТОК БІОГАЗОВИХ ТА БІОМЕТАНОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УКРАЇНІ ТА ЄС

### 5.1 Розвиток біогазових та біометанових технологій в ЄС

На сьогоднішній день розвиток біогазу та біометану не можна розглядати окремо від ширшого контексту глобальної енергетичної системи. Існує величезний діапазон можливого майбутнього для глобальної енергетики, залежно від темпів технологічних інновацій, амбіцій енергетичної політики, ринкової динаміки, суспільних тенденцій і багатьох інших факторів.

Станом на 2024 рік, глобальне споживання біогазу для прямого використання оцінюється приблизно в 40 мільйонів тонн нафтового еквівалента (т.н.е.).

Загалом понад 60 % потужностей з виробництва біогазу знаходяться в Європі та Північній Америці. Як провідний регіон з виробництва біогазу, Європа має близько 18 000 біогазових установок, більшість з яких розташована в Німеччині. Більшість з них побудовано для виробництва електроенергії на місці та когенерації, близько 500 установок призначені для модернізації біогазу.<sup>32</sup>

На рисунку 5.1 зображена загальна кількість біометанових і біогазових установок у Європі.<sup>33</sup>



Рисунок 5.1 – Кількість біометанових та біогазових установок у Європі

Згідно сценарію заявленої політики, прогнозоване виробництво біогазу для прямого споживання зросте більш ніж удвічі, досягнувши приблизно 75 млн. т.н.е в

2040 році. Більша частина цього зростання походить від централізованих заводів, які живляться джерелами твердих відходів сільського господарства та муніципального виробництва, щоб задовольнити місцевий попит на електроенергію та опалення. Частка біогазу, що використовується для отримання енергії та тепла, зросте з приблизно 70 % сьогодні до 85 % до 2040 року.

Забезпечення відновлюваного та надійного джерела енергії зазвичай було найпростішим шляхом до ринку біогазу, враховуючи такі стимули, як пільгові тарифи, субсидії та схеми податкових пільг, які також можуть підтримати розвиток сільських територій. Економічне обґрунтування для біогазу покращується, коли біодигестерні розташовані у сприятливих умовах – наприклад, поблизу джерел сировини, електричних мереж і місцевих тепловідводів – або якщо визнаються супутні переваги, такі як здатність біогазових установок очищувати стічні води з високим вмістом органічних забруднювачів. Також пристосування схем підтримки до місцевих умов може забезпечити розвиток біогазової промисловості як партнера, а не конкурента у виробництві харчових продуктів.<sup>32</sup>

Розвиток біогазової промисловості в кінцевому підсумку залежить від політичних рамок у різних країнах і регіонах, яка сама по собі базується на ширших цілях і цілях у сфері відновлюваної енергії. У Європі більшість біогазових установок на сьогоднішній день були побудовані для отримання пільгових тарифів та інших форм підтримки виробництва енергії з відновлюваних джерел.<sup>32</sup>

На рисунку 5.2 зображено топ – 10 країн ЄС по виробництву біогазу і біометану<sup>33</sup>

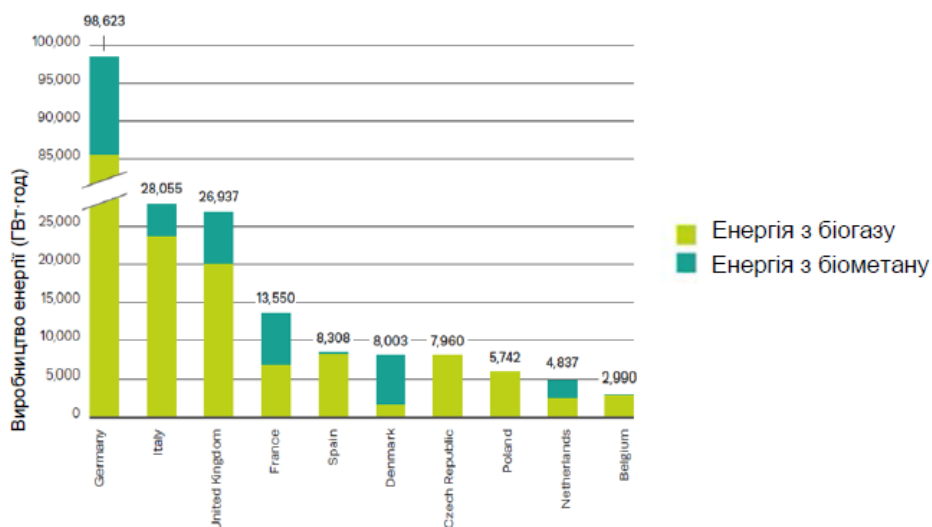


Рисунок 5.2 – Топ – 10 країн ЄС по виробництву біогазу та біометану

На рисунку 5.3 зображено відсоток виробництва біогазу у Європі в установках різного типу.<sup>33</sup>

### Відсоток виробництва біогазу в Європі в установках різного типу у 2022 році



Рисунок 5.3 – Відсоток виробництва біогазу у Європі в установках різного типу

Окрім того, на сьогоднішній день біометан став ключовим компонентом глобальної енергетичної та кліматичної політики.

На рисунку 5.4 зображено зростання кількості біометанових заводів у Європі.<sup>33</sup>

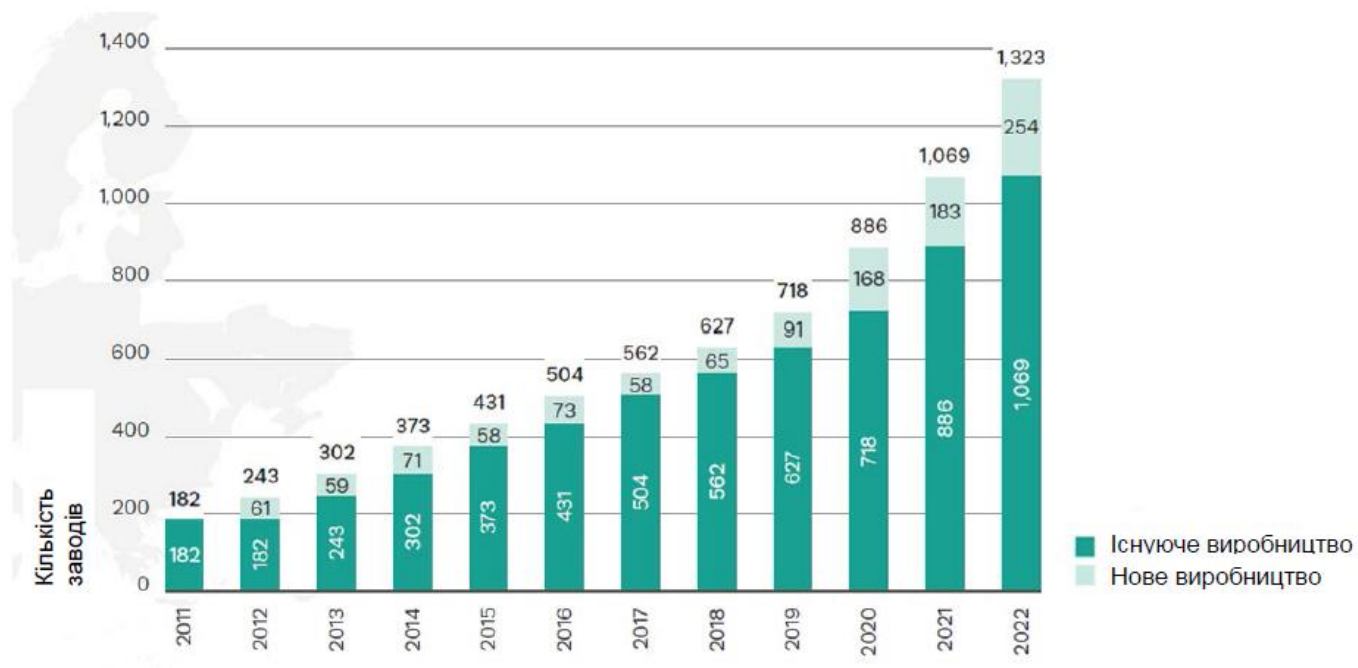


Рисунок 5.4 – Зростання кількості біометанових заводів у Європі

Три головні рушійні сили об'єдналися, щоб підняти цей сектор на нові висоти: занепокоєння енергетичною безпекою через війну росії проти України та глобальну енергетичну кризу, невідкладність вирішення проблеми зміни клімату, яка прискорює політику декарбонізації та зосереджується на скороченні викидів метану. Ці рушії призвели до нових стимулюючих стратегій, таких як план REPowerEU в Європі, Закон про зниження інфляції в США, план Metano Zero в Бразилії або нещодавно оголошена схема GOBAR – Dhan в Індії, що стимулює інвестиції в сектор RNG.<sup>34</sup>

На рисунку 5.5 зображено еволюцію світового виробництва біометану.<sup>34</sup>

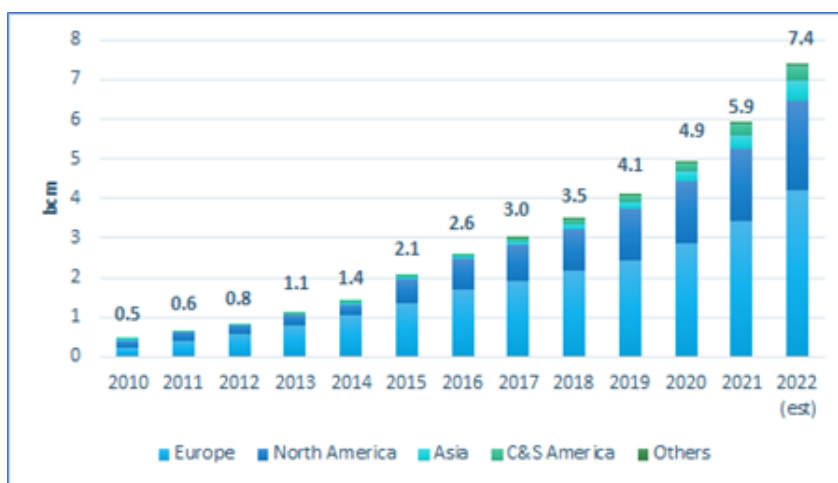


Рисунок 5.5 – Еволюція світового виробництва біометану

Ринкові драйвери розширюють попит на біометан у різних секторах по всьому світу. Біометан використовують міста, корпорації, промислові користувачі та власники автопарків для декарбонізації секторів, які важко електрифікувати, переходу до економіки замкнутого циклу та відповіді на проблеми ESG. Енергетичні підприємства Європи вкладають значні кошти в біометан для підтримки політики декарбонізації та постачання чистої енергії. З'являються нові сфери застосування, такі як використання біометану для виробництва чистого водню.<sup>34</sup>

У європейському транспортному секторі спостерігалось значне зростання попиту завдяки численним діючим і будуваним заводам біоСПГ. Щоб зберегти цей імпульс і досягти швидкої декарбонізації, політикам у Європі потрібно буде прийняти нейтрально – технологічний підхід.

Сектор біометану залучив безпрецедентні інвестиції з угодами на мільярди доларів. Європейські енергетичні компанії лідирували: BP, Shell і TotalEnergies

придбали американську Archaea, датську Nature Energy і польську Polska Grupa Biogazowa.

Фінансові інвестори, такі як американські фонди та менеджери активів, також були активними, створивши спеціальні бізнес – підрозділи з біометану.<sup>34</sup>

На рисунку 5.6 зображено розвиток виробництва Біо – CNG на біометанових заводах у Європі.<sup>33</sup>

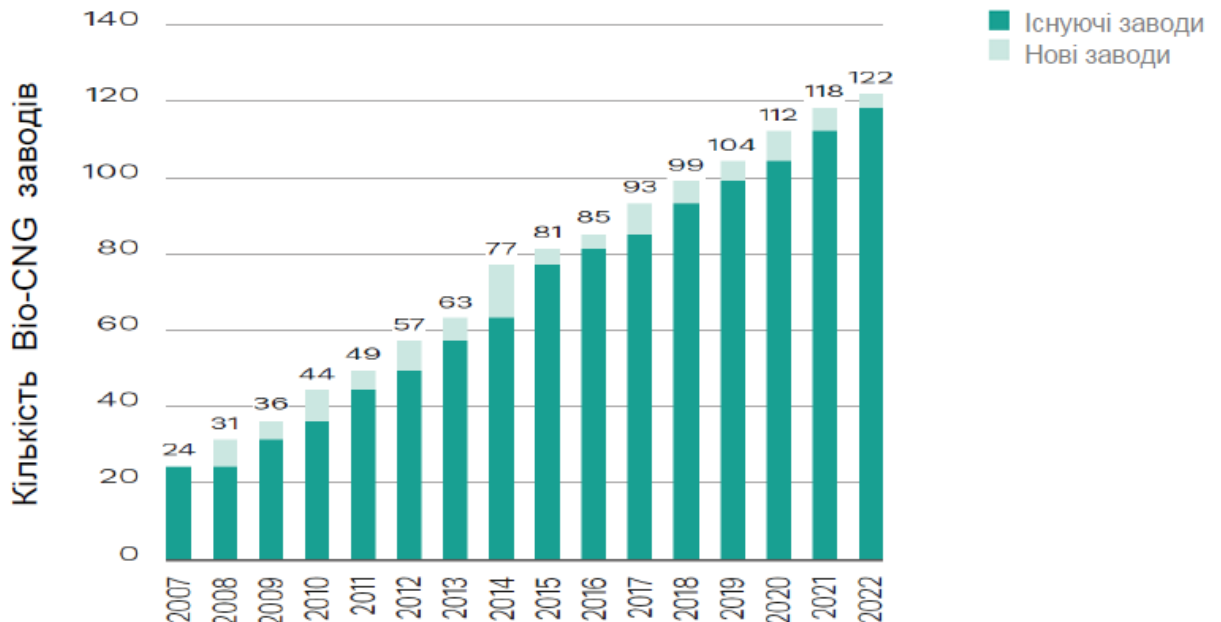


Рисунок 5.6 – Розвиток виробництва Біо – CNG на біометанових заводах у Європі

На рисунку 5.7 зображено поточний і прогнозований розвиток кількості Біо – LNG заводів і їх потужності у Європі.<sup>33</sup>

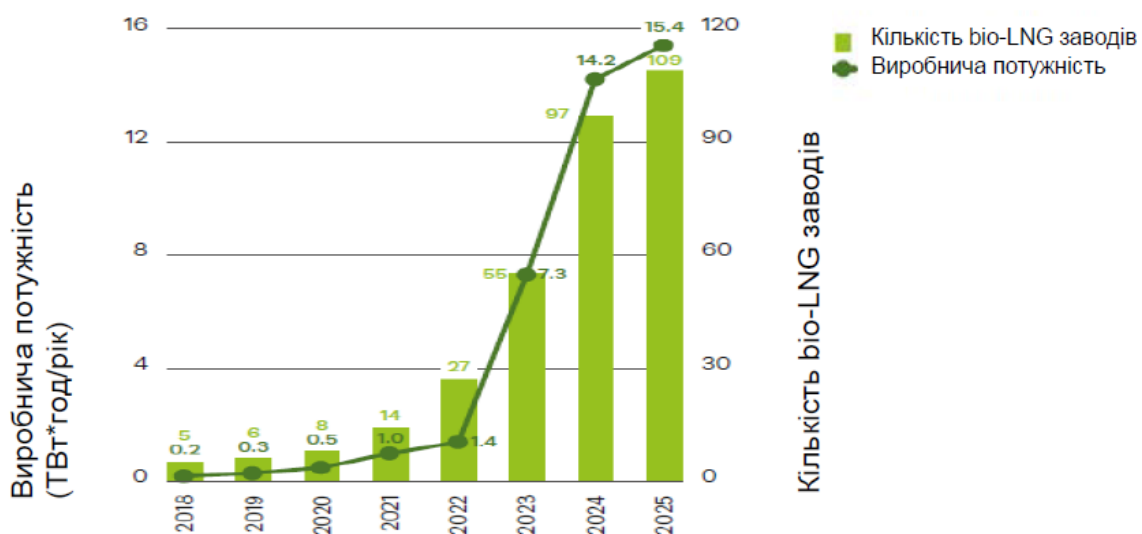


Рисунок 5.7 – Поточний і прогнозований розвиток кількості Біо – LNG заводів і їх потужності у Європі

Загалом біометан має широке зростання в усіх секторах, що відображає існуюче використання природного газу, одночасно виходячи на такі ринки, як транспорт, де попит на біометан зростає відповідно до зростання парку газових двигунів у деяких країнах і регіонах

На рисунку 5.8 наведено глобальний попит на біометан за секторами в сценарії сталого розвитку, 2018 – 2040 рр.<sup>32</sup>

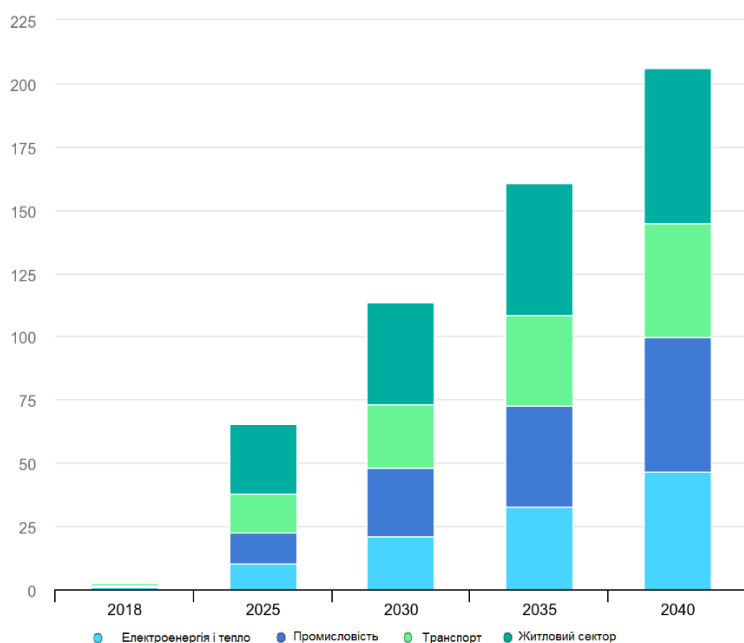


Рисунок 5.8 – Глобальний попит на біометан за секторами в сценарії сталого розвитку, 2018 – 2040 рр.

## 5.2 Розвиток біогазових та біометанових технологій в Україні

Станом на сьогодні в Україні діє 77 біогазових установок, які щорічно виробляють близько 260 млн куб. м біогазу, що дозволяє отримати до 150 млн куб. м біометану на рік.

Відповідно до Енергетичної стратегії України, до 2035 року планується досягти виробництва 11 млн тонн нафтового еквіваленту енергії завдяки біомасі, біопаливу та відходам, що складе 11,5 % від загального обсягу первинної енергії. У цьому процесі біогаз та біометан відіграватимуть ключову роль.

За прогнозами експертів, до 2030 року загальне виробництво біогазу та біометану може досягти 1,6 млрд куб. м на рік, з яких біометан становитиме 1,0

млрд куб. м. Частина цього біометану буде експортуватися до ЄС, а решта використовуватиметься всередині країни для:

- комбінованого виробництва тепла та електроенергії на когенераційних установках – 0,2 млрд куб. м;
- опалення та промислових потреб – 0,22 млрд куб. м;
- транспорту – 0,08 млрд куб. м.

До 2050 року очікується, що загальне виробництво біогазу та біометану зросте до 6,0 млрд куб. м метану на рік. З них 25 % використовуватиметься як сирий біогаз для когенерації тепла та електроенергії, а решту біогазу перетворять на біометан. Прогнозується, що біометан стане важливим експортним продуктом для ЄС на рівні 2,3 млрд куб. м на рік, а залишок використовуватиметься для внутрішніх потреб.<sup>25</sup>

На рисунку 5.9 зображено прогноз річного виробництва біометану та біогазу в Україні, млрд м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub>.

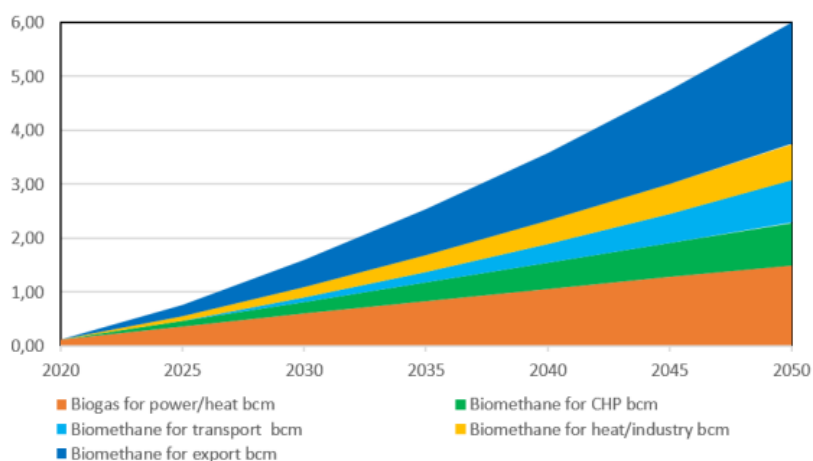


Рисунок 5.9 – Прогноз річного виробництва біометану та біогазу України, млрд м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub>

Коротко– та довгострокові цілі розвитку потребують подальшого обговорення із залученням усіх зацікавлених сторін: профільних міністерств, державних агентств, операторів газотранспортних систем і приватного бізнесу.

Майбутнє виробництво біогазу в Україні базуватиметься на використанні побічних продуктів сільського господарства для анаеробного зброджування. Водночас нові технології та сировина також матимуть значний вплив. Це включає термічну газифікацію лігноцелюлозної сировини зі сфери сільського та лісового господарства, а також виробництво зеленого водню з відновлюваної електроенергії.

У системах з високою часткою ВДЕ надлишок електроенергії може бути використаний для електролізу води з подальшою метанацією отриманого водню за допомогою CO<sub>2</sub>, що утворюється під час виробництва біометану.

Збільшення виробництва та використання біометану буде включати:

- перехід існуючих біогазових установок на виробництво біометану;
- розширення використання сільськогосподарських відходів для біометанового виробництва;

- використання біометану як палива для важкого автотранспорту та водного транспорту;

- інтеграція України до європейської системи торгівлі біометаном і створення нових ринкових можливостей.

Оскільки біометан є альтернативою природному газу для енергетики та хімічної промисловості, важливо визначити його потенціал у хімічному секторі.

Загалом короткострокові дії у сфері розвитку біогазових та біометанових технологій включають:

- започаткування функціонування реєстру біометану;
- підписання договору про взаємне визнання гарантій походження біометану між реєстром біометану України і Європейський реєстром біометану ERGaR;
- законодавче врегулювання використання дигестату як органічного добрива.

Середньострокові дії (2030) включатимуть:

- створення середньострокового бачення та законодавчих стимулів для сприяння використанню біометану у транспортному секторі;

- виробництво до 1 млрд м<sup>3</sup> /рік біометану до 2030 р.;

- започаткування використання біогазу та біометану у маневрених потужностях для регулювання енергосистеми;

- розробка та адаптація Дорожньої карти розвитку біоенергетики, включаючи біометан, до 2050 року та Плану дій щонайменше до 2035 року;

- запровадження роздільного збору органічної фракції побутових відходів з подальшим виробництвом біогазу/біометану;

- початок експлуатації перших в Україні біометанових установок суміщених з установками по виробництву і метанації зеленого водню;

- започаткування використання біометану на транспорті (bio CNG і bio LNG).

Довгострокові дії (2050) у майбутньому включатимуть:

- адаптацію/редизайн української ГРС/ГТС для використання біометану;
- виробництво до 4,5 млрд м<sup>3</sup> /рік біометану до 2050 р.;
- розширення мережі заправних станцій bio CNG та bio LNG;
- створення законодавчих стимулів для стимулювання використання біометану

для хімічної промисловості.

Загалом Україна робить важливі кроки у розвитку біогазових і біометанових технологій, прагнучи зменшити залежність від імпорту енергоресурсів та скоротити вплив на довкілля. Використання органічних відходів і впровадження новітніх технологій відкривають широкі можливості для виробництва чистої енергії.<sup>25</sup>

## РОЗДІЛ 6

### ПРИКЛАДИ УСПІШНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ У СФЕРІ БІОГАЗОВИХ ТА БІОМЕТАНОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УКРАЇНІ ТА ЄС

#### 6.1 Приклади успішної реалізації біогазових та біометанових технологій в ЄС

В Європейському Союзі інвестиції в біогазові та біометанові установки стали одним із ключових напрямків у досягненні цілей сталого розвитку та енергетичної безпеки. Серед них можна виокремити кілька успішних заводів: Agrifyl's energie у Франція, AVA Augsburg GmbH в Німеччині та біометановий завод Woellenheim у Франції. Ці проєкти є прикладом інтеграції передових технологій, що дозволяють ефективно перетворювати органічні відходи в біогаз і біометан, забезпечуючи високу продуктивність та зменшення впливу на довкілля. Їх досвід демонструє, як сучасні інженерні рішення сприяють екологізації енергетики та економічному зростанню регіонів.

##### 6.1.1 Agrifyl's energie

Завод Agrifyl's energie у Франції є прикладом того, як органічні відходи можуть стати основою для виробництва чистої енергії. Завод переробляє залишки сільськогосподарської продукції, харчові відходи та інші біологічні матеріали, створюючи з них біометан. Завод спрямовує вироблений біометан у національну газову мережу, забезпечуючи домогосподарства й підприємства енергією, що сприяє скороченню залежності від викопного палива.

Особливістю Agrifyl's energie є використання сучасних технологій, таких як мембранна сепарація, яка дозволяє ефективно очищувати біогаз і зводити до мінімуму викиди парникових газів. Після процесу ферментації залишки органічної сировини перетворюються на добрива, що передаються фермерам для сільськогосподарських потреб. Це допомагає закрити цикл використання ресурсів і підтримати місцеву економіку.

Цей завод є частиною більшої екологічної стратегії Франції, спрямованої на збільшення частки відновлюваних джерел енергії. Agrifyl's energie демонструє, як можна поєднати технологічний прогрес із турботою про довкілля, стаючи прикладом сталого розвитку для інших регіонів.<sup>35</sup>

На рисунку 6.1 зображений завод Agrifyl's energie



Рисунок 6.1 – Завод Agrifyl's energie

### 6.1.2 AVA Augsburg GmbH

Завод AVA Augsburg GmbH у Німеччині є вражаючим прикладом того, як органічні відходи можуть перетворюватися на екологічно чисту енергію. Розташований у Баварії, цей сучасний центр обробляє близько 90 000 тонн біовідходів і зелених залишків щорічно. Завод працює за технологією анаеробного зброджування: відходи переробляються в закритих біореакторах, а отриманий біогаз очищується до рівня природного газу. Потім біометан подається в газову мережу, забезпечуючи енергетичні потреби місцевих споживачів.

Окрім генерації енергії, завод робить вагомий внесок у сталий розвиток регіону. Тверді залишки після ферментації перетворюються на компост для сільського господарства, а рідкі залишки використовуються як добрива. Навіть теплова енергія, отримана під час процесу, спрямовується на підтримання

оптимальної температури в реакторах, що підвищує ефективність роботи. Щороку AVA виробляє до 45 млн кВт·год біометану, достатніх для енергопостачання 4 400 домогосподарств, що є прикладом раціонального та відповідального підходу до управління відходами.

Цей завод показує, як органічні залишки можуть стати цінним ресурсом для отримання енергії, зменшення екологічного навантаження та підтримки сільського господарства. Його діяльність підкреслює, що сучасні технології та екологічний підхід можуть успішно працювати разом для досягнення сталого майбутнього.<sup>36</sup>

На рисунку 6.2 зображений AVA Augsburg GmbH



Рисунок 6.2 – AVA Augsburg GmbH

### 6.1.3 Woellenheim

Біометановий завод Woellenheim, розташований у Франції, є одним із прикладів успішної інтеграції біогазових технологій у сталий енергетичний ландшафт країни. Його основною метою є виробництво біометану переробленням органічних відходів, таких як сільськогосподарські залишки та органічна фракція побутових відходів. Завод використовує технологію мембранної сепарації, яка дозволяє ефективно очищувати біогаз, перетворюючи його у високоякісний біометан, придатний для введення в газову мережу або використання як альтернативу традиційному природному газу.

Однією з ключових особливостей Woellenheim є його потужність – він виробляє до 300 Нм<sup>3</sup> біометану на годину. Це відповідає значному скороченню викидів вуглекислого газу завдяки заміщенню викопного палива у споживанні енергії. Завод також відіграє важливу роль у підтримці місцевої економіки, співпрацюючи з фермерами для збору органічної сировини та використання дигестату, що залишається після процесу ферментації, як органічного добрива для поліпшення якості ґрунту.

Цей завод є прикладом інноваційного підходу до використання відновлюваних джерел енергії у Франції. Він демонструє, як технології біометану можуть забезпечувати сталий розвиток, зменшення екологічного впливу та інтеграцію енергетичних потреб з розв'язанням соціально – економічних завдань. Woellenheim також сприяє досягненню європейських кліматичних цілей, підтверджуючи потенціал біометану в переході до економіки з низьким рівнем вуглецю.<sup>37</sup>

На рисунку 6.3 зображений біометановий завод Woellenheim.



Рисунок 6.3 – Біометановий завод Woellenheim

## **6.2 Приклади успішної реалізації біогазових та біометанових технологій в Україні**

Україна є однією з країн із значним потенціалом для розвитку біогазових і біометанових технологій завдяки багатим аграрним ресурсам, розвиненій інфраструктурі газових мереж і зростаючому інтересу до відновлюваних джерел енергії. Успішна реалізація низки масштабних проєктів у різних регіонах країни

демонструє, як біогаз може стати ефективним інструментом для вирішення екологічних, енергетичних та економічних викликів.

Прикладами таких проєктів є МХП, Астарта(Глобино), Теофіпольський цукровий завод, Діоніс Біогаз Енерджі, Юзефо – Миколаївська Біогазова Компанія та ін. Вони використовують органічні залишки (гній, сільськогосподарські відходи, мул) для виробництва біогазу, який перетворюється на енергію або очищується до біометану. Це дозволяє підприємствам не лише забезпечувати власні енергетичні потреби, але й постачати надлишкову енергію до електромереж чи газових систем.

У цих проєктах поєднуються передові технології, державна підтримка та сприятливі інвестиційні умови, що дозволяє їм слугувати прикладом для наслідування іншими українськими підприємствами. Розвиток таких ініціатив сприяє досягненню цілей енергетичної незалежності України, підвищенню екологічної стабільності та підтримці місцевої економіки.

Крім того, станом на 2024 рік в Україні вже функціонують два біометанові заводи, які розташовані у різних регіонах країни. Перший завод холдингу «Галс Агро» був запущений у 2023 році в Чернігівській області, що є важливим кроком для інтеграції України в європейський ринок біометану. Цей завод орієнтований на виробництво екологічно чистого палива, що може експортуватися до країн ЄС через газотранспортну систему.

Другий завод, який запустили у 2024 році, спеціалізується на переробці органічних відходів у біометан. Він розташований у Хмельницькій області (холдинг Vitagro).

Обидва проєкти є частиною плану поступового заміщення природного газу та скорочення викидів парникових газів відповідно до стандартів ЄС.

### **6.2.1 Миронівський хлібопродукт**

Один із провідних агрохолдингів України, «Миронівський хлібопродукт» (МХП), розпочав будівництво другої черги біогазового комплексу «Біогаз Ладижин» у місті Ладижин. Це найбільший у Європі комплекс, що спеціалізується на переробці курячого посліду в органічні добрива. Потужність першої черги

становить 12 МВт, а друга черга, що наразі будується, також матиме потужність 12 МВт.

МХП активно розвиває біогазовий напрямок, впроваджуючи інноваційні технології у співпраці з провідними партнерами з США та Європи.

Одним із ключових кроків стало підписання Меморандуму з американською компанією «Marquis Energy», що передбачає створення вискоелективного вуглецево – нейтрального заводу.

Планується виробництво високопротеїнових кормів, продовольчої вуглекислоти, олії та біоетанолу, із застосуванням відновлюваних джерел енергії та відповідно до найкращих стандартів енергоефективності та скорочення викидів парникових газів.

Ще у 2012 році МХП розпочав будівництво своєї першої біогазової станції на птахофабриці «Оріль – Лідер» у Дніпропетровській області.

Вже у 2013 році станція потужністю 5 МВт/год була запущена в експлуатацію, забезпечуючи електроенергією 15 тисяч квартир і теплом 1500 квартир.

До кінця 2014 року станція досягла своєї повної потужності, ставши першою в Європі біогазовою станцією такого масштабу, що працює на курячому посліді та відходах переробки бройлерів.<sup>38</sup>

У 2017 році МХП анонсував новий проект біогазового комплексу на Вінницькій птахофабриці, інвестувавши в перший етап будівництва 27 мільйонів доларів.

У грудні 2019 року була введена в експлуатацію перша черга комплексу «Біогаз Ладизин». Вона здатна забезпечити електроенергією всі побутові споживачі Тульчинського та Гайсинського районів Вінницької області (35 тисяч сімей). У промисловому масштабі потужності першої черги вистачає для покриття близько 40 % енергетичних потреб агроіндустріального кластеру МХП.<sup>38</sup>

На рисунку 6.4 зображено біогазовий комплекс МХП «Біогаз Ладизин».



Рисунок 6.4 – Біогазовий комплекс МХП «Біогаз Ладижин»

### **6.2.2 Юзефо – Миколаївська Біогазова Компанія**

Проектування біоенергетичного комплексу було виконано за безвідходною голландською технологією анаеробного зброджування, розробленою компанією ADVERIO. Технічна інфраструктура включає два реактори метантенки: промисловий анаеробний реактор висотою 21 м і об'ємом 8000 м<sup>3</sup>, а також сільськогосподарський реактор-доброджувач висотою 10,5 м і об'ємом 4000 м<sup>3</sup>.

Реалізація проєкту тривала 18 місяців. Понад 60 % обладнання, включаючи реактори, міксери, мішалки, теплообмінники, транспортери, шнеки, зневоднювачі, флотатори, скрубери, свічки та котли, було розроблено за ліцензією та виготовлено на виробничому підрозділі UTC – КЕМП. Заключні етапи включали монтаж, автоматизацію, пусконаладжувальні роботи та навчання персоналу.

Комплекс розпочав роботу в листопаді 2019 року і щодня переробляє 85 тонн бурякового жому та 115 тонн силосу. Він працює цілодобово протягом усього року, забезпечуючи виробництво 1350 м<sup>3</sup> біогазу на годину, 3,2 МВт електроенергії та 40 тонн сухого кеку на добу. Кількість працівників у зміну – 5 осіб.

Після запуску першої черги Юзефо – Миколаївської біогазової електростанції потужністю 3,2 МВт у листопаді 2019 року, вже в січні 2020 року UTC розпочала будівництво другої черги. Новий промисловий реактор анаеробного зброджування, діаметром 22 м, висотою 21 м і об'ємом 8000 м<sup>3</sup>, буде аналогічний існуючому.

Використання двох промислових реакторів та одного доброджувача дозволить збільшити обсяги переробки до 250 тонн жому, силосу та меляси на добу, а також

наростити потужність виробництва електроенергії до 5,2 МВт. Це сприятиме збільшенню доходів за рахунок «зеленого» тарифу.<sup>39</sup>

На рисунку 6.5 зображено Юзефо – Миколаївську Біогазову Компанію.



Рисунок 6.5 – Юзефо – Миколаївська Біогазова Компанія

### 6.2.3 Астарта(Глобино)

У 2014 році агропромисловий холдинг «Астарта» запустив один із найбільших біоенергетичних комплексів в Україні з річною потужністю понад 50 млн м<sup>3</sup> біогазу.

Основою для виробництва біогазу є побічні продукти цукрового виробництва (сирий жом) та органічні відходи сільськогосподарської діяльності. Вироблений біогаз використовується як альтернатива природному газу для потреб соєпереробного та цукрового заводів компанії.

Комплекс обладнаний сучасною технікою від провідних світових виробників, таких як «Börger GmbH», «Streisal», «Sulzer», «HUNING», «Siemens», а також українською компанією «УТК».

Фінансування проєкту здійснювалося за підтримки Європейського банку реконструкції та розвитку.<sup>40</sup>

На рисунку 6.6 зображено Біоенергетичний комплекс Астарта – Київ.



Рисунок 6.6 – Біоенергетичний комплекс Астарта – Київ

## 6.2.4 Теофіпольський цукровий завод

Створення біогазової установки в смт Теофіполь стало важливим внеском у забезпечення енергетичної безпеки та незалежності України. Проект залучив сотні мільйонів гривень капітальних інвестицій, завдяки чому Теофіпольський район посідає друге місце в Хмельницькій області за обсягом освоєних інвестицій, що становить 16 280 грн на одну особу.

Загальна встановлена потужність біогазової установки становить 15,6 МВт. В 2017 році була введена в експлуатацію перша черга потужністю 5,1 МВт, а у 2018 році розпочала роботу друга черга потужністю 10,5 МВт, яка має вдвічі більший вихід біогазу порівняно з першою. У 2020 році завершили будівництво третьої черги, яка забезпечує виробництво 52 716 м<sup>3</sup> біогазу на добу та 4500 кВт/год електроенергії. Четверта черга установки дозволила збільшити виробництво електроенергії до 6000 кВт/год.<sup>41</sup>

Розташована біогазова установка на території ПАТ «Теофіпольський цукровий завод» (смт Теофіполь, Хмельницька область). Для виробництва біогазу використовується побічна продукція цукрових заводів, тваринницьких підприємств та силос. Завдяки унікальним технологіям високонавантажених реакторів підприємство забезпечує стабільну роботу.

Близько 90 % виробленої електроенергії продається в електромережу за «зеленим» тарифом, а решта використовується для власних потреб. Тепло, що виробляється, застосовується для опалення теплиць, адміністративних будівель та гуртожитків. Побічний продукт виробництва – дигестат – є високоякісним добривом, багатим на азот, фосфор, калій і мікроелементи.

Загальна вартість проекту склала 40 мільйонів євро, фінансування було здійснено за рахунок кредиту ЄБРР та власних коштів ТОВ «Теофіпольська енергетична компанія». Реалізація проекту позитивно вплинула на соціально – економічний розвиток регіону: створено 47 робочих місць безпосередньо на підприємстві, а також низку робочих місць у суміжних галузях.<sup>41</sup>

На рисунку 6.7 зображено біогазову установку Теофіпольського цукрового заводу.



Рисунок 6.7 – Біогазова установка Теофіпольського цукрового заводу

### 6.2.5 Діоніс Біогаз

ТОВ «Діоніс Біогаз Енерджі» («Діоніс БГЕ», Київ) запустило біогазовий комплекс встановленою потужністю 4,5 МВт на основі технології метанізації сумішей з органічної сировини у селищі Квіткове під Житомиром.

Як йдеться у повідомленні юридичної фірми Dentons, що надавала юридичну підтримку проекту, це перший біометановий проект в Україні, який зможе виробляти до 20 млн куб. м метану на рік.

Згідно з інформацією «Діоніс БГЕ» в Єдиному реєстрі оцінки впливу на навколишнє середовище, біогазова станція потужністю 4,5 МВт перероблятиме відходи місцевої спиртової промисловості, цукрових заводів та елеваторів: барди кукурудзяної післяспиртової, бурякового жому свіжого і кислого та кукурудзяної соломи, посліду.

Компанія вказувала, що конструкція промислових біореакторів цього комплексу площею 2289 кв. м сприяє збільшенню обсягів виходу біогазу на 20 – 50 % у розрахунку тону оргсировини порівняно з традиційними методами.

Сьогодні біоенергетичний комплекс отримує майже 30 тис. м<sup>3</sup>/добу біогазу та генерує 1,5 МВт електроенергії. В процесі виробництва задіяно 7 робітників.

Щодоби переробляється до 200 тон відходів спиртового виробництва, цукрових заводів та елеваторів, що накопичувались в місцевості понад 7 років.

В найближчому майбутньому біотрансформація в біогаз відбуватиметься завдяки переробці скопу – відходу паперових комбінатів.<sup>42</sup>

На рисунку 6.8 зображено ТОВ «Діоніс Біогаз Енерджі».



Рисунок 6.8 – ТОВ «Діоніс Біогаз Енерджі»

Кількість та потужність біогазових заводів в ЄС та Україні наведена в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Кількість та потужність біогазових заводів в ЄС та Україні

Країна	Кількість заводів	Загальна потужність, МВт	Виробництво біогазу, млн м <sup>3</sup> /рік
Україна	77	~140	~260
Німеччина	11 000	~5 000	~9 500
Італія	1 700	~1 000	~2 000
Франція	837	~520	~900
Велика Британія	715	~380	~600
Швейцарія	634	~300	~500
Польща	300	~180	~300
Інші країни ЄС	~4 000	~3 500	~6 000
Загалом у ЄС	~18 000	~11 082	~20 000

Кількість та потужність біометанових заводів в ЄС та Україні наведена в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Кількість та потужність біометанових заводів в ЄС та Україні

Країна	Кількість заводів	Загальна потужність, млн м <sup>3</sup> /рік	Виробництво біометану, млн м <sup>3</sup> /рік
Україна	2	6	~6
Німеччина	280	~1 300	~1 200
Франція	44	~200	~180
Італія	40	~180	~150
Іспанія	23	~110	~100
Польща	15	~70	~60
Інші країни ЄС	~900	~2 800	~2 400
Загалом у ЄС	~1 322	~4 500	~4 090

Таблиця 6.1 демонструє кількість біогазових заводів та їх потужність у країнах ЄС та Україні. У ЄС нараховується близько 18 000 біогазових заводів із загальною потужністю понад 11 000 МВт, що забезпечує виробництво біогазу в обсязі 20 000 млн м<sup>3</sup>/рік. Україна ж значно поступається за цими показниками: 77 біогазових установок із потужністю близько 140 МВт і виробництвом біогазу обсягом лише 260 млн м<sup>3</sup>/рік. Це свідчить про величезний розрив у розвитку інфраструктури між Україною та ЄС у цій галузі, де лідерами є Німеччина, Італія та Франція.

Таблиця 6.2 відображає кількість заводів з виробництва біометану. Тут ситуація ще контрастніша. У ЄС працюють 1 322 біометанових заводи із загальною потужністю понад 4 500 млн м<sup>3</sup>/рік, тоді як в Україні їх поки що тільки 2. Найбільшими виробниками біометану є Німеччина, Франція, та Італія. Польща, наприклад, має декілька заводів із загальною потужністю близько 70 млн м<sup>3</sup>/рік, що свідчить про різний рівень розвитку цієї індустрії навіть між країнами ЄС.

Таким чином, Україна значно відстає у розвитку біогазової та біометанової інфраструктури, але потенціал для зростання великий, враховуючи природні ресурси та плани інтеграції до європейського енергетичного ринку.

## ВИСНОВКИ

1. Історія розвитку біогазових технологій починається з давніх часів. Використання перших примітивних біогазових установок зафіксовано в Індії, Китаї, Ассирії та Персії ще у 17 столітті до н.е., а в середньовічному Китаї ці технології набули сталого застосування.

Проте систематичні наукові дослідження в цій галузі почалися лише у 18 столітті.

У 1980 – 1990 – х роках технології біогазу значно вдосконалилися. Науковці почали шукати способи очищення біогазу від домішок, щоб отримати біометан високої чистоти.

2. Біогаз отримують у результаті метанового зброджування органічної сировини рослинного та тваринного походження в біогазових установках. За хімічним складом біогаз, який одержують в реакторах, близький до природного:

- біогаз: метан ( $\text{CH}_4$ ) – 65 – 70 %, вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) – до 30 %;
- природний газ: метан – 80 – 90 %, вуглекислий газ – до 10 %.

3. Біометан – це паливо у газоподібному стані, яке отримують очищенням біогазу, досягаючи концентрації метану на рівні 95 – 98 %. Він має значні переваги над біогазом. Зазвичай, біогазові установки спершу виробляють біогаз із вмістом метану 50 – 55 %, після чого з нього генерують електроенергію та тепло.

4. Загальна законодавча база Європейського Союзу щодо відновлюваної енергетики включає у тому числі такі документи:

- Директива 2009/28/ЄС RED I – дана директива встановлює правову основу для розвитку відновлюваних джерел енергії в ЄС, зокрема завдяки національним планам і обов'язковим цілям для кожної країни;

- European Green Deal – ініціатива Європейського Союзу, спрямована на перетворення Європи на перший у світі кліматично нейтральний континент до 2050 року, розвиток економіки, покращення здоров'я населення та якості життя, а також вирішення кліматичних та екологічних проблем;

- Директива 2023/2413/ЄС RED III – підвищує частку відновлюваної енергії в загальному споживанні енергії в Європейському Союзі до 42,5 % до 2030 року з

додатковим індикативним збільшенням на 2,5 %, щоб досягти мети в 45 %. Та встановлює амбітні галузеві цілі в транспорті, промисловості, будівництві, охолодженні.

Українська ж законодавча база включає у тому числі такі документи:

- Закон України «Про ринок електричної енергії» (від 13.04.2017 року) – даний закон не лише регулює основні аспекти функціонування енергетичної системи країни, а й приділяє увагу екологічно чистим технологіям, таким як використання біогазу та біометану;

- Закон України «Про альтернативні джерела енергії» (від 20.02.2003 року) – визначає екологічні, економічні, правові та організаційні засади використання альтернативних джерел енергії та сприяння розширенню їх використання у паливно-енергетичному комплексі;

- Енергетичну стратегію країни до 2050 року – документ окреслює основні шляхи розвитку енергетичного сектору та передбачає перетворення України на ключовий енергетичний центр для Європи. Це дозволить значно зменшити залежність європейського регіону від постачання енергоносіїв із росії.

5. Сировинною для виробництва біогазу та біометану в ЄС та Україні є: сміттєзвалища, стічні води та осад, відходи промислового тваринництва та рослинництва, відходи виробництва харчових продуктів, кормів та напоїв.

6. Станом на 2024 рік, глобальне споживання біогазу для прямого використання оцінюється приблизно в 40 мільйонів тонн нафтового еквівалента (т.н.е.).

Загалом сьогодні понад 60 % виробничих потужностей зосереджено у двох основних регіонах — Європі та Північній Америці. Європа утримує провідну позицію у цій галузі, маючи близько 18 000 біогазових установок. Найбільше таких об'єктів розташовано в Німеччині. Значна частина цих установок орієнтована на виробництво електроенергії або когенерацію, проте близько 500 з них спеціалізуються на модернізації біогазу до біометану.

В Україні сектор біогазу перебуває на етапі активного розвитку. На сьогодні функціонують 77 біогазових установок, які виробляють приблизно 260 мільйонів кубометрів біогазу щорічно. З цього обсягу можна отримати близько 150 мільйонів кубометрів біометану, що є екологічно чистим аналогом природного газу.

Українська Енергетична стратегія передбачає значне розширення використання біоенергії, встановлюючи ціль досягти 11 мільйонів тонн нафтового еквівалента до 2035 року за рахунок біомаси, біопалива та відходів, що становитиме близько 11,5 % від загального обсягу первинної енергії.

7. В Європейському Союзі інвестиції в біогазові та біометанові установки стали одним із ключових напрямків у досягненні цілей сталого розвитку та енергетичної безпеки. Серед них можна виокремити кілька успішних заводів: Agrifyl's energie у Франція, AVA Augsburg GmbH в Німеччині та біометановий завод Woellenheim у Франції. Ці проєкти є прикладом інтеграції передових технологій, що дозволяють ефективно перетворювати органічні відходи в біогаз і біометан, забезпечуючи високу продуктивність та зменшення впливу на довкілля.

8. Успішна реалізація низки масштабних проєктів у різних регіонах України демонструє, як біогаз може стати ефективним інструментом для вирішення екологічних, енергетичних та економічних викликів.

Прикладами таких проєктів є МХП, Астарта(Глобино), Теофіпольський цукровий завод, Діоніс Біогаз Енерджі, Юзефо – Миколаївська Біогазова Компанія та ін.

Вони використовують органічні залишки (гній, сільськогосподарські відходи, мул) для виробництва біогазу, який перетворюється на енергію або очищується до біометану.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- <sup>1</sup> Білецький, В.С., Орловський, В.М. Біогаз. [\(https://vue.gov.ua/%D0%91%D1%96%D0%BE%D0%B3%D0%B0%D0%B7\\_\(%D0%92.%D0%A1.%D0%91%D1%96%D0%BB%D0%B5%D1%86%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9,%D0%92.%D0%9C.%D0%9E%D1%80%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9\)\)](https://vue.gov.ua/%D0%91%D1%96%D0%BE%D0%B3%D0%B0%D0%B7_(%D0%92.%D0%A1.%D0%91%D1%96%D0%BB%D0%B5%D1%86%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9,%D0%92.%D0%9C.%D0%9E%D1%80%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9)) (дата звернення Жовт 10, 2024).
- <sup>2</sup> Сидорчук, О. Досвід Європи та світу застосування біогазових технологій. <https://agrobiogas.com.ua/the-experience-of-europe-and-the-world-of-biogas-technologies/> (дата звернення Жовт 16, 2024).
- <sup>3</sup> Renewable Energy – Recast to 2030 (RED II). *European Commission*; European Commission: Брюссель, 2018. [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/reference-regulatory-framework/renewable-energy-recast-2030-red-ii\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/reference-regulatory-framework/renewable-energy-recast-2030-red-ii_en) (дата звернення Жовт 18, 2024).
- <sup>4</sup> World biogas association. Global Potential of Biogas. [https://www.worldbiogasassociation.org/wp-content/uploads/2019/07/WBA-globalreport-56ppa4\\_digital.pdf](https://www.worldbiogasassociation.org/wp-content/uploads/2019/07/WBA-globalreport-56ppa4_digital.pdf) (дата звернення Жовт 20, 2024).
- <sup>5</sup> Закон України «Про альтернативні джерела енергії». *Відомості ВР України*. Парламентське видавництво: Київ, 2003, №555 – IV. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text> (дата звернення Жовт 26, 2024).
- <sup>6</sup> Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року. *Кабінет Міністрів України*. Парламентське видавництво: Київ, 2023, № 373 – р. <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhvalennia-enerhetychnoi-stratehii-ukrainy-na-period-do-2050-roku-373r-210423> (дата звернення Жовт 27, 2024).
- <sup>7</sup> Урядовий портал. Стратегія майбутнього: Україна – це енергетичний хаб, який допоможе Європі позбутися залежності від росії. <https://www.kmu.gov.ua/news/stratehiia-maibutnoho-ukraina-tse-enerhetychnyi-khab-iaki-dopomozhe-ievropi-pozbutysia-zalezhnosti-vid-rosii> (дата звернення Жовт 29, 2024).
- <sup>8</sup> Міністерство енергетики України. Енергетичний хаб Європи: Україна схвалила енергетичну стратегію до 2050 року. <https://greentransform.org.ua/ukrayina->

[shvalyla-energetychnu-strategiyu-do-2050-roku/?print-posts=pdf](https://shvalyla-energetychnu-strategiyu-do-2050-roku/?print-posts=pdf) (дата звернення Жовт 29, 2024).

<sup>9</sup> Біоенергетична асоціація України. Сьогодні день народження українського біометану!.

<https://www.facebook.com/362651790524182/posts/pfbid02Snn6QFqHvuH45c6mB7TVVKW78d6WdRs7S5inK27i2x3KbkExZBjtDLNtVw8daMQ7l/> (дата звернення Жовт 31, 2024).

<sup>10</sup> Самойчук, К.О., Верхоланцева, В.О., Лівик Н.В. *Використання Енергії Вітру та Біопалива в Машинобудівній Галузі Промисловості* [Online]; Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного: Запоріжжя, **2020**; с 134. [https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv\\_4/page11.html](https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_4/page11.html) (дата звернення Лист 1, 2024).

<sup>11</sup> Гелетуша, Г. *Виробництво Енергії з Біомаси в Україні: Технології, Розвиток, Перспективи* [Online]; Академперіодика: Київ, **2022**; с 214. <https://drive.google.com/file/d/1mdPf4V69uwxAWIRgOCVUtBgFu5VIFxxD/view?usp=sharing> (дата звернення Лист 4, 2024).

<sup>12</sup> Олексієнко, М. Таблиця теплотворної здатності. [https://issuu.com/5649278/docs/tablycy\\_a\\_teplo tvornoj\\_zdatnosti](https://issuu.com/5649278/docs/tablycy_a_teplo tvornoj_zdatnosti) (дата звернення Лист 5, 2024).

<sup>13</sup> Nailong, L. *Biomethane Production Via Anaerobic Digestion and Biomass Gasification* [Online]; Elsevier: China, **2016**; с. 172. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217305313> (дата звернення Лист 6, 2024).

<sup>14</sup> Agrobiogas. Біометанові станції. <https://agrobiogas.com.ua/biomethane-station/> (дата звернення Лист 7, 2024).

<sup>15</sup> Biogas<sup>3</sup>. Sustainable small-scale biogas production from agro-food waste for energy self-sufficiency [Online]; Biogas<sup>3</sup>: Spain, **2016**; с. 44. <https://drive.google.com/file/d/1nboGNUUnPMES30-eTxp1ev1fbvvMImlrLc/view?usp=sharing> (дата звернення Лист 11, 2024).

<sup>16</sup> Директива 2009/73/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 13 липня 2009 року « Про спільні правила внутрішнього ринку природного газу». *Європейський*

*Парламент та Рада Європейського Союзу. European Parliament: Брюссель, 2009. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/73/oj> (дата звернення Лист 13, 2024).*

<sup>17</sup> Директива від 23.04.2009 № 2009/28/ЄС «Про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел та якою вносяться зміни до, а в подальшому скасовуються Директиви 2001/77/ЄС та 2003/30/ЄС». *Європейський Парламент та Рада Європейського Союзу. European Parliament: Брюссель, 2009. [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=69753](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=69753) (дата звернення Лист 13, 2024).*

<sup>18</sup> Директива від 25.10.2012 № 2012/27/ЄС «Про енергоефективність». *Європейський Парламент та Рада Європейського Союзу. European Parliament: Брюссель, 2012. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj> (дата звернення Лист 13, 2024).*

<sup>19</sup> European Green Deal. *Європейський Парламент та Рада Європейського Союзу. European Parliament: Брюссель, 2019. <https://ukraine-eu.mfa.gov.ua/posolstvo/galuzeve-spivrobitnictvo/klimat-yevropejska-zelena-ugoda> (дата звернення Лист 14, 2024).*

<sup>20</sup> Fit for 55. *Європейський Парламент та Рада Європейського Союзу. European Parliament: Брюссель, 2021. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/#0> (дата звернення Лист 14, 2024).*

<sup>21</sup> Dekker, H. REPowerEU. <https://www.europeanfiles.eu/energy/biomethanes-contribution-to-repowereu> (дата звернення Лист 13, 2024).

<sup>22</sup> Директива ЄС 2023/2413 RED III. *Європейський Парламент та Рада Європейського Союзу. European Parliament: Брюссель, 2023. <https://dixigroup.org/comment/16149/> (дата звернення Лист 15, 2024).*

<sup>23</sup> Сидорчук, О. Законодавче регулювання об'єктів утилізації та енергетичного перетворення органічних відходів та решток. <https://agrobiogas.com.ua/legislative-regulation-of-objects-of-disposal-and-energy-conversion-of-organic-waste-and-residues/> (дата звернення Лист 14, 2024).

<sup>24</sup> Постанова Кабінету Міністрів № 823 «Про затвердження Порядку функціонування реєстру біометану». *Кабінет Міністрів України. Парламентське видавництво: Київ, 2022, № 823. <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennia->*

[poriadku-funktsionuvannia-reiestru-biometanu-823-220722](#) (дата звернення Лист 16, 2024).

<sup>25</sup> Гелетуха, Г.Г., Кучерук, П.П., Матвеев, Ю.Б. *Перспективи Виробництва Біометану в Україні* [Online]; Академперіодика: Київ, 2022; с 23. <https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/09/UA-Position-paper-UABIO-29.pdf> (дата звернення Лист 14, 2024).

<sup>26</sup> UABIO. Виробництво біометану в Європі зросло на 20 %. <https://uabio.org/materials/infographics/15629/> (дата звернення Лист 15, 2024).

<sup>27</sup> UABIO. Потенціал виробництва біометану в ЄС. <https://uabio.org/materials/13559/> (дата звернення Лист 15, 2024).

<sup>28</sup> UABIO. European Biogas Association Statistical. <https://uabio.org/en/materials/7524/> (дата звернення Лист 16, 2024).

<sup>29</sup> Ieabioenergy. New IEA report: Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth. <https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/new-iea-report-outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/> (дата звернення Лист 16, 2024).

<sup>30</sup> UABIO. Виробництво і використання біогазу в Україні. <https://uabio.org/wp-content/uploads/2012/11/biogas-arzinger-handbook.pdf> (дата звернення Лист 17, 2024).

<sup>31</sup> Департамент екологічної безпеки Мінприроди. Побутові відходи. <https://ecoclubua.com/problems/ukrajina-v-smitti-pobutovi-vidhody/> (дата звернення Лист 18, 2024).

<sup>32</sup> World Energy Outlook. The outlook for biogas and biomethane to 2040. <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/the-outlook-for-biogas-and-biomethane-to-2040> (дата звернення Лист 20, 2024).

<sup>33</sup> EBA. Statistical Report 2023. <https://www.europeanbiogas.eu/eba-statistical-report-2023/> (дата звернення Лист 20, 2024).

<sup>34</sup> CEDIGAZ. Global biomethane market 2023 assessment. <https://www.cedigaz.org/global-biomethane-market-2023-assessment-from-ambition-to-action/> (дата звернення Лист 21, 2024).

<sup>35</sup> <https://www.linkedin.com/company/agrifyl%27s-energie> (дата звернення Лист 22, 2024).

<sup>36</sup> <https://www.ava-augsburg.de/energie/biogas/> (дата звернення Лист 23, 2024).

<sup>37</sup> Issuu. Biogas to Biomethane. <https://issuu.com/fachverband.biogas/docs/btb> (дата звернення Лист 23, 2024).

<sup>38</sup> ECOBUSINESS. Інноваційна програма МХП: Біогаз 5.0 для вуглецевонейтрального виробництва. <https://ecolog-ua.com/news/innovaciyna-programa-mhp-biogaz-50-dlya-vuglecevoneytralnogo-vyrobnyctva> (дата звернення Лист 23, 2024).

<sup>39</sup> УТК. Юзефо-Миколаївська біогазова електростанція. <https://utc.bio/ii-cherga-yuzefo-mykolayivskoyi-biogazovoyi-elektrostantsiyi/> (дата звернення Лист 24, 2024).

<sup>40</sup> Астарта – Київ. Біоенергетика. <https://astartaholding.com/bioenergetyka/> (дата звернення Лист 24, 2024).

<sup>41</sup> Національна асоціація цукровиків України. У Теофіполі з'явилася нова біогазова установка. <http://ukrsugar.com/uk/post/u-teofipoli-zavilasa-nova-biogazova-ustanovka> (дата звернення Лист 24, 2024).

<sup>42</sup> УТК. Введення в експлуатацію нового біогазового комплексу Dionis Biogas Energy. <https://utc.bio/vvedennya-v-ekspluatacziyu-novogo-biogazovogo-kompleksu-dionis-biogas-energy/> (дата звернення Лист 24, 2024).