

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ННІ холоду, кріотехнології та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського

Кафедра екології, води та природоохоронних технологій.

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему **Дослідження використання біоенергетичних культур в Україні**

Здобувача Турецького М.О.

2 курсу ТЗС-467 групи

Керівник доцент Шпирко Т.В.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 2024 р., протокол № _____

Завідувач кафедри ЕВтаПТ _____ **Олексій ГАРКОВИЧ**

Одеса - 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ННІ холоду, кріотехнології та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського
Кафедра екології, води та природоохоронних технологій.

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри
к-т біол. наук, доц.

_____ **О.Л. Гаркович**

“ ____ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Турецького Микити Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Дослідження використання біоенергетичних культур в Україні»

Затверджена наказом ОНТУ від “28” 03 2024 року, наказ № 139-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 29.11.24.

3. Вихідні дані до роботи поточний стан розвитку біоенергетики в Україні; потенціал для вирощування біоенергетичних культур; матеріали переддипломної практики

4. Перелік питань, які потрібно розробити енергетична оцінка основних біоенергетичних культур; їхній вплив на екологію та економіку; перспективи інтеграції біомаси в енергетичну систему України.

5. Перелік графічного матеріалу (з зазначенням обов'язкових креслень) таблиці та схеми, що відображають хід виконання дипломної роботи

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Розвиток біоенергетики в Україні, його перспективи	Шпирко Т.В., к.б.н., доц.	14.08.	15.09.
2. Матеріали та методи досліджень	Шпирко Т.В., к.б.н., доц.	15.09	30.09
3. Технологічні підходи для виробництва енергії з біомаси	Шпирко Т.В., к.б.н., доц.	30.09	16.10
4. Охорона праці	Гаркович О.Л., к.б.н., доц.	16.10	18.11
5. Цивільний захист	Гаркович О.Л., к.б.н., доц.	18.11	26.11

7. Дата видачі завдання 02.09.2024 р.

Керівник _____ Тетяна ШПИРКО

Завдання прийняв до виконання _____ Микита ТУРЕЦЬКИЙ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Загальна характеристика біоенергетичних культур	24.09.24	
2	Енергетична оцінка біоенергетичних культур	10.10.24	
3	Вивчення сучасних методів обробки та використання біомаси для виробництва енергії	15.11.24	
4	Охорона праці та ЦЗ	26.11.24	
5	Оформлення результатів виконаної роботи	29.11.24	

Здобувач вищої освіти _____ Микита ТУРЕЦЬКИЙ

Керівник роботи _____ Тетяна Шпирко

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності

Здобувач вищої освіти Микита ТУРЕЦЬКИЙ _____

АНОТАЦІЯ

Випускна кваліфікаційна робота магістра: сторінок - 90, рис. – 27, табл. – 9, формул – 3, література – 25.

Перелік ключових слів: біоенергетика, біомаса, біоенергетичні культури, відновлювані джерела енергії, технології виробництва енергії, потенціал біомаси, екологічна безпека.

Мета роботи - дослідження потенціалу біоенергетичних культур в Україні та визначення технологічних підходів для їх ефективного використання у виробництві енергії.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні **завдання**: аналіз сучасного стану розвитку біоенергетики в Україні та оцінка можливості для впровадження біоенергетичних культур; оцінити перспективи використання біомаси як джерела енергії у контексті енергетичного переходу; дослідити технологічні підходи до вирощування, збору та переробки біомаси для отримання енергії; вивчити аспекти охорони праці та цивільного захисту під час роботи з біомасою.

Об'єкт дослідження - біоенергетичні культури, їхні властивості.

Предмет дослідження - аналіз особливостей вирощування, використання та економічної ефективності біоенергетичних культур в енергетичному балансі України.

Кваліфікаційна робота магістра складається з таких розділів:

Розділ 1. Розглянуто сучасний стан розвитку біоенергетики в Україні, оцінено потенціал вирощування біоенергетичних культур та їхню роль у забезпеченні енергетичної незалежності країни.

Розділ 2. Наведено матеріали та методи досліджень, які використовувалися для аналізу потенціалу біоенергетичних культур, а також для оцінки їх ефективності у виробництві енергії.

Розділ 3. Висвітлено технологічні підходи до переробки біомаси, зокрема використання сучасних технологій у виробництві біопалива.

Розділ 4. Охарактеризовано заходи щодо забезпечення охорони праці при роботі з біоенергетичними культурами та обладнанням для переробки біомаси.

Розділ 5. Проаналізовано аспекти цивільного захисту, пов'язані з використанням біомаси та її впливом на навколишнє середовище.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. РОЗВИТОК БІОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ ТА ЙОГО ПЕРСПЕКТИВИ. ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР В УКРАЇНІ	7
1.1. Розвиток біоенергетики в Україні.....	7
1.2. Технологічні інновації та їхній вплив на розвиток біоенергетики в Україні.....	12
1.3. Перешкоди та виклики розвитку біоенергетики в Україні.....	15
1.4. Підвищення ефективності біоенергетичного виробництва через інноваційні агротехнічні практики та розвиток локальної переробки.....	17
1.5. Енергетичні культури.....	21
1.6. Міжнародний досвід вирощування біоенергетичних культур та його адаптація до українських умов.....	34
1.7. Енергетичний потенціал біомаси в Україні.....	35
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	38
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГІЇ З БІОМАСИ	42
3.1. Виробництва або технології отримання енергії з біомаси.....	42
3.2. Критерії контролю та виробництво біогазу.....	57
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	74
4.1. Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів.....	74
4.2. Вимоги до території, робочих місць, організації безпечного руху працівників і транспорту.....	75
4.3. Забезпечення нормативних значень показників мікроклімату та чистоти повітря.....	76
4.4. Освітлення, заходи і засоби для забезпечення нормованих показників освітлення.....	77
4.5. Заходи і засоби для забезпечення нормованих значень шуму та вібрації.....	78
4.6. Забезпечення необхідного санітарного стану виробництва.....	79
4.7. Заходи і засоби для захисту працюючих від ураження електричним струмом, блискавкозахист і захист від статичної електрики.....	79
4.8. Забезпечення пожежовибухобезпеки.....	80
РОЗДІЛ 5. ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ	82
ВИСНОВКИ	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	88

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні виклики в енергетичній сфері, зокрема зменшення запасів викопного палива, екологічні загрози та залежність України від імпорту енергоносіїв, визначають необхідність пошуку та впровадження альтернативних джерел енергії. Серед численних варіантів вирішення цієї проблеми особливу увагу привертає біоенергетика, яка ґрунтується на використанні поновлюваних ресурсів, таких як відходи сільського господарства, деревини, а також спеціально вирощувані енергетичні культури.

Розвиток біопаливної індустрії, зокрема виробництва пелет, брикетів та інших видів біопалива, може стати важливим кроком для зменшення екологічного впливу енергетичного сектору. Біопаливо характеризується не лише поновлюваністю, а й значно нижчим рівнем викидів парникових газів у порівнянні з традиційними паливами. Окрім цього, використання біоенергетичних ресурсів сприяє утилізації відходів та створенню нових робочих місць у сільській місцевості, що особливо важливо для України.

У цьому контексті особливо актуальним є дослідження потенціалу біопалива як енергетичного ресурсу, його економічної доцільності та технологічних можливостей впровадження в масштабах країни. Україні належить значний біоенергетичний потенціал, який все ще не реалізований у повній мірі. Тому актуальність теми полягає у визначенні найперспективніших напрямків розвитку біоенергетики, враховуючи наявні природні ресурси, економічні передумови та глобальні тенденції переходу до стійких джерел енергії.

РОЗДІЛ 1

РОЗВИТОК БІОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ ТА ЙОГО ПЕРСПЕКТИВИ. ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР В УКРАЇНІ

1.1. Розвиток біоенергетики в Україні

З розвитком людської цивілізації відбувається безперервне збільшення попиту на енергетичні ресурси. За останні 55 років споживання енергії у світі зросло майже вчетверо, з 43 тис. ТВт-год у 1965 році до 162 тис. ТВт-год у 2019 році. При цьому використання нафтопродуктів зросло утричі, вугілля — у 2,7 рази, а природного газу — у 6,2 рази. (рис.1.1).

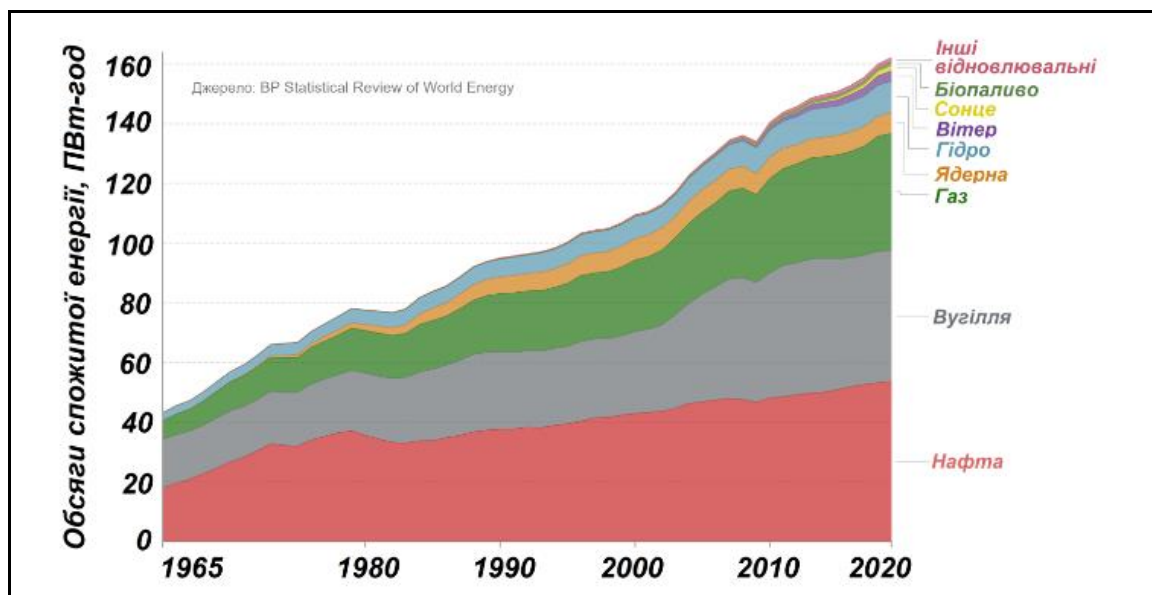


Рис 1.1. Структура та зміни у світовому енергетичному споживанні.

На 2019 рік основна частина енергії у світі, а саме 84,3%, генерується з викопного палива, такого як нафта (33,1%), вугілля (27,0%) та природний газ (24,2%). Лише 15,7% енергії надходить від низьковуглецевих джерел, зокрема атомної енергетики (4,3%), гідроелектростанцій (6,5%) і відновлювані джерела енергії (ВДЕ) складають 5%. За останні 55 років надмірна залежність від викопного палива спричинила триразове збільшення викидів парникових газів. Так 1965 році викиди CO₂, що виникали внаслідок спалювання цих ресурсів, становили 11,3 млрд тонн то в 2019 році ця цифра зросла до 36,5 млрд тонн. Це

підвищення стало причиною збільшення концентрації вуглекислого газу в атмосфері, що веде до глобальних змін клімату. Основним критерієм цих змін є поступове підвищення середньої температури на Землі. Зважаючи на це, перехід від викопних енергетичних ресурсів до відновлювальних є ключовим кроком для досягнення вуглецевої нейтральності, яку планується реалізувати до кінця цього століття. Проте на сьогодні ВДЕ забезпечують близько 30% світового енергоспоживання, тоді як у Європі цей показник сягає 25% (збільшившись із 19% у 2021 році). Лідерами у використанні відновлювальних джерел, понад 60%, є Ісландія, Норвегія, Швеція (див. рис. 1.2). В Україні ж відновлювані джерела забезпечують лише 14% від загального обсягу первинної енергії, що значно поступається показникам інших європейських країн.

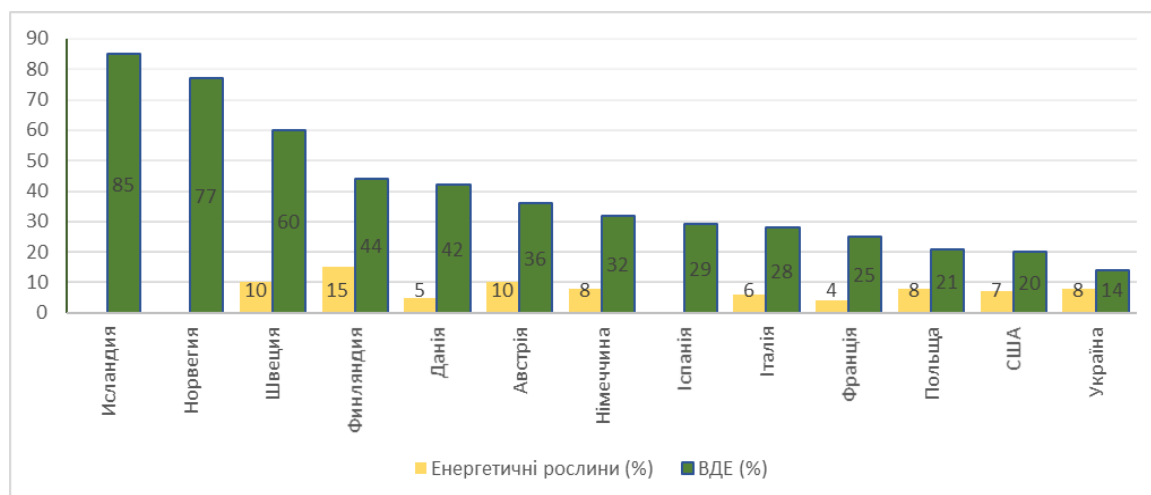


Рис. 1.2. Доля ВДЕ в енергетичній структурі країн.

Таким чином, для досягнення євроінтеграційних цілей і формування економіки з низьким рівнем викидів вуглецю Україні слід приділяти більше уваги розвитку ВДЕ, зокрема біоенергетичних технологій [1].

Розвиток біоенергетики в Україні почався порівняно з країнами пізно. Перші кроки у напрямку використання біоенергетичних ресурсів стали можливими завдяки енергетичним кризам, що сталися в середині 1990-х років, а також потребі у зменшенні залежності від імпортованих енергоресурсів. На той час основна увага була зосереджена на підвищенні енергетичної ефективності та

пошуку альтернативних джерел енергії.

Міжнародні проекти та програми, особливо за підтримки Європейського Союзу та таких організацій, як Світовий банк, відіграли ключову роль у біоенергетичному розвитку України. Початкові масштабні проекти, що використовували біомасу як паливо, були впроваджені переважно в сільськогосподарських регіонах країни. У цих районах накопичувалася значна кількість аграрних відходів, зокрема соломи та лушпиння соняшника, які стали основою для нових енергетичних рішень.

Державна політика у сфері біоенергетики почала змінюватися на початку 2000-х років. Саме тоді уряд ухвалив низку законодавчих актів, спрямованих на підтримку ВДЕ. Запровадження "зеленого тарифу" стало важливим кроком, який заохочував інвесторів вкладати кошти у біоенергетичні проекти. Проте, попри цей стимул, галузь довгий час залишалася недорозвиненою через низку проблем, серед яких недостатнє фінансування, застарілі технології та слабка інфраструктура.

У сей час біоенергетика є важливою складовою енергетичної стратегії України, що спрямована на зменшення залежності від традиційних викопних видів палива. За даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження, біоенергетика забезпечує значну частину відновлюваної енергії, яка використовується в Україні. Основними видами біомаси, що використовуються, є сільськогосподарські відходи, деревина, енергетичні культури (міскантус, верба) та відходи тваринництва.

У 2019 році біоенергетика займала найбільшу частку в структурі виробництва енергії з відновлювальних джерел – 79,3%. Загальний обсяг постачання первинної енергії з біопалива та відходів становив 3 362 тис. тонн умовного пального, що еквівалентно заміщенню 4,2 млрд куб. м природного газу на рік, що складає понад 13% від загального споживання газу в Україні [2].

В останні роки спостерігається зростання числа компаній, що використовують біоенергетичні ресурси для виробництва тепла та електроенергії. Особливо помітний прогрес у центральних та західних регіонах

країни, де розвинена аграрна промисловість дозволяє ефективно використовувати аграрні відходи. Багато компаній, що займаються агробізнесом, активно інвестують у розвиток власних біоенергетичних потужностей, що сприяє диверсифікації енергопостачання та зменшенню викидів вуглецю.

Україна має великий потенціал для розвитку біоенергетики, що обумовлено великою кількістю доступних біомасових ресурсів. У країні існує велика кількість сільськогосподарських угідь та відходів аграрної продукції, які можуть бути використані для виробництва біоенергії. За даними експертів, лише близько 10% потенційної біомаси наразі використовується "для отримання енергії, що вказує на величезний нереалізований потенціал галузі.

Одним із ключових факторів, що стимулює розвиток біоенергетики, є зростаюча підтримка з боку уряду та міжнародних партнерів. Державні програми та стратегії, спрямовані на розвиток відновлюваних джерел енергії, включають конкретні цілі щодо збільшення використання біоенергетичних ресурсів. Зокрема, у рамках Енергетичної стратегії України до 2035 року заплановано збільшення частки відновлюваної енергії, включаючи біомасу, до 25% від загального виробництва енергії.

Наукові дослідження показали, що природний потенціал України дозволяє щорічно виробляти 49 млн тонн умовного палива (ум.п.). Водночас експерти оцінюють економічно обґрунтований рівень цього показника в межах 20–25 млн т ум.п. Однак прогнози розвитку біоенергетики до 2035 року, представлені багатьма дослідниками та науковими установами, залишаються доволі песимістичними. Зокрема, очікується, що цей показник становитиме лише 2,2 млн т у нафтовому еквіваленті (н. е.), а до 2050 року зросте до 4 млн т н. е.

За даними Української асоціації відновлювальної енергетики, частина ВДЕ загальному виробництві електроенергії з 2012 до 2017 року збільшилася лише з 0,43% до 1,47%, досягнувши 1374,712 ГВт порівняно з загальними 93517,823 ГВт. При цьому біомаса займала провідну позицію, становлячи 80% у структурі ВДЕ. Це свідчить про ключову роль біоенергетики порівнюючи ВДЕ, такими як вітрова, сонячна та гідроенергія, що підкреслює необхідність її активного

розвитку.

В Україні вже є кілька сотень підприємств із виробництва пелет і брикетів, а також тисячі котлів різного масштабу, що працюють на відходах дерева, дровах, трісці та гранулах. Близько 200 котлів і генераторів використовують стебла кукурудзи, пресовану соломку, лушпиння соняшнику та іншу аграрну сировину як паливо.

Для виробництва біогазу використовуються такі органічні матеріали, як силос кукурудзи, жом з буряків, гній тварин і пташиний послід. Крім того, активно розвиваються плантації енергетичних культур, зокрема верби (приблизно 5 тис. га) та міскантусу (приблизно 2 тис. га). На деяких цукрових підприємствах також освоєно виробництво біоетанолу з меляси та біогазу з жому, а також виготовляються органічні розчинники, кормові добавки, добрива з барди та мікробіологічні препарати. Попри складну економічну ситуацію, як внутрішні, так і зовнішні фактори значно гальмують розвиток біоенергетики в Україні, однак прогнози, наведені в таблиці 1.1, цілком реалістичні і досяжні [3].

Таб. 1.1 Очікуваний розвиток біоенергетики в Україні до 2035 року

Види палива	2016 рік, факт		2025 рік		2030 рік		2035 рік	
	млн т н. е.	%	млн т н. е.	%	млн т н. е.	%	млн т н. е.	%
Тверді	2.07	73.2	3.5	56.5	4.5	52.9	6.5	55.1
Рідкі	0.27	9.5	0.7	11.3	1.0	11.8	1.7	14.4
Біогаз	0.49	17.3	2.0	32.2	3.0	35.3	3.6	30.5
Всього	2.83	100	6.2	100	8.5	100	11.8	100

У перспективі, біоенергетика може не лише допомогти Україні зменшити залежність від імпортованих енергоресурсів, але й сприяти розвитку регіональних економік. Посів біоенергетичних рослин, таких як міскантус або енергетична верба, може стати новим джерелом доходів для аграрних підприємств, що володіють значними площами сільськогосподарських земель. Також це допоможе створити нові робочі місця у сільських районах, де відчувається нестача робочих можливостей.

Окрім економічних вигод, біоенергетика може значно покращити

екологічну ситуацію в Україні. Використання біомаси для виробництва енергії є більш екологічно безпечним варіантом порівняно з викопними видами палива, такими як вугілля або газ. Завдяки зниженню викидів парникових газів та інших шкідливих речовин, біоенергетика сприяє збереженню навколишнього середовища. Це також відповідає цілям міжнародних кліматичних угод, до яких Україна приєдналася, зокрема Паризькій угоді.

Україна активно налагоджує партнерство з міжнародними установами, серед яких Світовий банк та Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР), для залучення інвестицій у проекти з розвитку біоенергетики. Ці інвестиції допомагають не лише запроваджувати інноваційні технології у виробництво енергії з біомаси, але й покращують загальний рівень енергоефективності країни. У рамках таких проектів передбачено фінансування для модернізації обладнання, впровадження передових технологій та навчання фахівців у галузі біоенергетики.

1.2. Технологічні інновації та їхній вплив на розвиток біоенергетики в Україні

Технологічний прогрес є одним із ключових факторів розвитку біоенергетики в Україні. Технологічні новації в біоенергетичній галузі дозволяють не тільки підвищити ефективність використання біомаси, але й зробити процеси виробництва енергії більш екологічними та економічно вигідними. Найбільш перспективними напрямками вважаються когенераційні установки, технології піролізу, газифікації, а також вдосконалені методи перетворення біомаси у рідкі та газоподібні види палива.

Однією з найпоширеніших технологій в Україні – це когенераційні системи, здатні одночасно генерувати тепло та електричну енергію, що сприяє максимально ефективному використанню біомаси, що має особливо велике значення для підприємств, які мають постійний доступ до аграрних відходів. Завдяки когенерації підприємства можуть значно знижувати свої енергетичні витрати та мінімізувати залежність від зовнішніх джерел енергії. Багато

аграрних компаній взяли на озброєння когенераційні установки на своїх виробництвах, що дозволило їм не тільки знизити витрати, але й підвищити екологічність бізнесу.



Рис. 1.3. Когенераційні установки

Когенерація забезпечує підвищену ефективність використання енергоресурсів. Тепло, що генерується під час виробництва електроенергії, може використовуватися на місці для опалення чи виробництва пари. У порівнянні з двома окремими джерелами для отримання тепла та електрики, застосування когенераційної системи дозволяє заощадити до 40% палива.

Переваги когенераційні установки

Одночасне виробництво тепла та електроенергії. Енергія, отримана з власної міні-ТЕЦ, обходиться на 40–60% дешевше за тарифи, що дозволяє станції окупатися протягом 2–4 років залежно від її характеристик і умов експлуатації.

Енергонезалежність. Міні-ТЕЦ забезпечує повну автономію від монополізованих регіональних енергомереж, усуваючи ризики необґрунтованого підвищення тарифів. Відсутня потреба у витратах на будівництво підвідних та розподільчих мереж чи оплати за підключення, оскільки станцію встановлюють безпосередньо поблизу споживачів.

Високий коефіцієнт корисної дії (ККД). Генерація електроенергії досягає ККД 48%, а при одночасному виробництві тепла показник збільшується до 90%.

Надійність і простота експлуатації. Обладнання обслуговується на місці, що мінімізує експлуатаційні витрати. Компактні розміри станції знижують початкові інвестиції.

Ефективність під час пікових навантажень. Когенераційна газопоршнева установка здатна досягти повної потужності менш ніж за дві хвилини, що робить її ідеальною для пікових режимів роботи.

Станом на середину квітня 2024 року для потреб України закуплено 91 когенераційна установка, 80 когенераційних установок вже розподілено в 21 області [4].

Ще одна важлива технологія — піроліз, яка передбачає термічну обробку біомаси при відсутності кисню для отримання синтетичного газу, рідкого палива або твердих залишків. Цю технологію можна застосовувати як в рамках великих енергетичних комплексів, так і для малих локальних ініціатив. Піроліз дозволяє ефективно переробляти відходи аграрного виробництва, такі як солома, лушпиння соняшнику, деревину, та отримувати з них енергетично цінні продукти. В Україні піролізні технології поки що впроваджені на обмеженій кількості об'єктів, однак їхній потенціал значний, особливо у сільськогосподарських регіонах, де аграрні відходи є доступними у великих обсягах.

Що стосується газифікації біомаси, то ця технологія також має перспективи для широкого застосування. Газифікація передбачає перетворення органічних матеріалів на газоподібне паливо шляхом часткового окиснення. Цей процес дозволяє отримувати синтетичний газ (синтез-газ), який можна використовувати для виробництва тепла або електричної енергії. В Україні реалізували кілька успішних пілотних проектів газифікації біомаси, однак для повномасштабного впровадження цієї технології необхідні подальші інвестиції та державна підтримка.

Загалом, технологічний прогрес у сфері біоенергетики відкриває нові можливості для України, допомагаючи не лише знизити залежність від традиційних енергоносіїв, однак й покращити екологічну ситуацію та створити

нові робочі місця у сільських регіонах.

1.3. Перешкоди та виклики розвитку біоенергетики в Україні

Хоча існує значний потенціал, біоенергетика в Україні стикається з низкою перешкод, які обмежують її подальший розвиток. Ці виклики охоплюють як внутрішні фактори, пов'язані з недостатньою підтримкою з боку держави, так і зовнішні обмеження, пов'язані з загальними економічними та інфраструктурними проблемами.

Однією з ключових перешкод є **недосконала нормативно-правова база**, яка регулює розвиток біоенергетичного сектору. Хоча уряд ухвалив низку законів, спрямованих на підтримку відновлюваної енергетики, зокрема системи "зеленого тарифу", ця підтримка часто є недостатньою або нерівномірною. У деяких регіонах України відсутні чіткі процедури для підключення біоенергетичних установок до загальної енергетичної мережі, що ускладнює інтеграцію біоенергетики у загальну енергосистему країни. Крім того, існують проблеми із затримками виплат за "зеленим тарифом", що демотивує інвесторів та підприємців.

Другий значний виклик полягає у **недостатньому фінансуванні та інвестиціях** у сектор біоенергетики. Багато українських підприємств, особливо у сільських районах, стикаються з проблемою браку капіталу для інвестування в сучасні технології біоенергетики. Зважаючи на потребу у великих початкових інвестиціях для впровадження нових технологій багато аграрних підприємств не мають фінансових ресурсів для модернізації своїх енергетичних систем. Хоча існують міжнародні гранти та програми підтримки, таких як Horizon 2020 або проекти Світового банку, їх доступність обмежена для малих і середніх підприємств.

Окрім фінансових проблем, **недостатньо розвинута інфраструктура** також створює бар'єри для розвитку біоенергетики. У багатьох регіонах відсутні сучасні потужності для збору та переробки біомаси, а логістика доставки біомаси з сільськогосподарських регіонів до енергетичних об'єктів залишається

складною та дорогою. Особливо гостро це питання постає у віддалених та малонаселених районах, де транспортні витрати значно збільшуються, що робить виробництво біоенергії економічно не вигідним.

Також варто зазначити проблему **обмежених знань і кваліфікації фахівців** у сфері біоенергетики. Незважаючи на те, що в українських університетах почали з'являтися програми навчання за напрямками відновлюваної енергетики, брак досвідчених спеціалістів залишається проблемою. Це стосується як інженерів, які розробляють нові установки, так і фахівців з управління та обслуговування біоенергетичних об'єктів.

Крім того, **економічна нестабільність** країни та коливання на міжнародних ринках енергії також впливають на розвиток біоенергетики в Україні. Нестабільність національної валюти, ризики інфляції та постійні зміни в політичній сфері роблять інвестиції у відновлювану енергетику ризикованими для іноземних інвесторів. Це, у свою чергу, обмежує доступ до зовнішніх інвестицій та технологій, які могли б суттєво прискорити розвиток галузі.

Розвиток біоенергетики в Україні має величезний потенціал завдяки наявності значних ресурсів біомаси, стратегічному прагненню до енергетичної незалежності та підтримці з боку державних і міжнародних інституцій. Протягом останніх років було зроблено кілька важливих кроків у напрямку активізації цього сектору, включаючи ухвалення законодавства про підтримку відновлюваних джерел енергії та розвиток спеціалізованих технологій для ефективного використання біоенергетичних культур.

Проте значні перешкоди все ще стоять на шляху до повномасштабного використання цього потенціалу. До основних викликів належать нерозвиненість нормативно-правової бази, обмежене фінансування, недостатня інфраструктура, а також брак кваліфікованих спеціалістів. Для того щоб Україна могла повністю реалізувати свій біоенергетичний потенціал, необхідно впроваджувати подальші реформи, покращувати умови для інвесторів та стимулювати розвиток сучасних технологій, зокрема когенераційних установок, піролізу та газифікації біомаси.

Міжнародна практика доводить, що подолання цих труднощів здатне

значно прискорити перехід до чистих джерел енергії.

1.4. Підвищення ефективності біоенергетичного виробництва через інноваційні агротехнічні практики та розвиток локальної переробки

Вирощування змішаних культур та агротехнічні інновації у поєднанні з розвитком локальних переробних потужностей можуть значно збільшити рентабельність і знизити екологічний вплив біоенергетичних культур.

Змішані культури — це інноваційний підхід у сільському господарстві та біоенергетиці, де на одному полі вирощуються кілька видів рослин, що взаємодоповнюють одна одну завдяки різним агротехнічним властивостям. Такий метод підвищує ефективність використання ґрунтів, оптимізує використання добрив, а також дозволяє отримати більші врожаї біомаси. Ось докладніше про цей підхід:

Принцип вирощування змішаних культур

Змішані культури передбачають поєднання рослин, які мають різні потреби в поживних речовинах, воді та світлі. Це дозволяє ефективніше використовувати ресурси поля та знижує конкуренцію між рослинами. Деякі культури, наприклад, здатні покращувати структуру ґрунту або збагачувати його азотом (бобові культури, як люцерна чи конюшина), тоді як інші забезпечують високу врожайність біомаси (сорго, ріпак). Вирощування таких культур разом сприяє підвищенню загальної продуктивності поля.

Переваги змішаних культур

- **Зменшення виснаження ґрунтів:** Культури з різними кореневими системами (наприклад, ріпак з глибокою кореневою системою та сорго з поверхневою) допомагають ефективніше використовувати поживні речовини на різних рівнях ґрунту. Це дозволяє уникнути надмірного виснаження певних шарів ґрунту, сприяючи його довготривалому родючості.
- **Стійкість до шкідників та хвороб:** Вирощування кількох культур одночасно знижує ризик масового поширення шкідників або хвороб, оскільки шкідники зазвичай вражають певний вид рослин. Це підвищує екологічну

стійкість культур і зменшує потребу в хімічних пестицидах.

- Вища врожайність: Різні види рослин мають різний цикл росту та час збору. Наприклад, ріпак збирається раніше, а сорго пізніше. Це дозволяє продовжити період збору врожаю та отримати більшу кількість біомаси за один сезон. Крім того, деякі культури сприяють поліпшенню якості ґрунту (наприклад, люцерна), що позитивно впливає на врожайність інших рослин.

Приклади змішаних культур

Ріпак і сорго - Ріпак забезпечує високу врожайність олійної культури, яка може бути перероблена на біодизель, тоді як сорго забезпечує додаткову біомасу для біопалива. Поєднання цих культур дозволяє більш ефективно використовувати ґрунт і водні ресурси.

Кукурудза і конопля - ця комбінація допомагає підвищити загальний вихід біомаси завдяки тому, що кукурудза забезпечує високу енергоефективність, а конопля має хорошу стійкість до шкідників і сприяє покращенню структури ґрунту.

Змішані культури є особливо ефективними для біоенергетики, оскільки вони дозволяють отримувати більше біомаси з меншими витратами. Завдяки їхньому різному часу збору, фермери можуть уникати пікових періодів збирання та знижувати витрати на обробку ґрунтів і техніку. Це також дозволяє адаптувати систему вирощування до різних кліматичних умов та специфіки ґрунтів в Україні.

Агротехнічні інновації відіграють важливу роль у підвищенні ефективності виробництва біоенергетичних культур, забезпечуючи оптимальне використання природних ресурсів і технологій. Використання таких інновацій, як **точне землеробство, дрони для моніторингу полів, крапельне зрошення та оптимізація добрив**, дозволяє не тільки підвищити врожайність, але й знизити витрати та екологічний вплив аграрної діяльності.

Однією з ключових інновацій є **точне землеробство**, яке базується на застосуванні сучасних технологій, таких як GPS-навігація, автоматизовані системи збору даних, а також аналітичні алгоритми для керування аграрними

процесами. Точне землеробство дозволяє значно підвищити продуктивність завдяки точному плануванню і внесенню добрив або засобів захисту рослин. Ця технологія дає змогу фермерам розуміти, де саме на полі потрібні певні дії, мінімізуючи втрати ресурсів та запобігаючи зайвому виснаженню ґрунту.

Дрони є ще однією важливою складовою агротехнічних інновацій. Завдяки ним стало можливим моніторити стан полів і рослин у реальному часі. Дрони здатні швидко збирати інформацію про стан посівів, включаючи показники зростання, колір та вологість рослин, виявляти ознаки захворювань чи шкідників.

Це дозволяє своєчасно вживати заходів для збереження врожаю або коригування умов вирощування. Використання дронів дає змогу фермерам знизити витрати на пестициди та інші засоби захисту, адже проблема може бути виявлена на ранніх етапах, коли ще не потрібне масштабне втручання.

Ще однією важливою інновацією є **системи крапельного зрошення**, які дозволяють значно економити воду під час вирощування біоенергетичних культур. Така система подає воду безпосередньо до коренів рослин, що знижує втрати води через випаровування і запобігає перезволоженню ґрунту. Особливо важливо це для регіонів з обмеженими водними ресурсами, де крапельне зрошення допомагає досягти стабільної врожайності навіть у посушливих умовах. Вода подається в потрібних обсягах у конкретні періоди розвитку рослин, що також підвищує ефективність вирощування.

Крім того, важливим аспектом агротехнічних інновацій є **оптимізація внесення добрив**, що дозволяє значно зменшити витрати на агрохімікати. Замість рівномірного розкидання добрив по всьому полю, використання сучасних технологій дозволяє точково вносити їх туди, де це найбільше необхідно. Це дозволяє не тільки зменшити витрати, а й запобігти накопиченню токсичних речовин у ґрунтах і водних ресурсах, що позитивно впливає на екологічну ситуацію. Завдяки такій оптимізації фермери можуть зменшити витрати на добрива на 15-20%, водночас підвищуючи врожайність на 10-12%.

Розвиток локальних переробних потужностей Це складова частина

ефективного застосування біоенергетичних культур. Однією з головних переваг таких установок є зменшення витрат на транспортування біомаси до масштабних централізованих підприємств. Біомаса, наприклад солома, кукурудзяні стебла або деревна тріска, є об'ємним матеріалом, транспортування якого на великі відстані значно збільшує логістичні витрати. Наявність локальних переробних потужностей дозволяє обробляти біомасу поблизу місця її вирощування, що забезпечує економію коштів і ресурсів. Логістика є одним із найбільших бар'єрів для економічної ефективності цього сектора.

Крім того, локальні переробні потужності сприяють створенню нових робочих місць у сільській місцевості. Малий переробний завод забезпечує зайнятість не тільки на самому підприємстві, але й у суміжних галузях — від збору і транспортування сировини до технічного обслуговування обладнання та збуту готової продукції. Це допомагає підтримувати економічну активність у сільських регіонах, що особливо важливо для депресивних і віддалених від великих центрів територій.

Іншою перевагою є зростання ефективності в процесі виробництва біопалива та біогазу. Локальні заводи можуть швидко перетворювати свіжу біомасу на енергетичні продукти, зберігаючи її якість. Наприклад, свіжа біомаса має високий вміст вологи, що ускладнює її транспортування та зберігання. Швидка переробка на місці дозволяє уникнути втрат якості та зменшити ризики псування сировини.

Наявність регіональних переробних потужностей також сприяє розвитку **місцевих ланцюгів доданої вартості**. Таким чином, прибутки та ресурси залишаються в місцевості, що стимулює розвиток місцевої економіки. Для України, з її великою територією та значними аграрними ресурсами, це надзвичайно важливо. Наприклад, у регіонах, де вирощуються великі обсяги ріпаку чи кукурудзи, можна створювати невеликі заводи з переробки біомаси на біопаливо або біогаз. Це дозволить фермерам не тільки збільшити свої прибутки, але й зробити регіони більш енергетично незалежними.

Використання відходів біоенергетичних культур є поширеною

практикою в сільськогосподарському секторі, яка допомагає знизити витрати на утилізацію і водночас отримати додаткові ресурси. Після збору основної частини врожаю, такі відходи, як солома, стебла та листя, можуть бути перероблені для виробництва пелет або біогазу. Це дозволяє використати максимальний обсяг біомаси для виробництва енергії. Солому часто перетворюють на ти для твердопаливних котлів, або використовують як сировину для біогазових установок, де під дією мікроорганізмів утворюється метан.

Крім того, залишки рослин можуть бути використані для виробництва компосту. Компостування допомагає підтримувати родючість ґрунтів, забезпечуючи їх органічними поживними речовинами. Це знижує потребу у використанні синтетичних добрив, які можуть негативно впливати на екосистеми.

Інша опція — використання залишків як корм для тварин. Деякі відходи, такі як листя або дрібні частини стебел, можуть бути перероблені у корм, що є економічно доцільним для фермерських господарств.

Це допомагає зменшити викиди парникових газів, адже обробка відходів зменшує рівень метану, який є одним з основних факторів глобального потепління. Замість того, щоб залишки рослин просто розкладалися на полі, їх перетворюють на енергетичні продукти або добрива, що значно підвищує ефективність використання біомаси.

1.5. Енергетичні культури

У контексті розвитку біоенергетики, ключову роль відіграють культури, які можуть забезпечити значний обсяг біомаси з мінімальними витратами. Розглянемо кілька основних біоенергетичних культур, які можуть бути успішно вирощувані в Україні.

Міскант (лат. *Miscanthus*) це багаторічна трав'яниста рослина, яка вирізняється своєю високою продуктивністю та здатністю адаптуватися до різних умов. В Україні вона особливо приваблива через можливість вирощування на бідних ґрунтах, що не підходять для вирощування традиційних

сільськогосподарських культур.



Рис. 1.4. Поля міскантусу

Міскантус може давати до 20 тонн сухої біомаси з одного гектара щорічно, що характеризує його як один з провідних ефективних джерел біомаси. Енергетична віддача може складати близько 17 МДж/кг, що забезпечує високу теплотворну здатність, порівняну з деревиною. Рослина відома своєю стійкістю до посухи та низькою потребою в добривах, що зменшує витрати на її вирощування. Міскантус має розвинену кореневу систему, яка сприяє утриманню вологи в ґрунті, а також покращує його структуру, що робить цю культуру корисною для земель, схильних до ерозії.

Недоліки міскантусу:

- Високі початкові витрати на закупівлю посадкового матеріалу.
- Тривалий період до досягнення повної врожайності (3-4 роки).
- Складність у транспортуванні великих обсягів біомаси через її об'єм.

В Україні вже закладено кілька плантацій міскантусу, зокрема на території Львівської області, де ця культура вирощується на площах понад 2 000 гектарів. Її використовують для виробництва біопалива у вигляді пелет та брикетів, що дозволяє заміщувати вугілля і природний газ. Застосування точного землеробства (зокрема, дронів для моніторингу стану ґрунту та рослин) дозволяє збільшити врожайність міскантусу до 20%, оптимізуючи витрати на агрохімікати та воду.

Верба (*Salix spp.*) — це швидкоростуча деревна культура, яка має високу стійкість до умов вологого клімату. Вона особливо перспективна для регіонів

України, де є заболочені або малопродуктивні ґрунти. Верба може забезпечувати високі обсяги біомаси для виробництва деревної тріски, яку використовують у котлах для виробництва тепла або електроенергії.

Врожаї енергетичної верби можуть досягати до 10-12 тонн обсягу сухої біомаси з гектара за один рік. Теплотворна здатність верби приблизно дорівнює 19 МДж/кг, що робить її конкурентоспроможною порівняно з традиційними видами палива. Верба має швидкий цикл росту — від 3 до 5 років для отримання першого врожаю, після чого її можна збирати регулярно кожні 3-4 роки без потреби пересаджування. Ця особливість робить її вигідною для довготривалого використання.



Рис. 1.5. Поля енергетичної верби

Недоліки верби:

- Велика потреба у воді для підтримання високої врожайності.
- Труднощі з транспортуванням біомаси через велику масу і об'єм.

Україні енергетичну вербу вирощують на площах у Волинській і Закарпатській областях. Вона використовується для виробництва біоенергетичної деревної тріски, яка слугує паливом для котлів у місцевих комунальних господарствах.

Тополя (*Populus spp.*) — це деревна культура, що відзначається швидким темпом зростання та високою продуктивністю. Вона часто використовується для лісонасадження на деградованих або непридатних для сільського господарства землях, а також для виробництва біомаси.



Рис. 1.6. плантації енергетичної тополі

Урожайність тополі може становити 10-15 тонн біомаси з гектара, а теплотворна здатність біомаси дорівнює близько 19-20 МДж/кг. Тополя відома своєю здатністю швидко відновлюватися після збору врожаю, що робить її економічно вигідною для тривалого використання на одній ділянці. Тополя, окрім енергетичної функції, має позитивний вплив на екологію. Вона допомагає відновлювати деградовані землі, запобігає ерозії ґрунту та може використовуватися для створення лісозахисних смуг.

Недоліки тополі:

- Потреба у значних площах для вирощування, що може обмежувати її використання у регіонах з інтенсивним сільським господарством.
- Високі витрати на транспортування та зберігання біомаси.

У Житомирській області вирощування тополі на площах понад 500 гектарів дозволило не тільки створити біомасу для енергетичних потреб, але й покращити стан навколишнього середовища, сприяючи стабілізації ґрунтів та збільшенню біорізноманіття.

Ріпак (*Brassica napus*) є однією з найбільш поширених олійних культур в Україні, особливо цінною для виробництва біодизелю. Завдяки високій врожайності та широкій доступності технологій його переробки, ріпак є популярною культурою для агроенергетики.



Рис. 1.7. поле ріпаку

З одного гектара ріпаку можна отримати близько 1,2 тонни олії, з якої виробляють до 1 000 літрів біодизелю. Окрім того, біомаса ріпакової соломи має теплотворну здатність близько 16-18 МДж/кг, що дозволяє використовувати її як паливо для твердопаливних котлів. Ріпак потребує регулярного застосування добрив та захисту від шкідників, проте сучасні методи точного землеробства дозволяють оптимізувати ці процеси. Зокрема, технологія диференційованого внесення добрив сприяє покращенню рівня врожайності на 10-15% і знижує витрати на агрохімію на 20%.

Недоліки ріпаку:

- Високі вимоги до ґрунтів і догляду, що підвищує собівартість виробництва.
- Потреба у значних ресурсах для захисту від шкідників та хвороб.
- Обмежений період вирощування — культура виснажує ґрунти, що потребує ротації з іншими рослинами.

У Вінницькій та Тернопільській областях вже впроваджено кілька великих проектів з виробництва біодизелю з ріпаку. Використання ріпакової соломи як палива дозволило знизити витрати на енергопостачання на 25% у місцевих підприємствах.

Сорго (*Sorghum spp.*) є однією з перспективних культур для виробництва біопалива, особливо в регіонах з посушливими кліматичними умовами. Ця культура вирізняється своєю посухостійкістю та здатністю рости на малопродуктивних ґрунтах, що робить її привабливою для південних областей України.



Рис. 1.8. поля сарго

Сорго може давати врожаї біомаси до 12-14 тонн з гектара. Теплотворна здатність сорго складає близько 16 МДж/кг, що трохи нижче порівняно з іншими культурами, але його перевагою є висока стійкість до посухи. Сорго є стійким до несприятливих кліматичних умов, зокрема до посух, що робить його незамінною культурою в степових регіонах України, таких як Одеська та Херсонська області.

У південних регіонах України сорго використовується для виробництва біогазу на місцевих біогазових установках. Завдяки низьким витратам на вирощування та високу продуктивність, культура активно впроваджується в аграрному секторі.

Недоліки сорго:

- Нижча врожайність у порівнянні з іншими біоенергетичними культурами.
- Обмежені можливості для використання у традиційних сільськогосподарських системах.
- Складність у переробці через високий вміст волокон у стеблах.

Цукровий буряк (*Beta vulgaris*) традиційно вирощується в Україні для виробництва цукру, але його також використовують для отримання біоетанолу. Ця культура має високу врожайність та розвинену інфраструктуру для переробки, що робить її перспективною для енергетичних цілей.



Рис. 1.9. поле буряка

Біоетанол з цукрового буряка є одним із найбільш ефективних біопалив. З одного гектара можна отримати до 7 000 літрів етанолу, що є економічно вигідним варіантом для виробництва палива.

Недоліки цукрового буряка:

- Потреба у великих площах для вирощування.
- Високі вимоги до якості ґрунтів та зрошення.
- Складність переробки через високий вміст цукру та потребу в спеціалізованому обладнанні.

Виробництво біоетанолу з цукрового буряка широко впроваджується на заводах Полтавської та Вінницької областей, де буряк служить основною сировиною для отримання біопалива.

Соняшник (*Helianthus annuus*) є однією з найбільш поширених олійних культур в Україні. Окрім основного призначення — виробництва олії, соняшник має значний потенціал для виробництва біодизелю та біогазу, оскільки відходи цієї культури (лушпиння, макуха) можуть бути використані для енергетичних потреб.



Рис. 1.10. поле соняшника

Лушпиння соняшника має теплотворну здатність близько 18 МДж/кг, а врожайність лушпиння може досягати 1,2-1,5 тонни на гектар, що робить його цінною сировиною для біоенергетики.

Недоліки соняшника:

- Високі вимоги до родючості ґрунтів.
- Потреба у значних ресурсах для догляду та захисту від шкідників.
- Соняшник виснажує ґрунти, що потребує регулярної ротації з іншими культурами.

Багато підприємств у центральних та південних областях України вже впровадили технології спалювання соняшникового лушпиння для виробництва теплової енергії. Один з таких прикладів — завод у Кіровоградській області, який використовує лушпиння для обігріву своїх виробничих потужностей. У Полтавській та Харківській областях діють підприємства, що спеціалізуються на виробництві біопалива з соняшникового лушпиння.

Одне з таких підприємств виробляє до 10 000 тонн пелет на рік, що дозволяє заміщати близько 8 млн м³ природного газу. Для максимального використання енергетичного потенціалу соняшника слід акцентувати увагу на переробці відходів та впровадженні нових технологій для виробництва біодизелю.

Кукурудза (*Zea mays*) — одна з найпопулярніших культур у світі для виробництва біогазу. В Україні вона має великий потенціал через високу врожайність та розвинені технології вирощування. Кукурудза використовується для отримання біомаси, яка підходить для анаеробного розщеплення з подальшим виробництвом біогазу.



Рис. 1.11. поле кукурудзи

Переваги кукурудзи:

Урожайність біомаси кукурудзи (стебла, листя, качани) може становити до 15 тонн на гектар. Теплотворна здатність біомаси складає приблизно 17 МДж/кг, що робить її перспективним джерелом для виробництва біогазу. З одного гектара кукурудзи можна отримати до 5 000 м³ біогазу, що еквівалентно 2 000 літрам дизельного палива. Кукурудза добре адаптована до умов центральної та південної частини України.

У поєднанні з системами зрошення, кукурудза показує стабільно високі врожаї навіть в умовах посухи, що особливо важливо для південних областей, таких як Одеська та Миколаївська.

Недоліки кукурудзи:

- Високі вимоги до родючості ґрунтів та значні витрати на добрива.
- Потреба в регулярному зрошенні для досягнення високої врожайності.
- Конкуренція з іншими культурами за ресурси та площі.

Біогазові установки, які використовують відходи кукурудзи, працюють у Черкаській та Вінницькій областях. Одна з найбільших таких установок на Вінниччині переробляє до 60 000 тонн кукурудзяних стебел щороку, виробляючи енергію до 25 млн кВт·год.

Конопля (*Cannabis sativa*) культура, яка історично використовувалася для текстильної промисловості, однак її біомаса також має значний потенціал для

використання в біоенергетиці. Конопля є швидкоростучою рослиною, яка вирощується на різних типах ґрунтів і має велику біомасу для переробки.



Рис. 1.12. поле коноплі

Урожайність біомаси коноплі може досягати 10-12 тонн з гектара, що робить її привабливою для біоенергетичних проектів. Теплотворна здатність біомаси коноплі складає близько 17 МДж/кг. Також конопля має високу вміст целюлози, що робить її перспективною для виробництва біоетанолу та біодизелю. Конопля відзначається високою стійкістю до шкідників та хвороб, що зменшує потребу у пестицидах. Крім того, ця культура має низькі вимоги до ґрунту і може вирощуватися навіть на малородючих землях. У дослідженнях виявлено, що конопля здатна покращувати структуру ґрунту, що позитивно впливає на наступні цикли вирощування інших культур.

Недоліки коноплі:

- Обмеження у вирощуванні через законодавчі норми щодо змісту тетрагідроканабінолу (ТГК).
- Недостатньо розвинені технології для переробки біомаси коноплі в великих об'ємах.

У західних регіонах України (Івано-Франківська та Львівська області) вже вирощуються експериментальні поля коноплі, де її використовують для виробництва біоетанолу. Завдяки низьким витратам на вирощування, конопля демонструє перспективи як економічно вигідна культура.

Вторинні сільськогосподарські відходи

Вторинні сільськогосподарські відходи є надзвичайно перспективним

джерелом біоенергії в Україні, враховуючи масштаб аграрного сектора країни. Ці відходи включають солому, стебла, лушпиння, залишки від збору врожаю, які можуть бути ефективно перероблені на біопаливо, біогаз або тверді енергетичні продукти.

Щороку утворюється велика кількість сільськогосподарських відходів, більшість з яких досі залишається невикористаними або піддаються спалюванню на полях, що негативно впливає на екологію. За даними наукових досліджень, загальний обсяг таких відходів складає близько 50 млн тонн на рік, з яких до 20 млн тонн мають достатній потенціал для використання в біоенергетиці [5].

Таб. 1.2. Параметри для оцінки можливості отримання біогазу з післяжнивних залишків.

Категорії післяжнивних відходів	Теоретичний вихід післяжнивних решток на одиницю маси, т/т	Прийнятий відсоток для виробництва біогазу від теоретичного виходу %	Питомий вихід CH_4 , $\text{нм}^3\text{CH}_4/\text{т}$
Пшенична солома	1	20	230
Житня солома	1	20	230
Ячмінна солома	0.8	20	230
Стебла кукурудзи	1.3	30	140
Стебла соняшника	1.9	27	53
Соева солома	1	30	191
Ріпакова солома	2	30	135
Бадилля ц. буряка	0.46	90	38

Важливим ресурсом для виробництва біопалива є пшенична солома, ячмінь та жито інших зернових культур. За оцінками експертів, щорічно в Україні утворюється понад 15 млн тонн соломи. Солома має теплотворну здатність близько 14-15 МДж/кг, що робить її ефективним замінником вугілля та інших традиційних видів палива. Для порівняння, вугілля має теплотворну здатність близько 24 МДж/кг, але значно перевищує біомасу за шкідливістю викидів.

Відходи кукурудзи, такі як стебла, качани та листя, також є цінною сировиною для біоенергетики. Стебла кукурудзи мають теплотворну здатність

до 16-17 МДж/кг, що дозволяє використовувати їх отримання біогазу, або твердих паливних брикетів. Урожайність стебел може досягати 8-10 тонн на гектар, що забезпечує значні обсяги біомаси після збору врожаю.

Україна є одним із світових лідерів у виробництві соняшникової олії, що утворює величезні обсяги лушпиння як побічного продукту. Лушпиння соняшника має теплотворну здатність до 18 МДж/кг і використовується для виробництва пелет, які можуть спалюватися в промислових та побутових котлах. Щорічно в Україні утворюється до 1,5 млн тонн лушпиння соняшника, яке може замінити природний газ на багатьох підприємствах.

Також варто враховувати інші сільськогосподарські відходи, такі як стебла соняшника, залишки буряків після виробництва цукру (жом), які можуть використовуватися для отримання біогазу [5].

Таб. 1.3. Визначені параметри для розрахунку потенціалу біогазу з побічних продуктів харчової промисловості та виробництва напоїв

Тип побічного продукту	Базисна одиниця для оцінки виходу побічного продукту	Питомий вихід побічного продукту на базисну одиницю	Питомий вихід CH ₄ з побічного продукту	Прийнята частка використання на виробництво біогазу
		т СОР	CH ₄ , нм ³ CH ₄ /т СОР	% до теоретичного виходу
Жом	1 т перероблених цукрових	0.0627	450	75
Меляса		0.0318	315	25
Барда	1 т спирту	0.960	360	75
Дробина пивна	1000 л пива	0.0444	330	50
Лушпиння	1 т сирі соняшникової олії	0.3290	125	25
Макуха (жмих)		0.6683	200	25
Фуз олійний		0.0078	900	75
Соапсток		0.0535	700	75
Сироватка	1 т виробленого сиру	0.2148	440	75

СОР – суха органічна речовина

Тернопільська область. Один із прикладів успішного впровадження біоенергетичних проектів — використання соломи для виробництва енергії місцевих котельнях. Одна з таких котелень переробляє близько 10 000 тонн соломи щороку, виробляючи 5 ГВт·год теплової енергії, що дозволяє обігрівати місцеві комунальні об'єкти, зменшуючи залежність від природного газу. У Хмельницькій області діє біоенергетична установка, що переробляє до 20 000 тонн соломи для енергії. Місцеві громади мають змогу використовувати відновлювані джерела енергії для опалення шкіл, лікарень та адміністративних

будівель. У Вінницькій області діють кілька біогазових установок, що використовують відходи кукурудзи для виробництва біогазу. Одна з найбільших установок переробляє до 50 000 тонн відходів кукурудзи щороку, що забезпечує виробництво понад 20 млн кВт·год електроенергії.

1.6. Міжнародний досвід вирощування біоенергетичних культур та його адаптація до українських умов

Бразилія вже давно є світовим лідером у виробництві біоетанолу, особливо завдяки вирощуванню цукрової тростини. Бразильська модель виробництва біоетанолу належить до найбільш дієвих у світі. Кліматичні умови країни сприяють отриманню високої врожайності тростини та стабільному виробництву етанолу. Виробництво біоетанолу у Бразилії дозволило країні значно зменшити залежність від викопних палив, замінивши їх екологічним пальним.

Україна не може вирощувати цукрову тростину через кліматичні обмеження, але може використовувати досвід Бразилії для адаптації виробництва біоетанолу з місцевих культур. Наприклад, цукровий буряк є перспективною сировиною для виробництва біоетанолу в українських умовах. Бразильські технології переробки та збирання тростини можуть бути адаптовані для місцевих умов і використані для підвищення ефективності українських заводів з виробництва біоетанолу.

США є одним із провідних виробників біоетанолу у світі, використовуючи кукурудзу як основну сировину для його виробництва. Завдяки інвестиціям у дослідження та впровадження передових технологій, американські фермери досягли значних успіхів у вирощуванні високоврожайних сортів кукурудзи. Програми фінансової підтримки, що впроваджуються державою, стимулювали розвиток цієї галузі, що дало змогу забезпечити внутрішні потреби в енергії та знизити залежність від імпорту палива.

Україна також має великі площі під вирощування кукурудзи, що дозволяє застосувати американський досвід на своїй території. Запозичення технологій переробки кукурудзи на біоетанол, а також впровадження селекції

високоврожайних сортів, може сприяти підвищенню ефективності та рентабельності українського сільського господарства. Крім того, сучасні технології дозволять знизити витрати на виробництво і збільшити врожайність, що допоможе зробити біоетанол конкурентоспроможним джерелом енергії в межах українського ринку.

Німеччина відома своїм використанням різноманітних біоенергетичних культур, таких як ріпак і кукурудза, для виробництва біодизелю. Крім того, країна активно впроваджує сучасні технології когенерації, що дозволяють одночасно виробляти тепло та електроенергію. Це значно підвищує ефективність використання біомаси. Німеччина також розробила національну інфраструктуру для переробки біомаси, включаючи біогазові установки, заводи з переробки ріпаку на біодизель, та інші об'єкти.

Для України німецька модель є особливо цінною через схожі кліматичні умови та можливості вирощування ріпаку і кукурудзи. Запозичення досвіду у впровадженні когенераційних технологій може допомогти підвищити ефективність використання енергетичних культур. Крім того, розвиток державних програм підтримки, як у Німеччині, може сприяти залученню інвестицій і стимулюванню розвитку біоенергетичного сектору в Україні. Запровадження таких програм як субсидії на побудову біогазових установок та заводів із виробництва біодизелю допоможе зробити сектор привабливим для фермерів та підприємців.

1.7. Енергетичний потенціал біомаси в Україні

Біоенергетичні культури стають важливим елементом переходу України до ВДЕ, сприяючи створенню нових можливостей для досягнення енергетичної незалежності. З огляду на сучасні світові виклики, зокрема зміни клімату, зростання енергетичних потреб і скорочення запасів викопного палива, роль біоенергетики стає дедалі важливішою. Біоенергетичні культури дають змогу не тільки виробляти енергію, але й використовувати ресурси більш ефективно, зокрема земельні угіддя, непридатні для харчового сільського господарства.

Україна має всі необхідні умови для активного розвитку біоенергетичного сектору. Сприятливі агрокліматичні характеристики та значні площі сільськогосподарських угідь дозволяють вирощувати різноманітні біоенергетичні культури для забезпечення країни альтернативними джерелами енергії. Розвиток цього напрямку відіграє ключову роль у зменшенні залежності від імпорту нафти та газу, що є важливим фактором енергетичної безпеки країни. Окрім цього, біоенергетичні культури можна вирощувати на деградованих або малопродуктивних ґрунтах, що допомагає уникнути конкуренції з традиційним сільським господарством.

Біоенергетика також створює нові робочі місця, особливо в сільських районах, що сприяє соціально-економічному розвитку регіонів. Додатковою перевагою є зменшення викидів парникових газів, оскільки біопаливо виготовляється з відновлюваної сировини. Це допомагає Україні виконувати міжнародні зобов'язання у межах Паризької угоди.

Станом на 2018 рік енергетичний потенціал біомаси в Україні перевищує 23 млн т н.е. Основними його складовими є залишки сільського господарства (44% загального обсягу) та енергетичні культури (32%) (див. Табл. 1.4, Рис. 1.13). Серед сільськогосподарських залишків найбільшу частку займає солома зернових культур (33%) та побічна продукція кукурудзи на зерно (35%) [6].

Таб. 1.4. Енергетичний потенціал біомаси в Україні (2018 р.).

Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн т	Потенціал, доступний для енергетики (економічний)	
		Частка теор. потенціалу, %	млн т н.е
Солома зернових культур	32,8	30	3,36
Солома ріпаку	4,9	40	0,68
Побічні продукти виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	46,5	40	3,56
Побічні продукти виробництва соняшника (стебла, корзинки)	26,9	40	1,54
Вторинні сільськогосподарські залишки (лушпиння соняшника)	2,4	100	1,00
Деревна біомаса (паливна деревина, порубкові залишки, відходи деревообробки)	8,8	96	2,06
Деревна біомаса (сухостій, деревина із захисних лісосмуг, відходи ОВБСН)	8,8	45	1,02
Біодизель (з ріпаку)	-	-	0,39
Біоетанол (з кукурудзи і цукрового буряку)	-	-	0,82
Біогаз з відходів та побічної продукції АПК	2,8 млрд м ³ СН ₄	42	0,99
Біогаз з ТПВ	0,6 млрд м ³ СН ₄	29	0,14
Біогаз зі стічних вод (промислових та комунальних)	0,4 млрд м ³ СН ₄	28	0,09
Енергетичні рослини:			
- верба, тополя, міскантус*;	11,5	100	4,88
- кукурудза (на біогаз)*.	3,0 млрд м ³ СН ₄	100	2,57
Всього	-	-	23,10

* За умови вирощування на 1 млн га незадіяних сільськогосподарських земель.

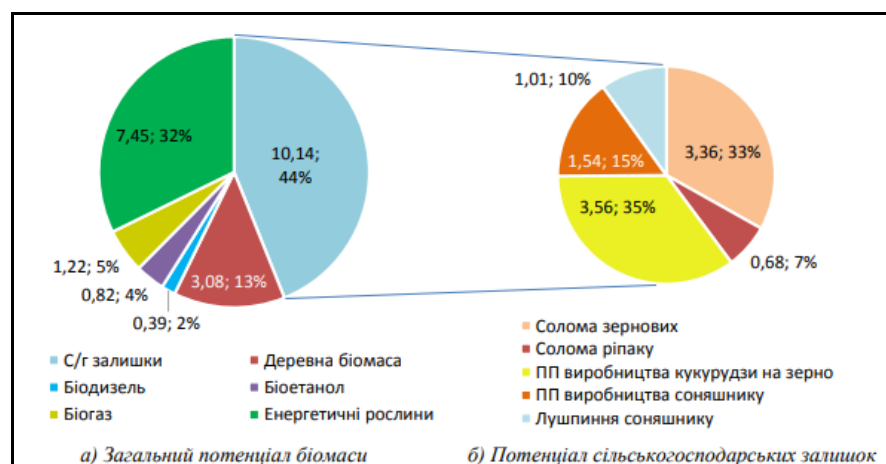


Рис. 1.13. Структура потенціалу біомаси в Україні (2018 р.), млн т н.е.

Застосування біоенергетичних ресурсів не є альтернативним, а обов'язковим елементом для досягнення енергетичної стратегії. Оскільки біоенергетика зменшує потребу у викопних видах палива, вона сприяє досягненню енергетичної незалежності й забезпечує безперервне енергопостачання в умовах нестабільного міжнародного ринку.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для оцінки потенціалу біопалива доцільно проаналізувати його теплотворну здатність та порівняти її з викопними видами палива.

Теплотворна здатність визначає кількість тепла, яке виділяється під час згоряння певного виду палива і є одним із ключових показників його ефективності.

Щоб оцінити енергетичний потенціал біопалива, слід враховувати поняття теплотворної здатності та відмінності між її типами. Теплотворна здатність характеризує кількість енергії, що виділяється під час повного згоряння одиниці палива. Визначають два основні показники, нижчу теплоту згорання, яка враховує втрати через водяну пару в продуктах згорання, та вищу теплоту, що включає енергію після конденсації цієї пари.

Вища теплотворна здатність враховується, коли водяна пара, яка утворилася під час згоряння, конденсується й віддає тепло, витрачене на її випаровування. У цьому процесі задіяна конденсація — перехід пари у рідкий стан через охолодження або стиснення, який супроводжується виділенням енергії. Подібний процес можна спостерігати в природі: наприклад, улітку ввечері, коли повітря охолоджується, водяна пара конденсується в росу, утворюючи дрібні крапельки води на поверхнях трави та листя.

Нижча теплота згорання має місце, коли водяні пари, що утворюються при згоранні палива, а також волога самого палива залишаються в пароподібному стані. Це означає, що теплота, що виділяється при конденсації водяної пари, не враховується, і тому така теплотворна здатність завжди буде меншою за вищу.

Якщо коефіцієнт корисної дії (ККД) котла перевищує 100%, це свідчить про те, що при розрахунках не враховано теплоту конденсації, а використовувалася нижча теплотворна здатність. Раніше, через негативний вплив процесу конденсації на старі сталеві або чавунні котли, це тепло не враховували. Однак із впровадженням сучасних конденсаційних котлів,

можливість врахування тепла конденсації дозволила підвищити ККД понад 100% [7].

Для визначення теплотворної здатності біопалива використовується спеціалізований пристрій — калориметрична бомба (дивитися Рис 2.1.). Це лабораторне обладнання дозволяє точно визначити кількість тепла, що вивільняється під час повного згоряння проби палива в умовах ізолюваного середовища, що забезпечує мінімальні теплові втрати.



Рис. 2.1. Автоматичний бомбовий калориметр SDAC6000

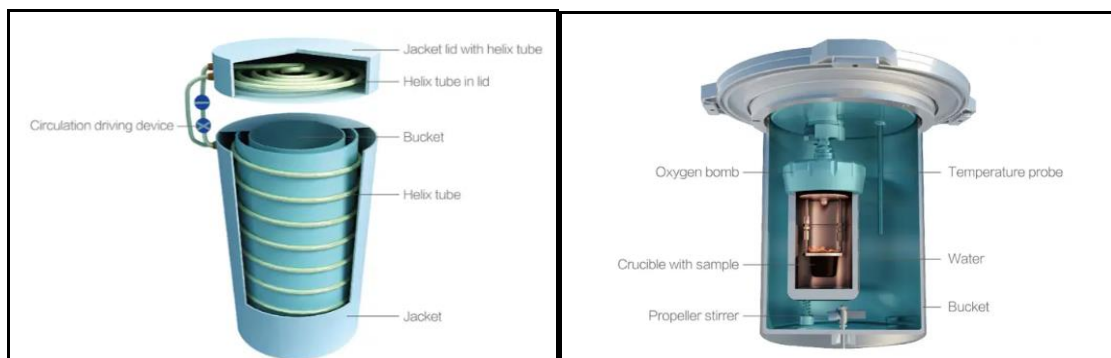


Рис 2.2. Діаграма багатоточкової ізометричної технології із застосуванням спіральної трубки та поперечний переріз калориметра

Основні складові калориметричної бомби (див. Рис 2.2) включають камеру для згоряння проби, виготовлену із спеціальних матеріалів, здатних витримувати високі температури та тиск. Камера заповнюється чистим киснем під тиском, забезпечуючи ідеальні умови для повного згоряння проби. Бомба занурюється у калориметричний резервуар, наповнений водою, яка слугує теплоносієм. Для точного вимірювання змін температури використовується високоточний термометр або термопара.

Процес дослідження розпочинається з підготовки проби палива, яке ретельно висушується для усунення зайвої вологи, що може вплинути на результати. Пробу зважують з високою точністю і розміщують у камері згоряння калориметричної бомби. Камеру закривають герметично і заповнюють киснем. Після цього бомбу занурюють у водяний резервуар калориметра, що забезпечує повну передачу тепла, яке виділяється під час згоряння проби, до води.

Згоряння ініціюють за допомогою електричного розряду, що забезпечує швидке й повне згоряння проби. У процесі згоряння вода в резервуарі нагрівається, і фіксуються початкова і кінцева температури води. Різниця цих значень дозволяє розрахувати кількість тепла, виділеного під час згоряння, а відтак і теплотворну здатність палива.

При порівнянні різних видів палива нижча теплотворна здатність часто використовується як основний показник, оскільки вона відображає фактичну кількість енергії, яка може бути отримана без додаткових умов.

На основі результатів, отриманих за методикою визначення теплотворної здатності, можна зробити порівняння між різними видами біопалива (наприклад, пелети, деревні брикети аграрних відходів) і традиційними паливними матеріалами, такими як вугілля або мазут. У багатьох випадках біопаливо має теплотворну здатність, що може конкурувати з викопним паливом. Наприклад, дубові пелети мають теплотворну здатність до 5400 ккал/кг, що наближається до показників кам'яного вугілля (5000–6000 ккал/кг). Основними перевагами біопалива є його відновлюваність, нижчий рівень шкідливих викидів та значно менша зольність у порівнянні з викопним паливом.

Теплотворна здатність різних видів біопалива та викопного палива представлена в наступній таблиці 2.1. Питома теплота згоряння кожного типу палива залежить від його горючих компонентів (вуглецю, водню, летючої горючої сірки), вмісту води та зольності [8].

Таб 2.1. Теплотворна здатність та зольність різних типів палива

Вид палива	Теплотворна здатність (ккал/кг)	Зольність (%)	Енергетичний вихід (МДж/кг)	Вартість (грн)
Кам'яне вугілля	5000-6000	15-40	20,92-25,10	12000 за т
Дрова (в залежності від породи)	1500-2500	до 20	6,28-10,46	1500 за м ³
Пелети соснові	4300-5000	до 0,7	18,01-20,92	6500 за т
Пелети дубові	4500-5400	до 0,7	18,84-22,60	7000 - 10000 за т
Пелети з лузги соняшника	4500-5100	2-4	18,84-21,36	7000 за т
Торф'яні брикети	3500-4000	до 17	14,65-16,74	6000-8000 за т

Дані можуть варіюватися залежно від джерела, умов виробництва та обробки.

Виходячи з аналізу теплотворної здатності та зольності різних видів палива, можна зробити кілька важливих висновків. Кам'яне вугілля демонструє одну з найвищих теплотворних здатностей, що робить його ефективним джерелом енергії. Однак висока зольність створює суттєві екологічні проблеми через утилізацію відходів та викиди шкідливих речовин у атмосферу.

Дрова, з теплотворною здатністю і низькою зольністю, залишаються традиційним і доступним паливом, хоча вони значно поступаються за енергетичною ефективністю іншим видам. Водночас, пелети з сосни та дуба вирізняються високою теплотворною здатністю та низькою зольністю, що робить їх оптимальним вибором для побутового опалення і промислового використання, особливо з огляду на їхню екологічність.

Пелети з лузги соняшника мають схожу теплотворну здатність, але характеризуються підвищеною зольністю, що слід враховувати під час їхнього використання. Агропелети, хоча й мають нижчу теплотворну здатність, залишаються доступним і економічно вигідним паливом для певних галузей. Торф'яні брикети також є привабливим варіантом, особливо у регіонах із наявними запасами торфу. Їхня відносно низька теплотворна здатність компенсується доступністю та стабільністю постачання.

РОЗДІЛ 3.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГІЇ З БІОМАСИ

3.1. Виробництва або технології отримання енергії з біомаси.

Енергія з біомаси отримується шляхом перетворення органічних матеріалів в тепло, електрику або рідке біопаливо. Біомаса, як джерело енергії, може включати рослинні залишки, деревину, сільськогосподарські відходи, та інші біологічні матеріали. Загалом, технології отримання енергії з біомаси можна розділити на три основні групи:

1. **Термічні процеси:** включають спалювання, піроліз та газифікацію.
2. **Біохімічні процеси:** ферментація та анаеробне бродіння.
3. **Механічні процеси:** пресування для отримання біопалива (пелети, брикети).

Біомасу можна застосовувати для енергетичних потреб через пряме спалювання (деревини, соломи, стічних відходів) або у вигляді перероблених рідких (ефіри ріпакової олії, спирти, рідкі продукти піролізу) чи газоподібних біопалив (біогаз з аграрних відходів, осаду стічних вод, твердих побутових відходів, продукти газифікації твердих палив) (Рис. 3.1). Перетворення біомаси на інші енергоносії або кінцеву енергію (тепло чи електричну) може здійснюватися за допомогою фізичних, хімічних чи біохімічних процесів [9].



Рис. 3.1. Методи виробництва енергії з біомаси.

Щорічно в Україні для виробництва енергії використовується близько 2 млн т умовного палива різних видів біомаси. Найбільшу частку з цього обсягу складає деревина, що становить 80% від економічно доцільного потенціалу. Інші види біомаси, за винятком лушпиння соняшника, використовуються набагато менше. Наприклад, енергетичний потенціал соломи зернових культур та ріпаку використовується лише на рівні 1% [10].

Енергетична характеристика сільськогосподарських культур представлена в таблиці (3.1) [11].

Таб. 3.1. Зіставлення енергетичних характеристик традиційних і нових сільськогосподарських культур та енергетичних рослин.

Культури	Вихід біомаси, т/га	Вид біопалива	Тепловіддача біопалива, МДж/кг	Паливний еквівалент	Вихід біопалива з 1 т біомаси, кг	Вихід біопалива з 1 га (кг/га)	Вихід умовного палива, у. п./га	Вихід енергії, ГДж/га	Вихід енергії, ГВт.год/га
Традиційні культури									
Картопля	25	Біоетанол	21,1	0,65	120	3000	1950	65,1	18,08
Пшениця / зерно	4	Біоетанол	21,1	0,65	260	1040	676	21,9	15,25
Солома пшениці	4	Гранули	15	0,55	1000	4000	2200	33	
Ріпак / насіння	3	Біодизель	33,1	0,91	401,5	1204,4	1096,1	39,9	19,08
Солома ріпаку	3	Гранули	16	0,6	1000	3000	1800	28,8	
Цукрові буряки	45	Біоетанол	21,1	0,65	100	4500	2925	95	71,11
Гичка цукрових буряків	35	Біогаз 60 %	21,8	0,6	200	7000	4200	161	
Кукурудза / зерно	6	Біоетанол	21,1	0,65	240,4	1442,2	937,6	30,4	72,33
Зелена маса	50	Біогаз 60 %	21,8	0,6	200	10000	6000	230	
Нові е-культури									
Цукрове сорго / зерно	50	Біоетанол	21,1	0,65	100	5000	3250	105,5	93,19
(зелена маса)	50	Біогаз 60 %	21,8	0,6	200	10000	6000	230	
Цукрове сорго (суха маса)	25	Гранули	17	0,6	1000	25000	15000	425	118,06
Міскантус (суха маса)	20	Гранули	17	0,6	1000	20000	12000	320	88,89
Світчграс (суха маса)	15	Гранули	17	0,6	1000	15000	9000	255	70,83

Процеси механічні використовуються для стиснення біомаси з метою отримання щільного, енергетично насиченого палива, яке можна використовувати для опалення або виробництва енергії. Правильна механічна обробка значно підвищує енергетичну щільність палива, полегшує його транспортування, зберігання та використання у промислових та побутових котлах. Зокрема, пресування та гранулювання дозволяють перетворювати сипучу біомасу на компактні пелети та брикети, які мають високу теплотворну здатність і горять з меншою кількістю відходів та шкідливих викидів.



Рис. 3.2. Гранули та брикети

Технологія виробництва паливних гранул, як і паливних брикетів, базується на процесі пресування подрібнених відходів деревини, соломи, лузги та інших матеріалів (Рис. 3.3.).

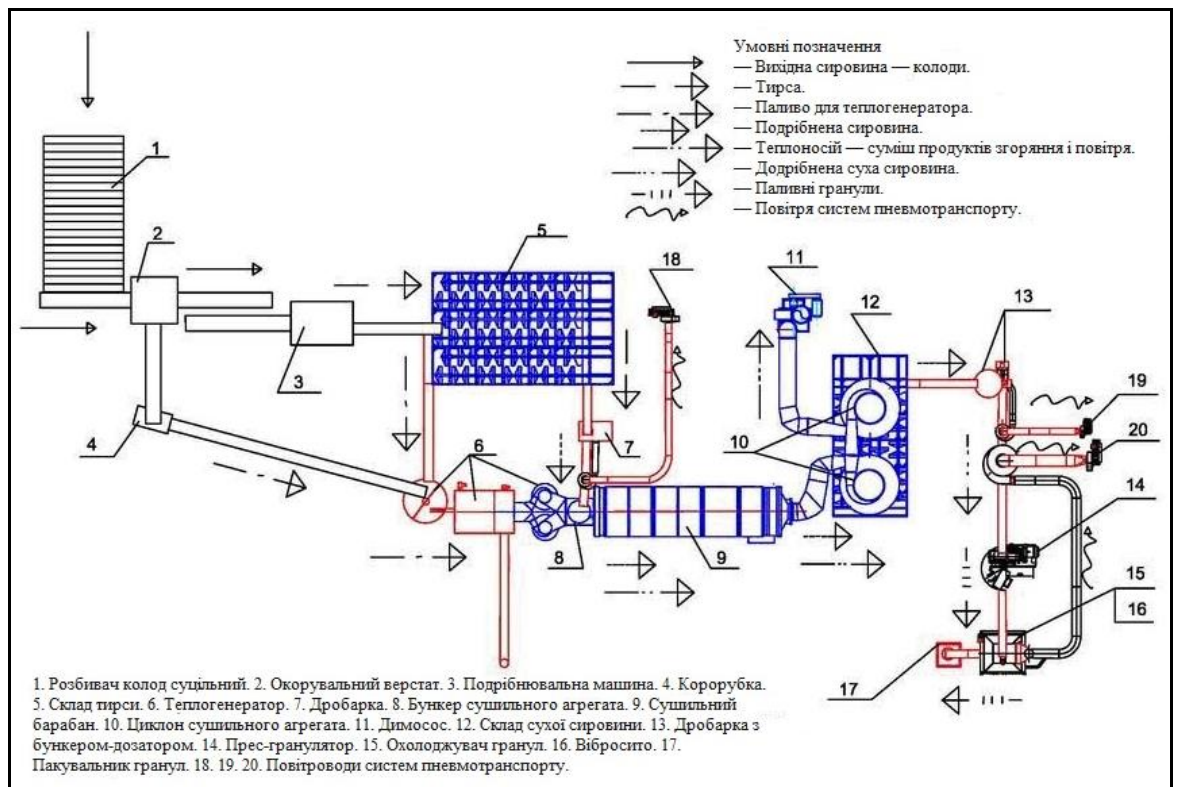


Рис. 3.3. схема технологічної лінії виробництва гранул

Сировина, така як тирса або солома, надходить до дробарки, де її подрібнюють до стану дрібного порошку. Ця маса потім направляєється в сушарку, після чого передається в прес-гранулятор. Під час пресування лігнін, який є в деревині, розм'якшується завдяки високій температурі, з'єднуючи частинки у щільні циліндричні гранули. Для виготовлення однієї тонни гранул потрібно 3–5 кубометрів деревних відходів з природною вологістю.

Далі їх охолоджують, після чого гранули пакують у великі біг-беги (по кілька тонн) або в дрібну упаковку, вагою від кількох до десятків кілограмів. Залежно від призначення, гранули поділяються на промислові, які транспортують насипом або в великих біг-бегах, та споживчі, розфасовані у дрібну упаковку для приватних осіб і малих промислових споживачів.

Технологія виробництва паливних брикетів ґрунтується на процесі пресування агро-відходів (наприклад, лушпиння соняшнику, гречки тощо) та дрібно подрібнених деревних відходів (тирса) під високим тиском, а в деяких випадках – при температурі від 250 до 350°C.

Отримані брикети не містять жодних зв'язувальних речовин, окрім природного лігніну, що є складовою частиною клітин рослинних відходів. У випадку використання агросировини можливе додавання додаткових зв'язувальних компонентів. Температура пресування сприяє плавленню поверхні брикетів, що робить їх більш міцними і зручними для транспортування.

Сировиною для виготовлення брикетів можуть бути тирса різних порід деревини, тріска, лушпиння соняшнику, гречки, солома та інші рослинні відходи. Технологічний процес виготовлення брикетів схожий на гранулювання, але є більш простим. Брикети можуть мати різні форми, наприклад, цеглиноподібну, циліндричну або шестикутну з отвором всередині. Стандартизація розмірів для цієї продукції не передбачена.

Основним фактором, що впливає на механічну міцність, водостійкість і калорійність брикету, є його щільність. Чим вища щільність, тим кращі показники якості брикетів. При щільності 650–750 кг/м³ калорійність брикетів становить 12–14 МДж/кг, а при щільності 1200–1300 кг/м³ — 25–31 МДж/кг. Якість брикетів також залежить від вологості вихідної суміші, при цьому існують оптимальна та критична вологості. Оптимальна вологість становить 4–10%, при якій брикети мають найкращі механічні характеристики (для деяких видів сировини верхня межа вологості може бути 6–8%).

Критична вологість (10–15%) призводить до утворення брикетів з тріщинами, що робить їх непридатними для комерційного використання. Вища вологість призводить до руйнування брикетів через внутрішній тиск вологи при стисненні маси [12].

Для виготовлення брикетів використовують поршневі та шнекові преси, а сировиною є тирса і стружка (рис. 3.4.). Перед пресуванням матеріал додатково подрібнюють і підсушують, при цьому вологість не повинна перевищувати 12–14%.

Поршневий прес функціонує циклічно — під час кожного ходу поршня певна кількість матеріалу проходить через конічне сопло, на брикетах залишаються видимі шари, що відповідають кожному циклу. У системі

приводу завжди є маховик, який допомагає рівномірно розподіляти навантаження на двигун. Знос поршня мінімальний, оскільки між матеріалом і поршнем відбувається мало рухів, тоді як сопло швидко зношується. Поршневі преси є відносно дешевими, тому вони отримали широку популярність.

Шнековий прес легший за поршневий, оскільки в ньому відсутні великі поршні та маховики. Продукція виробляється безперервно, що дозволяє розрізати її на необхідні частини. Щільність матеріалу в таких пресах вища. Шнекові преси працюють тихіше завдяки відсутності ударних навантажень. Однак до недоліків відносяться більший енергоспоживання та швидкий знос шнека.

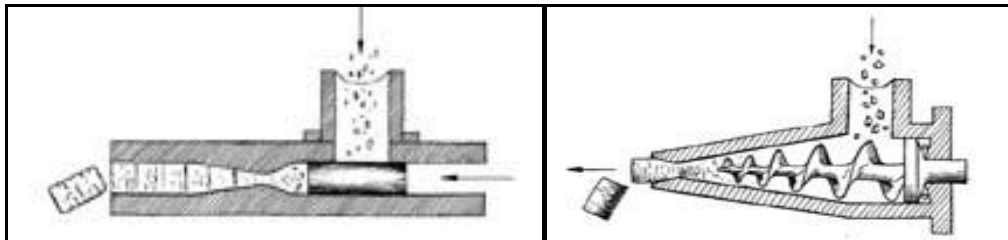


Рис. 3.4. поршневий і шнековий прес

Термічні процеси отримання енергії

Спалювання біомаси — це найпоширеніший спосіб отримання енергії. Цей процес базується на повному окисленні органічних матеріалів, що призводить до виділення теплової енергії. Спалювання біомаси, як правило, використовується в ТЕС для отримання тепла або електроенергії. Для спалювання біомаси в Україні використовуються різні типи обладнання, зокрема котли і печі.(рис 3.5) Основні види біомаси для спалювання включають деревину, соломку, тріску та інші рослинні матеріали.

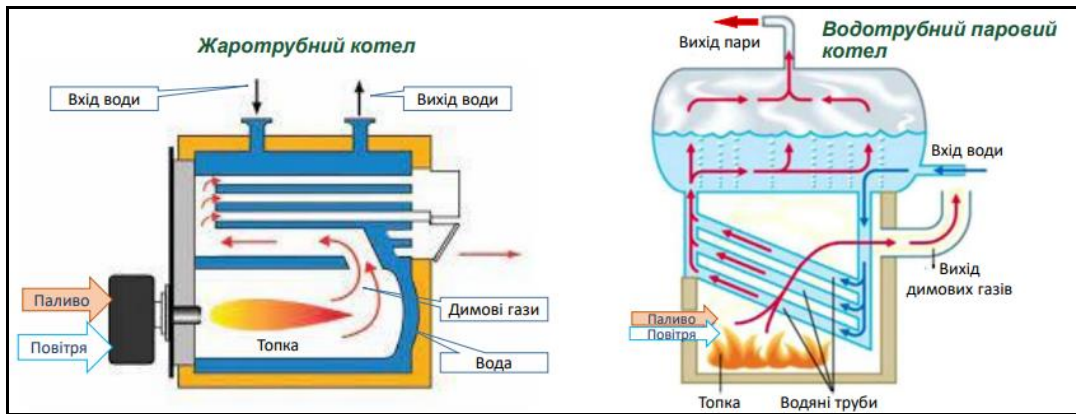


Рис 3.5 Основні види котлів.

- ❖ Жаротрубний котел — це монолітна компактна конструкція з відносно малими габаритами.
 - ❖ Легкий доступ до топки та жарових труб для очищення і заміни турбулізаторів.
 - ❖ Має низький гідравлічний опір, що дозволяє уникнути потреби у потужних циркуляційних насосах.
 - ❖ Аеродинамічний опір вищий, ніж у водотрубних котлів.
 - ❖ Вимагає високої якості котлової води (якісніша водопідготовка), порівняно з водотрубними котлами.
 - ❖ Дуже низька швидкість теплоносія у жаротрубних котлах призводить до пристінного кипіння та утворення відкладень, які діють як теплоізоляція, значно ускладнюючи передачу тепла від металу до води, що створює локальні перегриви [13].
- Існують різні підходи до спалювання біомаси, які враховують її фізичні властивості та бажаний результат. Основні методи і способи спалювання біомаси представлені на схемі (Рис 3.5).

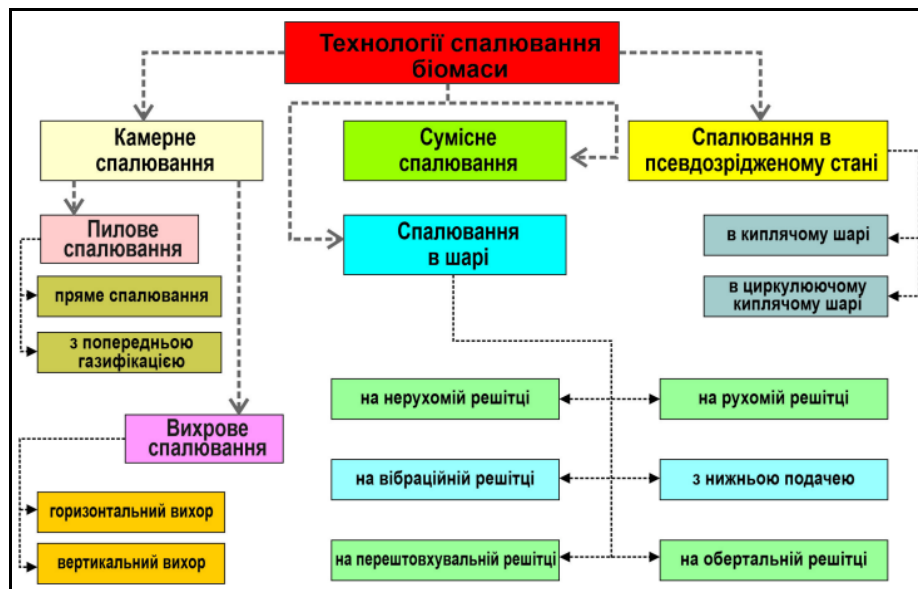


Рис 3.6. Методи спалювання біомаси.

Процес спалювання на прикладі твердопаливного котла.

Для роботи котла на спалювання біомаси зазвичай використовують пелети, деревину, солому, лушпиння соняшника або аграрні відходи. Паливо завантажується у спеціальний бункер котла вручну або автоматично (для моделей з автоподачею). Однією з ключових характеристик біомаси, яка визначає її енергетичний потенціал, є вологість. Чим більша вологість біомаси, тим менше тепла виділяється під час спалювання, оскільки значна частина енергії йде на випаровування води. Виходячи з цього, перед спалюванням біомасу необхідно сушити. Процес починається з подачі первинного кисню до камери згоряння. Кисень необхідний для того, щоб розпочати горіння палива. В котлі зазвичай є система для контролю рівня кисню, щоб забезпечити стабільне згоряння і мінімальні втрати тепла. Коли паливо починає горіти, відбувається активне виділення тепла. У цей момент кисень постачається до камери згоряння для підтримки горіння. Температура в котлі може досягати 800-1000°C, залежно від типу біомаси. Первинне згоряння відбувається на поверхні палива, де кисень взаємодіє з матеріалом і виділяє теплову енергію. У сучасних котлах для спалювання біомаси є камери вторинного згоряння, де допалюються гази, що виділяються під час горіння. Це підвищує ефективність котла і зменшує шкідливі викиди. Виділене тепло передається через теплообмінник на

теплоносії (звичайно воду), яка циркулює у системі опалення. У котлі можуть бути встановлені кілька теплообмінників, щоб максимально використовувати енергію згорілого палива. Продукти згорання (димові гази) виводяться через димохід. У багатьох сучасних котлах встановлюють фільтри, які допомагають зменшити викиди твердих часток і CO₂. Частина палива перетворюється на попіл, який періодично потрібно видаляти з котла.

Зазвичай котли для спалювання біомаси мають ККД від 75% до 90%, що дозволяє економічно використовувати біомасу як паливо. Котли можуть мати різну потужність — від кількох кіловат до декількох мегават, що дозволяє використовувати їх як для приватних будинків, так і для великих підприємств або муніципальних систем.

Таб 3.2. Основні характеристики твердої біомаси з деревини

Паливо	Характеристики	Нижча теплотворна здатність МДж/кг	Насипна вага, кг/м ³	Об'ємний енерговміст, Гкал/м ³	Зольність, %	Температура плавлення золи, ° од. виміру значення С
Тріска деревна, вільним насипом	вологість * 20%	14,5	205-250	0,71-0,86	0,3-1	-/-
	вологість 40%	10,2	240-300	0,58-0,73	-/-	-/-
	вологість 50%	8,1	260-350	0,5-0,68	-/-	-/-
Тріска деревна, утрамбована	вологість 40%	10,2	360-390	0,88-0,95	-/-	-/-
Стружка деревна без утрамбування	вологість 7-15%	14-17	105-140	0,35-0,57	-/-	-/-
те ж, утрамбована	вологість 7-15%	14-17	140-215	0,47-0,87	-/-	-/-
Тирса деревна велика, без утрамбування	вологість 7%	17	100	0,4-0,5	-/-	-/-
	вологість 33-38%	10,5-12,5	170	0,43-0,5	-/-	-/-
Тирса деревна велика, утрамбована	вологість 7%	17	150	0,6-0,65	-/-	-/-
	вологість 33-38%	10,5-12,5	260	0,65-0,70	-/-	-/-
Кора деревна	у повітряно сухому стані	18,5-22,7	-	-	2-10	1440

Таб 3.3. Основні характеристики твердої біомаси з енергетичних культур

Зернова культура	Зольність, на суху масу, А с, %	Нижча теплотворна здатність сухої маси Q _{с р} , МДж/кг	Нижча теплотворна здатність робочої маси Q _{р н} при вологості 20%, МДж/кг
Жито	4,5	17,0	13,1
Пшениця	6,5	17,8	13,8
Ячмінь	4,5-5,88	17,4	13,4
Овес	4,9	16,7	12,9
Солома (в середньому)	5,0	17,4	13,5

Таб 3.4. Основні характеристики твердої біомаси, вторинні сільськогосподарські відходи

Паливо	Характеристики	Нижча теплотворна здатність, МДж/кг	Насипна вага, кг/м ³	Об'ємний енерговміст, Гкал/м ³	Зольність, %	Температура плавлення золи, °С
Деревина емплантацій	верба, тополя (у повітряно сух. стані)	12,5-13,5	-	-	2	1280- 1340
Солома зернових	вологість 15%, малі тюки	14,4	90-135	0,31-0,46	4-6,5	750-1050
	вологість 15%, великі тюки	14,4	140-180	0,48-0,62	4-6,5	-//-
Солома ріпаку	вологість 9%	15,5	-	-	5,5	900-1300

Піроліз — це процес термічного розкладу, при якому біомаса розкладається за високих температур без доступу кисню. Продуктами піролізу є тверді, рідкі та газоподібні компоненти. Виходячи з виду піролізу (швидкого або повільного), можна отримати більше біовугілля або рідкого біопалива (біомасова смола).

Якість і розміри виробів також залежать від типу використовуваного реактора. Основні принципи процесів піролізу біомаси такі:

1. Вихід твердого біо-вугілля (або деревного вугілля) досягає максимуму при найнижчій температурі піролізу і найдовшому часі перебування.
 2. Вихід рідини зазвичай найбільший при температурах від 400°С до 600°С.
 3. Вихід синтез-газу максимізується при найвищій робочій температурі.
- Основними компонентами синтез-газу є оксид вуглецю (CO) і водень (H₂), а також інші гази з меншою молекулярною масою, такі як метан (CH₄), етилен (C₂H₄) і етан (C₂H₆).

Процес роботи піролізного котла починається з завантаження Біомаси (деревина, пелети, тріска або інші відходи) у верхню камеру котла, що називається бункером. Тут паливо спочатку не горить, а підсушується під дією тепла від нижньої камери. Під час піролізу, біомаса нагрівається в умовах

обмеженого доступу кисню при температурі приблизно 200-600°C. Це призводить до виділення летких газів із палива, що є основним джерелом енергії для піролізного котла. У верхній камері деревина не спалюється напряду, а розкладається на газоподібні та тверді компоненти (вугілля). Виділений газ переходить у нижню камеру котла, де відбувається його допалювання за допомогою подачі вторинного повітря. Цей етап відбувається при вищій температурі — до 1000°C, що забезпечує максимально ефективне згоряння летких газів та високу теплову віддачу. У процесі спалювання газів виділяється значна кількість енергії тепла, яка передається теплообмінником на теплоносії (воду або повітря) для подальшого використання в системах опалення. Більшість сучасних піролізних котлів оснащені автоматичними системами контролю процесу горіння. Спеціальні сенсори відстежують температуру в камерах та об'єм подачі повітря, яке забезпечує підтримку оптимальних умов для піролізу та горіння газів. Після завершення процесу горіння утворюється мінімальна кількість попелу, який періодично видаляється з камери згоряння. Димові гази, які виділяються в атмосферу, проходять через фільтри та димохід, що зменшує викиди шкідливих речовин.

Біо-вугілля може використовуватися як добавка до ґрунту, забезпечуючи вуглець і поживні речовини при внесенні в сільськогосподарські угіддя (рис. 3.7.). Високо вуглецеве біо-вугілля також можна перетворити на активоване вугілля, яке є цінним адсорбентом для процесів очищення води та стічних вод. Найбільша цінність біо-вугілля досягається, коли вуглець очищається від усіх неорганічних речовин для отримання графенових продуктів, що є одними з найтвердіших матеріалів, виготовлених з вуглецю. Якість рідкого продукту (біомасла) покращується при короткому часі перебування, наприклад, у системах піролізу з псевдозрідженим шаром, але не у шнекових піролізаторах, які мають тривалий час перебування. Короткий час перебування дає менш в'язке біомасло, яке легко перетворюється на біопаливо (бензин, дизель) за допомогою каталізаторів. Біомасло, отримане в процесі піролізу, має широкий спектр застосувань. З нього можна видобути цінні хімічні речовини; незмінене біомасло

можна перетворити в транспортне паливо за допомогою каталітичних процесів; а також його можна спалювати разом з іншими речовинами в двигуні для виробництва електричної енергії або в котлі для отримання тепла.



Рис 3.7. Застосування біо-вугілля.

Синтез-газ може бути безпосередньо спалюваний для отримання тепла. Однак, перед використанням його в двигуні внутрішнього згорання, може знадобитися очистити від смоли. Для виробництва електричної енергії цей двигун внутрішнього згорання з'єднаний з генератором.

Процес газифікації біомаси при якому органічні матеріали частково окислюються в умовах дефіциту кисню. В результаті газифікації отримується синтез-газ (суміш CO та H_2), який можна використовувати для виробництва тепла або електрики.

Система газифікації з псевдозрідженим шаром, (зображена на рис. 3.8.), працює таким чином, що біомаса постійно подається в великий бункер. Реактор з псевдозрідженим шаром містить вогнетривкий пісок або інший матеріал шару, що переносить тепло, необхідне для процесу. Співвідношення повітря до палива регулюється так, щоб кількість повітря була меншою за стехіометричну потребу для згорання, що забезпечує неповне згорання і сприяє виробництву синтез-газу замість тепла і водяної пари. Після часткового теплового перетворення залишається тверда речовина — високовуглецеве біо-вугілля, яке видаляється за допомогою серії циклонів. Найпростішим застосуванням цієї системи є отримання тепла шляхом спалювання синтез-газу. Якщо потрібна електрична енергія, синтез-газ необхідно очистити від смоли для використання в двигуні

внутрішнього згоряння, що виробляє електричну енергію. Загальна ефективність системи газифікації зазвичай становить менше 20%, а середнє значення для швидкої оцінки становить близько 15% від загальної ефективності перетворення.

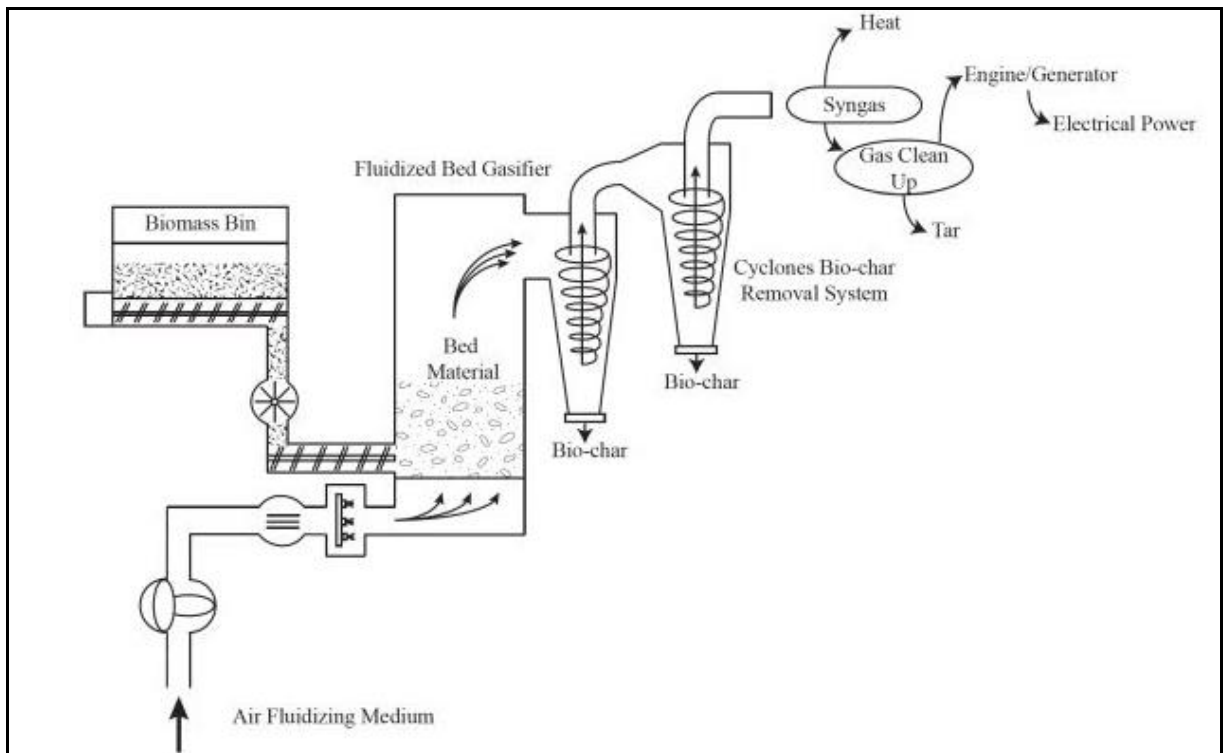


Рис. 3.8. Основна схема газифікатора з псевдозрідженим шаром.

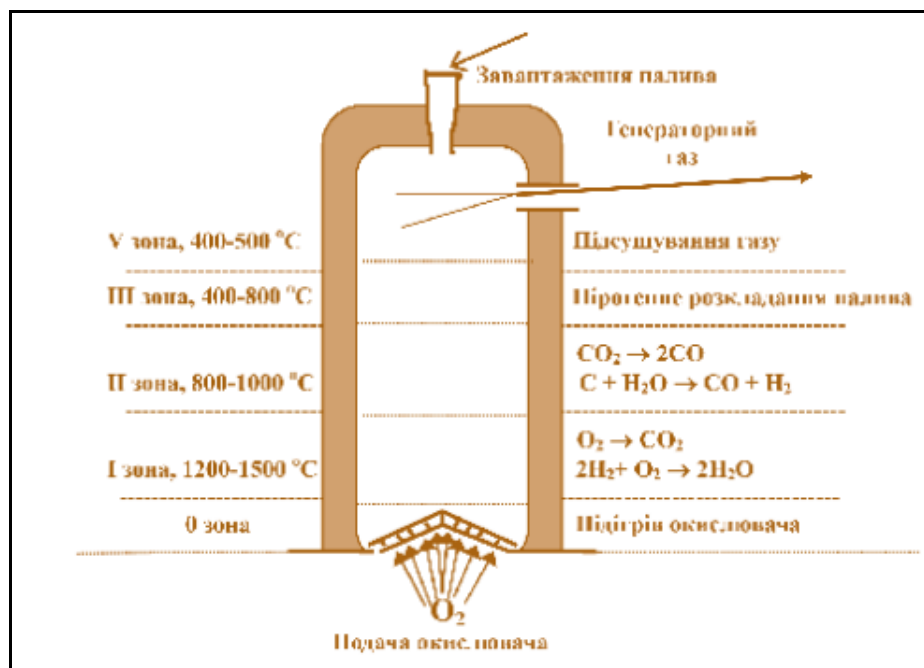


Рис. 3.9. Газифікація біомаси

Економіка виробництва електроенергії через теплові методи, такі як піроліз або газифікація, напряду залежить від ціни на електрику. Наприклад, якщо біомасова електростанція потужністю 1 МВт працює безперервно впродовж року, щоб досягти доходу в 1 мільйон доларів, ціна за кіловат-годину повинна становити \$0.12. Попередню оцінку економічної ефективності газифікації для енергетичних об'єктів можна зробити, коригуючи вартість виробленої енергії. Крім того, ціна на біопаливо з біомаси залежить від вартості сирової нафти, яку постачають комерційні компанії та імпортери. Біоетанол і біодизель, змішуючись з традиційним дизельним паливом і бензином, мають схожу вартість. Якщо ціна на нафту опускається нижче 100 доларів за барель, то витрати на виробництво біодизеля та біоетанолу повинні бути також менш ніж 100 доларів за барель [14].

Біохімічні процеси, ферментація та анаеробне бродіння

Біохімічні процеси пов'язані з хімічними реакціями, що відбуваються в живих організмах або штучних біологічних системах для перетворення енергії, синтезу речовин і виділення побічних продуктів. У контексті виробництва енергії з біомаси особливий інтерес представляють процеси ферментації та анаеробного бродіння, які використовуються для виробництва біогазу та інших біопалив.

Процес перетворення біомаси (енергетичної культури) в енергію через біохімічні процеси можна пояснити поетапно, щоб показати, як біомаса перетворюється на метан, електроенергію або тепло.

На початковій стадії біомаса (наприклад, міскантус, енергетична верба, сорго) збирається та подрібнюється. Це робиться для того, щоб збільшити поверхню, до якої мікроорганізми зможуть легко дістатися під час процесу ферментації. Після подрібнення біомаса може бути зволожена або змішана з водою, щоб полегшити її подальшу переробку. Перший етап біохімічного процесу перетворення біомаси в біогаз — це гідроліз. Під час гідролізу складні органічні сполуки, такі як целюлоза, білки та жири, розщеплюються на простіші

сполуки під дією ферментів, виділених бактеріями. Це дозволяє отримати амінокислоти, прості цукри та жирні кислоти, які будуть перетворюватися на енергію на наступних етапах. Далі йде Ацидогенез (Кислотогенез), на цьому етапі мікроорганізми (кислотогенні бактерії) перетворюють прості органічні сполуки, отримані в результаті гідролізу, на органічні кислоти, такі як оцтова кислота, пропіонова кислота, спирти та леткі жирні кислоти. Цей процес супроводжується виділенням вуглекислого газу та водню. Продукти кислотогенезу (леткі жирні кислоти, спирти) далі перетворюються ацетогенними бактеріями в оцтову кислоту, вуглекислий газ і водень.

Ацетогенез є важливим проміжним етапом перед утворенням метану, оскільки він готує поживні речовини для метаногенних бактерій. На цьому етапі бактерії метаногени використовують оцтову кислоту та водень для утворення метану (CH_4) і вуглекислого газу (CO_2). Метан, що утворився, є основним компонентом біогазу. Біогаз, який виробляється в результаті цього процесу, може використовуватися для виробництва електроенергії, тепла або бути очищений і поданий у газопостачальні мережі.

Описаний вище процес перетворення біомаси на енергію через біохімічні етапи, такий як гідроліз, ацидогенез, ацетогенез і метаногенез, є класичним прикладом анаеробного бродіння. Ферментація, з іншого боку, є ширшим поняттям, яке включає різні процеси біохімічного розкладу органічних речовин, як за участі кисню, так і без нього. Наприклад, алкогольна або молочнокисла ферментація також є типами ферментації, але не пов'язані з утворенням біогазу. В анаеробному бродінні ферментація включає початкові стадії розкладу, такі як гідроліз і ацидогенез, але ключова роль відводиться саме метаногенезу, який характерний для анаеробного бродіння. У ферментації часто ставиться мета не лише утворити гази, але й отримати інші продукти, такі як органічні кислоти, спирти або навіть харчові продукти (як у випадку з молочнокислою ферментацією), тоді як анаеробне бродіння має більш вузьку ціль — перетворення органічних речовин на біогаз.

3.2. Критерії контролю та виробництво біогазу.

Критерії контролю отримання біогазу

Для досягнення максимального ефекту при виробництві біогазу важливо дотримуватися певних критеріїв контролю, які впливають на ефективність анаеробного зброджування та кінцевий вихід біогазу. Основними критеріями є:

- **Температурний режим.**
- **Вологість субстрату.**
- **Рівень рН.**
- **Час гідравлічного утримання (HRT).**
- **Склад субстрату та співвідношення С**

Аспекти для всебічного аналізу:

- **Хімічний склад субстрату:** Важливо враховувати не тільки співвідношення вуглецю до азоту, але й загальний хімічний склад субстрату. Вміст органічних кислот, білків і вуглеводів може впливати на активність різних груп бактерій.

- **Вміст токсичних речовин:** Деякі органічні речовини, що містяться в субстраті, можуть бути токсичними для бактерій. Висока концентрація фенолів або важких металів може пригнічувати метаногенез.

- **Мікробіологічний моніторинг:** Вивчення різноманітності та активності мікроорганізмів допоможе зрозуміти, які з них найбільш ефективно сприяють метаногенезу, а також виявити можливі проблеми з балансом мікробіоти.

- **Енергетична цінність субстрату:** Контроль енергетичної цінності субстрату (наприклад, вміст калорійності) може бути корисним для оцінки його потенціалу в виробництві біогазу.

- **Вплив механічних обробок:** Дослідження впливу механічних обробок, таких як змішування та аерація, на процес зброджування може надати нові можливості для оптимізації.

- **Аналіз виходу біогазу:** Регулярний моніторинг виходу біогазу дозволяє виявити зміни у продуктивності процесу. Цей аналіз може допомогти швидко виявляти відхилення від норм, що дозволяє коригувати параметри управління.

- **Використання інтегрованих систем:** Розгляд можливостей інтеграції біогазових установок з іншими енергетичними системами (наприклад, тепловими установками) може підвищити загальну ефективність використання енергії.

Основні критерії

Температурний режим є одним із найважливіших критеріїв контролю процесу зброджування біоенергетичних культур, оскільки саме від температури залежить швидкість розкладу органічної речовини і активність анаеробних бактерій, відповідальних за утворення метану. Температура впливає на всі етапи анаеробного процесу: від гідролізу, ацетогенезу, до фінальної стадії метаногенезу, під час якої утворюється метан як основний компонент біогазу.

Існує два основних температурних режими, які використовуються для зброджування: мезофільний (30-40°C) та термофільний (50-60°C). Кожен із цих режимів має свої переваги та недоліки, і вибір між ними залежить від конкретних умов виробництва біогазу та типу біоенергетичних культур, що використовуються як субстрат.

Мезофільний режим вважається найбільш поширеним і стабільним, оскільки забезпечує збалансовану роботу анаеробних бактерій при мінімальних енергетичних витратах на підтримку температури. Він підходить для більшості біоенергетичних культур, таких як міскантус, енергетична верба, або солома. Цей режим дозволяє зберігати стабільний процес зброджування, навіть якщо рівень вологи чи рН коливається в межах допустимого.

Для культур, які містять багато лігніну (міскантус), мезофільний режим є найкращим вибором, оскільки розклад складних органічних речовин відбувається повільніше і потребує більше часу. У цьому режимі тривалість гідравлічного утримання субстрату зазвичай становить від 30 до 45 днів.

Перевагою цього підходу є те, що він потребує менше енергії для підтримки температури, що робить його економічно вигідним.

Термофільний режим, навпаки, забезпечує швидший розклад органічної речовини за рахунок підвищеної температури. Анаеробні бактерії в умовах термофільного режиму (50-60°C) працюють набагато активніше, що дозволяє скоротити час гідравлічного утримання до 20-30 днів. Цей режим підходить для культур із легкорозкладними органічними сполуками, таких як сорго, оскільки процес розкладу вуглеводів і цукрів відбувається швидше.

Термофільний процес дозволяє отримати більший вихід біогазу за короткий час, що є важливим для великих промислових установок, де важлива швидкість переробки великих обсягів біомаси. Однак цей режим є більш енергетично затратним, оскільки потрібно підтримувати стабільно високу температуру в реакторі. Крім того, термофільний режим є більш чутливим до коливань у складі субстрату, рН або вологості, що потребує додаткового контролю.

Температура також визначає, які групи бактерій будуть домінувати в процесі зброджування. У мезофільному режимі активніші бактерії, які повільніше переробляють органіку, але роблять це стабільніше впродовж довшого періоду часу. У термофільному режимі бактерії працюють швидше, але їх активність залежить від точності підтримання температури та стабільності інших параметрів, таких як вологість і рН. Тому вибір температурного режиму має враховувати тип субстрату, вимоги до швидкості переробки і доступність енергетичних ресурсів для підтримання процесу.

Важливою особливістю є те, що в термофільному режимі швидкість утворення метану є вищою, проте підвищена чутливість до відхилень у параметрах вимагає постійного моніторингу. Мезофільний режим, навпаки, дозволяє уникати різких збоїв у процесі навіть за менш точного контролю параметрів. Вибір між цими двома режимами залежить від економічної доцільності та обсягів виробництва.

Вологість субстрату є одним із найважливіших факторів, що визначають ефективність анаеробного зброджування біоенергетичних культур. Вода забезпечує оптимальні умови для транспортування поживних речовин, а також допомагає бактеріям легше взаємодіяти з органічною речовиною, прискорюючи процес її розкладу. Правильний рівень вологості має вирішальне значення для підтримки активності анаеробних бактерій, які беруть участь у зброджуванні, зокрема, тих, що відповідають за утворення метану.

Для ефективного зброджування біоенергетичних культур оптимальний рівень вологості субстрату зазвичай становить 85-95%. Цей діапазон забезпечує достатню кількість води для розчинення та транспортування продуктів метаболізму бактерій, що сприяє ефективному розкладу органічних речовин. Наприклад, у культур із високим вмістом лігніну або целюлози, таких як міскантус або енергетична верба, правильний рівень вологості допомагає забезпечити бактеріям доступ до складних органічних полімерів, які важко піддаються розкладу в умовах недостатньої вологи. Однак занадто висока або низька вологість може серйозно вплинути на процес зброджування. Низький рівень вологості (нижче 75%) може призвести до уповільнення процесу розкладу, оскільки бактерії не отримують достатньо рідини для забезпечення метаболічних процесів. Це особливо критично для біоенергетичних культур, які мають високу концентрацію лігніну, оскільки він потребує велику кількість води для ферментативного розщеплення. У випадку недостатньої вологості процес анаеробного зброджування сповільнюється, що веде до зменшення виходу біогазу і потребує додаткового часу для повного розкладу субстрату. Наприклад, солома або сухий міскантус можуть потребувати попереднього зволоження для досягнення оптимальних умов у реакторі.

З іншого боку, занадто висока вологість (понад 95%) може спричинити негативний вплив на процес зброджування. Надмірна кількість води в субстраті призводить до утворення кислих середовищ через накопичення летких жирних кислот (ЛЖК), які пригнічують активність метаногенних бактерій. Це особливо

важливо враховувати при переробці культур, які мають високу концентрацію цукрів або вуглеводів, таких як сорго.

Кисле середовище може суттєво знизити ефективність процесу, оскільки бактерії, відповідальні за виробництво метану, чутливі до зміни рН. Якщо вологість субстрату перевищує оптимальні межі, це може призвести до зменшення активності бактерій і, відповідно, до зниження виходу біогазу.

Щоб підтримувати оптимальний рівень вологості, на сучасних біогазових установках застосовуються різні технології. Найбільш поширеною є система рециркуляції рідини, яка передбачає повернення частини рідини, що утворюється під час зброджування, назад у реактор для підтримки вологи. Це дозволяє зменшити кількість води, яку потрібно додавати, а також забезпечує стабільність процесу без ризику пересушування субстрату.

Рециркуляція також допомагає підтримувати постійну концентрацію поживних речовин у субстраті, що забезпечує кращі умови для роботи бактерій. Для різних біоенергетичних культур рівень вологості може бути оптимізований залежно від їхніх хімічних та фізичних властивостей. Культура з високим вмістом лігніну, як міскантус, потребує більшої кількості води для розкладу клітковини, тоді як культура, що містить більше цукрів, як сорго, може мати нижчі вимоги до вологості.

Важливо забезпечити правильний баланс між кількістю води та органічною речовиною в субстраті, щоб уникнути як надмірного пересушування, так і перенасичення рідиною.

Рівень рН, критерій який безпосередньо впливає на активність бактерій, що беруть участь у процесі утворення біогазу. Анаеробні бактерії, особливо метаногени, дуже чутливі до змін рН середовища. Щоб забезпечити стабільний процес розкладу органіки і максимально можливий вихід біогазу, необхідно підтримувати рівень рН у межах оптимального діапазону.

Оптимальним для анаеробного зброджування вважається рН в діапазоні від 6.8 до 7.5. Ці значення дозволяють бактеріям, відповідальним за виробництво метану, працювати найбільш ефективно. У цьому діапазоні активність

метаногенів перебуває на високому рівні, що дозволяє їм ефективно переробляти органічні сполуки на метан.

Якщо рівень рН виходить за межі цього діапазону, процес метаногенезу сповільнюється або навіть повністю припиняється, що призводить до зниження виходу біогазу. Найбільшу загрозу для ефективності процесу анаеробного зброджування становить зниження рН нижче 6.8, що вказує на надмірну кислотність субстрату. Причиною цього явища може бути накопичення ЛЖК, які утворюються на початкових стадіях зброджування, особливо при обробці біоенергетичних культур із високим вмістом цукрів або легкорозкладних вуглеводів, таких як сорго.

Коли концентрація ЛЖК збільшується, кислотність субстрату підвищується, і це призводить до пригнічення активності метаногенних бактерій. У разі закислення середовища активність цих бактерій значно знижується, що веде до зменшення утворення метану і, як наслідок, до зниження загального виходу біогазу.

Проблема низького рН може бути особливо актуальною для біоенергетичних культур, які містять багато азоту або білкових сполук, оскільки розкладання білків призводить до виділення аміаку, який може накопичуватися в субстраті і спричиняти утворення кислотного середовища. У такому випадку важливо своєчасно коригувати рівень рН, щоб уникнути збоїв у процесі. Найбільш поширеним способом корекції рН є додавання лужних речовин, таких як карбонат кальцію або гідроксид натрію, які нейтралізують надлишкову кислоту і відновлюють нейтральне або слабколужне середовище.

Ще однією проблемою може стати надмірне підвищення рН (вище 7.5), яке зазвичай виникає при переробці культур із високим вмістом азоту. У цьому випадку відбувається активне виділення аміаку, який є токсичним для метаногенних бактерій. В умовах високого рН аміак переходить у вільну форму, що пригнічує процес метаногенезу. Ця проблема є особливо актуальною для субстратів, що містять багато азотних сполук, таких як залишки олійних культур або інші азотовмісні біоенергетичні культури. В таких умовах важливо

контролювати баланс азоту та вуглецю в субстраті, щоб уникнути надмірного утворення аміаку і підтримувати стабільність процесу зброджування.

Підтримка оптимального рівня рН також залежить від стадії анаеробного процесу. На початкових етапах зброджування, коли відбувається активне розкладання легкорозкладних вуглеводів, може спостерігатися короткочасне зниження рН через швидке утворення ЛЖК. На цій стадії важливо контролювати рівень кислотності і своєчасно втручатися, щоб уникнути накопичення кислот.

На пізніших етапах, коли метаногени починають активну фазу переробки органіки на метан, рН стабілізується, оскільки більшість кислот нейтралізується під час метаногенезу. Для забезпечення стабільності процесу на сучасних біогазових установках використовуються автоматизовані системи контролю рН, які постійно відстежують рівень кислотно-лужного балансу у субстраті.

Ці системи дозволяють оперативно реагувати на будь-які зміни рН і автоматично коригувати рівень кислотності або лужності шляхом додавання відповідних хімічних реагентів. Це особливо важливо для великих біогазових установок, де будь-яке відхилення рН може призвести до значного зниження виходу біогазу і економічних втрат.

Час гідравлічного утримання (Hydraulic Retention Time, HRT) відображає, скільки часу субстрат залишається в реакторі для того, щоб органічна маса повністю розклалася під впливом анаеробних бактерій. Цей параметр критично важливий для процесу зброджування, оскільки він визначає тривалість контакту субстрату з мікроорганізмами, які перетворюють органічні сполуки на біогаз. HRT безпосередньо впливає на ефективність перетворення органіки на метан і кінцевий вихід енергії.

Оптимальний час гідравлічного утримання варіюється залежно від характеристик субстрату. Біоенергетичні культури, такі як міскантус, енергетична верба або солома, мають складні органічні сполуки (лігнін і целюлоза), які потребують більше часу для розкладу. У такому випадку HRT може складати від 30 до 45 днів, щоб забезпечити бактерії достатньою кількістю часу для перетворення органічних полімерів на метан.

Культури з менш складним складом, такі як сорго або кукурудза, які містять легкорозкладні вуглеводи, можуть потребувати коротшого HRT — близько 20-30 днів. Це пояснюється тим, що для таких культур процес розкладу відбувається швидше.

Недостатній час гідравлічного утримання може призвести до неповного розкладу субстрату. Якщо HRT є занадто коротким, частина органічної маси не встигне переробитися, що знизить загальний вихід біогазу. Це особливо критично для культур із високим вмістом структурних компонентів, таких як міскантус, де потрібен триваліший час для ферментативного розщеплення лігніну. Якщо час утримання скорочується до менш ніж 20 днів, це може призвести до неповного зброджування, що зменшить ефективність виробництва біогазу і залишить невикористаний енергетичний потенціал.

Надмірно довгий час гідравлічного утримання (понад 45 днів) не завжди виправданий з точки зору продуктивності. Більшість органіки переробляється в перші тижні, тому додаткові дні утримання не призведуть до значного збільшення виходу біогазу. У результаті це може призвести до збільшення витрат на обслуговування та експлуатацію біогазової установки, оскільки більші обсяги субстрату потребують більше енергії та простору для обробки, не приносячи значної вигоди в кінцевому результаті.

Для оптимізації HRT необхідно також враховувати початковий стан субстрату. Культури, які були попередньо подрібнені або оброблені іншим способом для полегшення доступу бактерій до органічної маси, можуть потребувати меншого часу утримання. Подрібнення рослинних матеріалів дозволяє збільшити поверхню контакту органічної речовини з бактеріями, що прискорює процес розкладу. Подрібнений міскантус може розкладатися швидше, ніж непідготовлений.

Контроль HRT є важливим аспектом для оптимізації процесу анаеробного зброджування. Використання сенсорів та автоматичних систем управління дозволяє відстежувати час утримання субстрату і коригувати параметри процесу в режимі реального часу. Таким чином, можна забезпечити повний розклад

органіки за мінімально необхідний час, що допомагає зберегти енергію та підвищити загальну ефективність біогазової установки. Час гідравлічного утримання тісно пов'язаний з іншими факторами, такими як вологість субстрату, рН, вміст поживних речовин і склад субстрату.

Співвідношення вуглецю до азоту (С) визначає ефективність процесу анаеробного зброджування біоенергетичних культур. Це співвідношення є ключовим для забезпечення належного балансу поживних речовин у субстраті, необхідного для підтримки активності бактерій, що беруть участь у процесі виробництва біогазу. Анаеробні бактерії потребують азоту для своєї життєдіяльності, але також їм необхідна достатня кількість вуглецю для забезпечення енергетичних процесів, таких як розщеплення органічних сполук і утворення метану. Тому правильне співвідношення С має вирішальне значення для забезпечення стабільного процесу метаногенезу.

Оптимальне співвідношення С для більшості біоенергетичних культур становить від 20:1 до 30:1. Це означає, що в ідеалі на кожні 20-30 частин вуглецю має припадати 1 частина азоту. У цьому діапазоні бактерії отримують достатню кількість азоту для синтезу білків, але водночас у субстраті зберігається високий рівень вуглецю, необхідний для метаболічних процесів. Якщо співвідношення виходить за межі цих значень, це може призвести до негативних наслідків для процесу зброджування і зниження виходу біогазу.

Якщо співвідношення С надто низьке (багато азоту, недостатньо вуглецю), у субстраті починає накопичуватися аміак, який є токсичним для метаногенних бактерій. Це особливо актуально для біоенергетичних культур, що містять високий рівень білкових сполук або азоту, таких як деякі олійні культури. Аміак пригнічує активність бактерій, що призводить до зниження виробництва метану і, як наслідок, до зменшення загального виходу біогазу. При цьому навіть незначне підвищення концентрації аміаку може різко знизити ефективність процесу, оскільки бактерії, відповідальні за метаногенез, дуже чутливі до змін в аміачному балансі.

Якщо співвідношення С надто високе (багато вуглецю, недостатньо азоту), бактерії не отримують достатньої кількості азоту для побудови своїх білків і нормальної життєдіяльності. У такій ситуації процес розкладу органіки сповільнюється, що призводить до уповільнення анаеробного процесу і зменшення виробництва біогазу. Біоенергетичні культури, такі як міскантус або солома, мають високий вміст вуглецю і низький вміст азоту, тому для оптимізації їхнього зброджування часто потрібно додавати субстрати з високим вмістом азоту, щоб досягти правильного балансу.

Корекція співвідношення С може здійснюватися різними способами. Один із найпоширеніших методів — це **змішування субстратів** із різним вмістом вуглецю та азоту. Наприклад, субстрат із високим вмістом вуглецю, як міскантус або солома, можна змішувати з культурою або відходами, що містять багато азоту, для збалансування співвідношення С.

Це дозволяє забезпечити необхідний рівень поживних речовин для бактерій і підтримувати стабільний процес метаногенезу. Змішування субстратів дозволяє використовувати різні джерела біомаси для підвищення загальної ефективності виробництва біогазу.

Іншим способом корекції є **додавання спеціальних добавок** або органічних добрив, які містять азот або вуглець, залежно від потреб. Наприклад, для зниження рівня аміаку в субстраті можуть використовуватися сорбенти або органічні добрива з високим вмістом вуглецю. Це дозволяє знизити токсичність середовища і відновити активність метаногенних бактерій. Важливість контролю співвідношення С полягає в тому, що цей параметр не лише впливає на ефективність виробництва біогазу, але й на стабільність самого процесу. Дисбаланс поживних речовин у субстраті може призвести до збоїв у роботі біогазової установки, зниження активності бактерій і навіть до зупинки процесу зброджування.

Виробництво біогазу, технологічні особливості

Хімічні методи переробки біомаси використовуються для виробництва рідкого біопалива та інших продуктів на основі органічних матеріалів. Одним з

найважливіших хімічних процесів є зрідженні біомаси, Це процес термохімічного перетворення органічного матеріалу в рідку біосировину та побічні продукти. Залежно від процесу, він зазвичай проводиться при помірних температурах (300-400° С, нижче, ніж зрідження вугілля) і тиску (10-20 МПа, аналогічні або, можливо, трохи вище з переважно воднем у вугіллі до рідин) з додаванням водню або СО як відновника. На відміну від вугілля, біомаса є «вологою» або, принаймні, вологішою, ніж вугілля, і може бути перероблена у вигляді водної суспензії. При обробці у вигляді водної суспензії процес згадується в літературі як гідротермічна обробка і може бути докритичним до надкритичного для води. На малюнку 3.9 показані умови для надкритичної води; вода поводить себе більше як кислотна/основна система в цих умовах. Таким чином, він також може бути каталізатором. Також в цих умовах спостерігається висока розчинність органічного матеріалу у воді. В основному це відбувається вздовж лінії рідина/пара. Основні механізми реакції можна охарактеризувати як:

1. деполімеризація біомаси;
2. розкладання мономерів біомаси шляхом розщеплення, зневоднення, декарбоксілювання та дезамінації;
3. рекомбінація реактивних фрагментів.

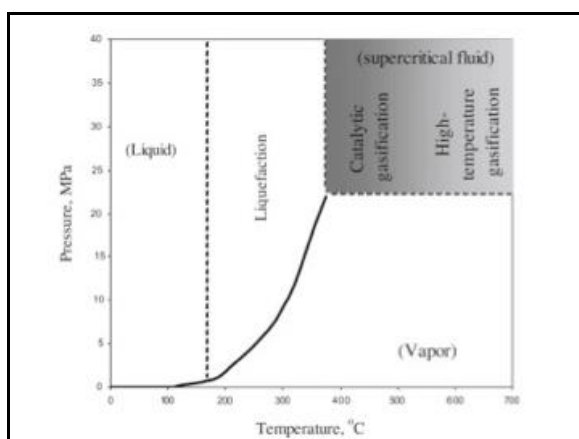


Рис. 3.10. Умови для того, щоб вода була надкритичною і докритичною на фазовій діаграмі.

Різні типи біомас реагують по-різному залежно від джерела біомаси. Вуглеводні компоненти, такі як целюлоза, геміцелюлоза і крохмаль, піддаються

розкладанню у воді під високими температурами. Приблизно за 180°C утворюються прості цукри, наприклад, глюкоза, яку надалі можна ферментувати для отримання алкоголю. У разі підвищення температури до діапазону 360–420°C починають утворюватися альдегіди та кетони, серед яких гліколевий альдегід, гліцеральдегід і дигідроксиацетон [15].

Каталітичне гідрування є ключовим хімічним процесом, який застосовують для трансформації жирів і олій у біодизель — екологічно чисте паливо, що може замінити традиційний дизель. Біодизель має низку переваг, зокрема біорозкладність та менший вуглецевий слід, що робить його ефективним і стійким джерелом енергії. Його спалювання характеризується меншим рівнем шкідливих викидів порівняно з викопним паливом. Крім того, біодизель можна використовувати у стандартних дизельних двигунах без необхідності їхньої модифікації. Для його виробництва підходять різні види олійних культур, серед яких:

Ріпакова олія характеризується стійкістю до окислення, високою врожайністю та низьким вмістом йоду (менше 120 одиниць).

Соняшникова олія має нижчу врожайність порівняно з ріпаком, а високий рівень йоду (понад 120 одиниць) потребує змішування з іншими оліями для відповідності стандарту EN 14214.

Соева олія активно використовується у США та Аргентині. Вміст йоду перевищує європейські норми, але відповідає американському стандарту ASTM D-6751-02, що дозволяє її широке застосування.

Пальмова олія поширена у Малайзії, але через високий рівень в'язкості при +11 °C потребує змішування з іншими компонентами у теплих регіонах.

Враховуючи те, що Україна переважно аграрна країна, доцільніше буде використовувати культури, які йдуть на експорт і з яких можливо виготовляти біодизель, наприклад ріпак, соя, соняшник. Найбільшу кількість біодизеля можливо отримати, вирощуючи ріпак. Україна збрала 4 млн. т. ріпаку в 2023 р. [16].

З однієї тонни ріпаку можна отримати від 300 до 360 кг олії, а з цієї олії –

270–320 кг біодизельного палива. Основною перевагою біодизеля є його екологічна чистота та можливість отримання з відновлюваних ресурсів. Ріпакову олію можна використовувати як біопаливо у вигляді нерафінованої холодної пресування олії або етерифікованої. У першому випадку це паливо підходить для двигунів з камерою завихрення, які обладнані додатковими системами для впорскування олії. Етерифіковану олію можна використовувати в звичайних дизельних двигунах без потреби в додаткових змінах [17].

Викиди шкідливих речовин та твердих часток при роботі на біодизелі зменшуються на 20–25%, сірки – на 98%, сажі – на 50–61%, а гідрокарбонати та монооксиди вуглецю – на 30–34% [18].

За правильного застосування агротехнічних методів вирощування ріпаку, з одного гектара можливо отримати такі результати: близько 20 тонн зеленої маси для корму, 20 тонн органічних добрив, 3-3,5 тонни насіння, 13 центнерів олії, 16 центнерів макухи, 100 кг меду та 500 кг сировини для виробництва паперу.

У післявоєнний період для підтримки аграрного сектору доцільно запроваджувати податкові або інші пільги на виготовлення біодизеля для власних потреб сільгоспвиробників. Наприклад, з частини врожаю ріпаку фермери можуть виробляти біодизель для своєї техніки, а макуха, яка утворюється після віджиму олії, використовуватиметься як високоякісний корм для худоби. Такий підхід сприятиме не лише економічній стабільності аграрного бізнесу, а й розширенню можливостей для розвитку сталого сільського господарства. [19].

Хімічні процеси дозволяють також використовувати біомасу для синтезу хімічних речовин. Наприклад, лінгін, який міститься у відходах деревини, може бути використаний для виробництва ароматичних сполук, які застосовуються в хімічній промисловості.

Хімічна переробка біомаси має перевагу у вигляді високого виходу енергії при використанні менших обсягів сировини, однак вона вимагає складних установок і значних капіталовкладень для розвитку інфраструктури.

Виробництво біогазу є важливою технологією переробки біомаси, яка

використовується для генерації тепла і електроенергії. Біогазові установки можуть працювати на різних видах біомаси, таких як гній, сільськогосподарські відходи, залишки продуктів харчування та інші органічні матеріали.

На рисунку 3.11 представлена загальна схема запропонованого технологічного процесу роботи біогазової установки, в якій враховані виявлені недоліки наявного обладнання. Гній з тваринницької ферми подається на вібросито, де відокремлюються сторонні домішки, зокрема підстилкова солома, після чого він потрапляє в біореактор, куди солома може бути доставлена після подрібнення. У біореакторі процес переробки активується за допомогою двовального змішувача та диспергатора, причому кількість змішувачів може варіюватися в залежності від об'єму метантенка.

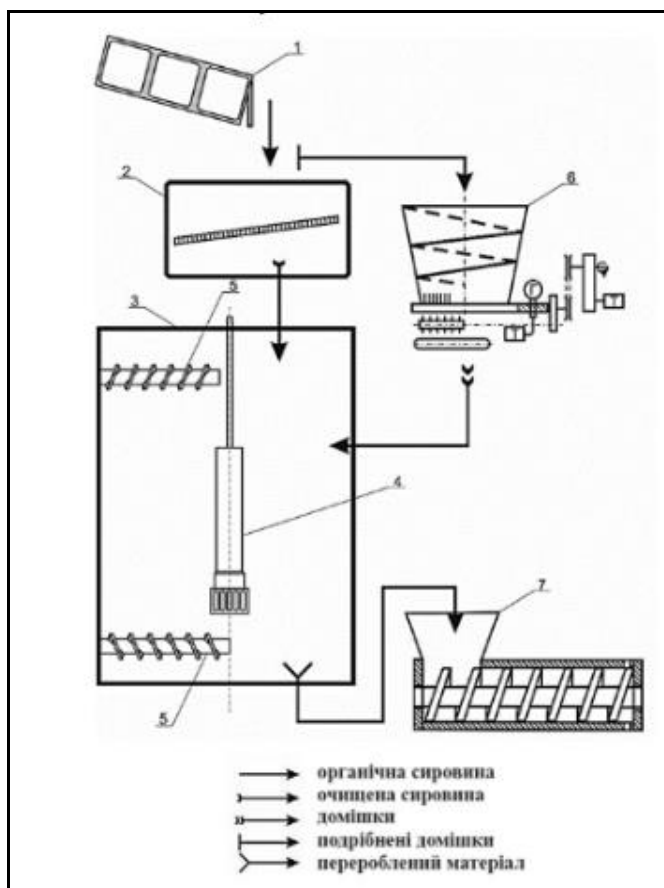


Рис. 3.11. Загальна схема технологічного процесу роботи біогазової установки: 1 – бункер для сировини, 2 – вібросито, 3 – біореактор, 4 – диспергатор, 5 – змішувальний шнек, 6 – подрібнювач, 7 – гвинтовий прес.

У гвинтовому пресі оброблений органічний матеріал поділяється на дві

фракції: тверду та рідку. Тверда частина стає продуктом з високою доданою вартістю, а рідка фракція повертається назад у технологічний процес для повторного використання.

Стандартна біогазова установка включає анаеробний реактор, резервуар для зберігання газу, систему очищення біогазу та електрогенератор. Сучасні установки такого типу характеризуються високим рівнем автоматизації та здатні працювати безперервно, забезпечуючи постійний вихід енергії. Продуктивність біогазових систем визначається якістю сировини, технологічними параметрами роботи, такими як температура і вологість, та особливостями конструкції реактора.

Біогазові установки здатні виконувати функції очисних споруд на різних об'єктах, фермах, зокрема на спиртових і цукрових заводах, птахофабриках та інших агропромислових підприємствах. Вони також можуть замінити ветеринарно-санітарні підприємства, утилізуючи відходи тваринного походження з виробництвом біогазу, замість створення м'ясо-кісткового борошна [20]. Серед промислово розвинених країн лідером за кількістю біогазових установок є Німеччина, з 8 млн одиниць, і в Західній Європі майже половина всіх птахоферм опалюється біогазом [21] [22]. В Україні питання виробництва біогазу досліджували такі вчені, як Гелетуха Г.Г., Матвєєв Ю.Б., Кучерук П.П., Ратушняк А.А., Токарчук Д.М., Калетнік Г.М., Пришляк Н.В., Скорук О.П. та інші. У результаті розроблені біогазові установки різної продуктивності та конструкції.

До переваг біогазових технологій можна віднести [20] [23] [24] [25]:

- Використання відновлювальних, місцевих рослинних і тваринних сировин для виробництва енергії.
- Можливість використання раніше неекономічно використовуваних частин рослин.
- Ефективну утилізацію органічних відходів для енергії.
- Децентралізоване енергопостачання без необхідності прокладання довгих комунікацій.

- Скорочення викидів парникових газів, таких як метан (CH₄), оксид азоту (N₂O), вуглекислий газ (CO₂).
- Вивільнення лише такої кількості CO₂, яка була засвоєна рослинами під час їхнього росту, що створює замкнутий цикл вуглецю.
- Покращення якості добрива у порівнянні з непереробленим гноєм, зменшення запахів та підвищення швидкості засвоєння поживних речовин.
- Скорочення кількості патогенних мікроорганізмів і бур'янів у процесі ферментації.
- Зниження витрат на добрива та отрутохімікати, оскільки ферментаційний залишок є ефективною та екологічною заміною мінеральним добривам.

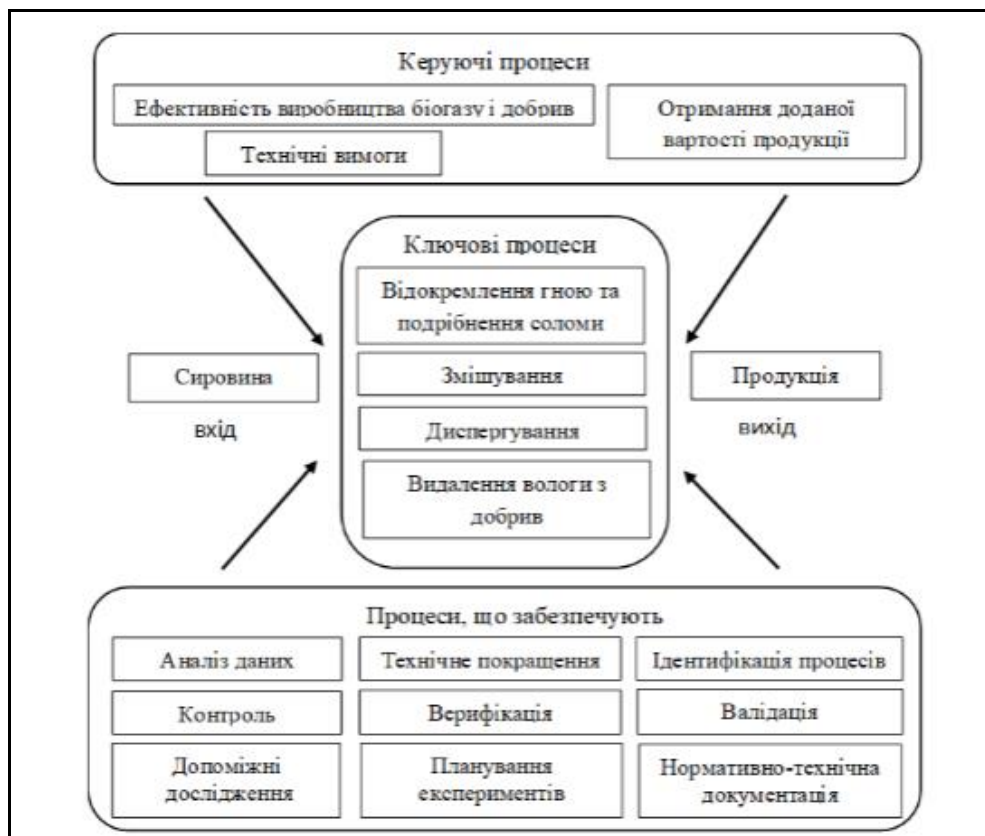


Рис. 3.12. Схема процесів біогазової установки

Розробка обладнання для біогазових установок включає використання значного обсягу інформації. Розвиток методів проектування великих та складних

систем вимагає застосування системного аналізу. У цьому контексті важливим є формулювання задач оптимізації, де часто не вимагається досягнення високої точності при визначенні оптимальних параметрів.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів

Охорона праці є важливою складовою будь-якої діяльності, зокрема під час вирощування та переробки біоенергетичних культур. Це система соціально-економічних, правових, гігієнічних та технічних заходів, спрямованих на захист здоров'я працівників під час виконання їхніх обов'язків. У галузі виробництва біоенергетичного палива роботодавець зобов'язаний забезпечити безпечні умови праці відповідно до чинного законодавства України та гарантувати дотримання вимог охорони праці на кожному робочому місці. Працівники повинні пройти обов'язкові інструктажі з техніки безпеки, навчання надання першої медичної допомоги та дій у разі нещасних випадків.

Документація з ОП повинна регулярно переглядатися, як мінімум кожні три роки, або ж при зміні виробничих умов, появі нових загроз, або за результатами розслідування непередбачених випадків.

На робочих місцях, пов'язаних із вирощуванням та переробкою біоенергетичних культур, можуть виникати небезпеки, зокрема падіння працівників чи обладнання через складні виробничі умови. У зонах з підвищеною небезпекою необхідно встановити спеціальні огороження для уникнення нещасних випадків. Окрім того, при недостатньому природному освітленні слід використовувати штучне освітлення, особливо на відкритих майданчиках, де працівники контактують із важким обладнанням.

Вивчення чинників професійних небезпек є одним із ключових аспектів забезпечення безпеки на виробництві. Усі працівники мають дотримуватися законодавчих норм, зокрема Закону України «Про охорону праці», який встановлює основні принципи щодо забезпечення безпеки працівників. Для підприємств, що займаються вирощуванням біоенергетичних культур, важливо впроваджувати комплексні дії, націлені на зменшення шкідливих факторів, таких як підвищена вологість, пил у повітрі робочих зон, коливання температури

та високий рівень шуму.

Фізичні чинники: постійні фізичні навантаження пов'язані з ручною працею (посадка, прополювання, збору врожаю), можуть призвести до болів у спині суглобів та м'язах; робота с сільськогосподарськими технологіями, гострими інструментами та важкими вантажами, несе у собі ризик отримання травм, таких як порізи, забої, переломи; робота в умовах підвищених або знижених температур (влітку або взимку), особливо на відкритому повітрі, може викликати тепловий стрес або переохолодження.

Хімічні чинники: Під час вирощування біоенергетичних культур можуть використовуватися хімічні засоби захисту рослин, які містять токсичні речовини, які мають вплив на дихальні систему та шкіру; робота з хімічними добривами (азотні, фосфатні) може спричиняти алергічні реакції або інтоксикацію через порушення правил техніки безпеки-; під час процесів обробки біомаси або її переробки можливе виділення шкідливих газів (CO_2 , CO , CH_4).

Психофізіологічні небезпечні і негативні виробничі фактори: психологічні та нервові перевантаження (монотонність праці).

4.2. Вимоги до території, робочих місць, організації безпечного руху працівників і транспорту

Вимоги безпеки до працівників які займаються вирощуванням та переробкою біоенергетичних культур та їх робочих місць (аналогічні до загальних вимог щодо охорони праці в аграрній та промисловій сферах):

- працівники, які працюють із технікою та обладнанням для переробки біомаси, повинні бути оснащені захисним одягом та індивідуальними засобами безпеки включаючи каски, рукавиці, захисні окуляри та навушники для захисту від механічних і шумових впливів. ЗІЗ повинні відповідати встановленим нормам;

- усі процеси з обробки біомаси мають проводитися з належним захистом працівників від механічних і хімічних ризиків. Робочі місця, де використовується обладнання, повинні бути оснащені витяжними системами для

підтримки чистоти повітря;

- у приміщеннях для переробки біомаси повинна постійно працювати припливно-витяжна вентиляція для видалення шкідливих речовин та підтримки належного мікроклімату.

- територія для вирощування та переробки біомаси повинна бути організована так, щоб уникнути зіткнень техніки, забезпечивши безпечні маршрути для транспорту та працівників. Небезпечні зони слід огородити та позначити;

- відходи, що утворюються під час переробки біомаси, необхідно утилізувати відповідно до екологічних вимог. Злив небезпечних речовин у ґрунт чи водойми забороняється.

При наявності задимлення, загоряння або інших ознак пожежі (горіння) слід:

- терміново викликати пожежну службу;
- вжити заходів для евакуації людей, локалізації або гасіння пожежі, а також збереження майна (за можливості);

- повідомити керівника підприємства або відповідну посадову особу, а також чергового.

- необхідно забезпечити наявність пожежного інвентарю та обладнання для первинного гасіння пожеж. Працівники повинні бути ознайомлені з правилами пожежної безпеки та знати, як діяти в надзвичайних ситуаціях.

- після завершення робіт із переробки біомаси слід вимкнути всі електричні прилади, обладнання, світло, а також привести робоче місце в належний стан, забезпечивши чистоту та безпечні умови для наступної зміни.

4.3. Забезпечення нормативних значень показників мікроклімату та чистоти повітря

Основні вимоги щодо мікроклімату і чистоти повітря повинні відповідати чинним нормативам і забезпечувати безпечні та комфортні умови праці, ці вимоги стосуються працівників, які безпосередньо працюють у приміщеннях для

переробки біомаси (оператори обладнання, технічний персонал, лабораторний персонал, працівники складу):

- Температура повітря у приміщеннях для переробки біомаси повинна бути в межах 18–25°C залежно від сезону;

- відносна вологість має бути в діапазоні 40–60%, що забезпечує комфортне середовище для працівників і запобігає пересушуванню повітря або надмірній вологості, що може негативно впливати на здоров'я;

- швидкість руху повітря у робочих зонах не повинна перевищувати 0,2–0,5 м/с, щоб уникнути протягів і створити комфортні умови роботи.

- Системи вентиляції та пиловловлювання повинні бути встановлені у виробничих приміщеннях, де здійснюється обробка біомаси. Витяжна вентиляція повинна видаляти пил і шкідливі речовини, забезпечуючи свіжий приплив повітря;

- регулярний контроль якості повітря необхідно здійснювати на постійній основі, щоб уникнути перевищення гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин.

У разі перевищення допустимих норм забруднення або невідповідності температурно-вологісного режиму слід негайно вживати заходів для корекції умов. Це може включати регулювання інтенсивності роботи вентиляційних систем або впровадження додаткових очищувальних пристроїв.

4.4. Освітлення, заходи і засоби для забезпечення нормованих показників освітлення

Робочі місця мають бути оснащені як природним, так і штучним освітленням, що відповідає стандартам ДСТУ Б EN 12464-1:2017 "Світло та освітлення. Освітлення робочих місць у приміщеннях". Показники освітленості мають бути достатніми для виконання різних виробничих операцій без ризику зорового перенапруження.

У приміщеннях для переробки біомаси, особливо у зонах з недостатнім природним освітленням, має бути забезпечене відповідне штучне освітлення.

Для цього використовуються люмінесцентні або LED-лампи, які забезпечують рівномірне освітлення без відблисків. Для робочих місць, де здійснюються точні механічні операції (наприклад, під час обслуговування обладнання для переробки біомаси), освітленість повинна складати не менше 300-500 люкс.

На відкритих ділянках для вирощування біоенергетичних культур повинно використовуватися максимальне природне освітлення. Однак, у вечірній та нічний час, особливо під час збору врожаю або обробки сировини, необхідно використовувати штучні джерела світла для забезпечення безпечної видимості.

Освітлення повинно бути організовано так, щоб уникати утворення тіней та яскравих контрастів між робочими зонами та оточенням. Це знижує ризики зорового напруження та підвищує ефективність роботи працівників.

Регулярний контроль систем освітлення повинен проводитися для запобігання зниженню якості освітленості через знос ламп або пошкодження обладнання. Необхідно також забезпечувати доступність резервних джерел освітлювальних приладів у разі їх виходу з ладу.

4.5. Заходи і засоби для забезпечення нормованих значень шуму та вібрації

Використання звукоізоляційних матеріалів для обладнання, встановлення шумопоглинаючих бар'єрів та кожухів. Важливо, щоб гучність на робочих місцях відповідала вимогам ДСТУ ISO 9612:2016 "Акустика. Оцінювання професійної шумової експозиції", де встановлені граничні норми шуму.

Для зниження впливу шуму на органи слуху працівники повинні використовувати антишумові навушники або вкладиші, що відповідають вимогам ДСТУ EN 352-2:2003 "Засоби індивідуального захисту органів слуху".

Усі робочі місця повинні бути оснащені відповідними ЗІЗ, якщо рівень шуму перевищує допустимі норми — 80 дБА. Встановлення обмежень на час перебування у зонах з підвищеним рівнем шуму, ротація працівників, організація робочого графіка з перервами для відпочинку.

Використання обладнання, оснащеного віброізолюючими системами та

амортизаторами, що знижують передачу вібрацій на робочі поверхні. Важливо, щоб техніка та обладнання відповідали вимогам ДСТУ EN ISO 5349-1:2017 "Вібрація механічна. Вимірювання вібраційної дії на руки". Працівники, які працюють з обладнанням, що генерує вібрації, повинні використовувати спеціальні віброізоляційні рукавиці та взуття. Це допомагає знизити вплив вібрацій на руки та тіло. Обмеження часу безперервної роботи з обладнанням, що генерує вібрації, регулярні перерви для відпочинку та зниження навантаження на організм працівників.

Для забезпечення відповідних рівнів шуму та вібрацій на підприємствах слід регулярно проводити контроль і моніторинг за допомогою спеціальних приладів. Постійне вимірювання рівнів шуму та вібрації на робочих місцях повинно відповідати нормативам, зазначеним у ДСТУ ISO 2631-1:2005 "Механічні вібрації та удари".

4.6. Забезпечення необхідного санітарного стану виробництва

Забезпечення належного санітарного стану виробництва на підприємствах, що займаються переробкою біоенергетичних культур, включає регулярне прибирання та очищення робочих зон, контроль якості повітря, води та утилізацію відходів відповідно до екологічних норм.

Виробничі приміщення повинні бути оснащені системами вентиляції та пиловловлювання для видалення пилу та інших шкідливих речовин. Відходи повинні збиратися в окремі контейнери та утилізуватися згідно з ДСТУ 2272-93 і екологічними вимогами, встановленими законодавством України.

4.7. Заходи і засоби для захисту працюючих від ураження електричним струмом, блискавкозахист і захист від статичної електрики

Основні заходи для захисту від ураження електричним струмом включають:

- автоматичні вимикачі, захисне заземлення, занулення та пристрої для захисного відключення.

- робочі місця мають бути оснащені гумовими рукавицями та килимками
- працівники повинні проходити навчання щодо правил безпечної роботи з електрообладнанням.

Будівлі підприємства мають бути оснащені системами блискавкозахисту відповідно до ДСТУ Б В.2.5-38:2008 "Захист будівель і споруд від блискавки". Це включає встановлення блискавковідводів, заземлюючих пристроїв і систем для відведення струму блискавки без шкоди для конструкцій будівлі та обладнання.

Для запобігання накопичення статичної електрики на обладнанні та поверхнях, які можуть стати причиною іскроутворення, використовуються антистатичні пристрої та заземлення. Працівники повинні використовувати антистатичний одяг і взуття. Контроль за рівнем статичної електрики необхідно проводити регулярно.

4.8. Забезпечення пожежовибухобезпеки

З метою запобігання виникненню пожежі на підприємстві забороняється курити та використовувати відкритий вогонь. Електричне та освітлювальне обладнання повинно відповідати вимогам вибухобезпеки. Мережу слід увімкнути лише після входу в приміщення.

До можливих джерел загоряння під час проведення дослідницьких робіт відносяться: полум'я, пошкодження проводів через перевантаження електрообладнання (наприклад, ультрафіолетові лампи, електричні плитки, автоклави), несправний стан електричного обладнання, порушення правил його монтажу та експлуатації, а також наявність легкозаймистих матеріалів.

Основні заходи пожежної безпеки включають:

- Усі виробничі приміщення повинні бути обладнані первинними засобами пожежогасіння, такими як вогнегасники, пожежні рукави та системи сповіщення. Важливо дотримуватися правил щодо їхньої розміщеності та перевірки на справність;

- робочі місця повинні бути оснащені системами пожежної сигналізації та

автоматичного пожежогасіння відповідно до ДСТУ EN 54-1:2003 "Системи пожежної сигналізації і пожежогасіння";

- регулярні протипожежні інструктажі, тренування з використанням засобів пожежогасіння та дії у разі пожежі.

Захист від вибухів: Біомаса може накопичувати пил, який при неправильній вентиляції або контакті з іскрою може спричинити вибух. Для цього повинні використовуватися системи пиловловлювання та вентиляції, що запобігають накопиченню пилу в повітрі. Електрообладнання має бути захищене від вибуху шляхом застосування іскробезпечних пристроїв та ізоляції.

Всі працівники повинні проходити регулярні інструктажі та навчання щодо пожежної безпеки, а також вміти користуватися засобами первинного пожежогасіння. Необхідно проводити регулярні тренування з евакуації та дій у випадку пожежі.

Робота з легкозаймистими матеріалами, які використовуються або утворюються під час переробки біомаси, повинна проводитися під контролем з дотриманням правил безпеки.

Приміщення мають бути обладнані належними евакуаційними шляхами, що чітко позначені знаками виходу. Виходи не повинні бути заблоковані або перекриті, щоб забезпечити швидку евакуацію у випадку пожежі (згідно з вимогами ДБН В.1.1.7-2016).

РОЗДІЛ 5

ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

Основною метою державної політики України у сфері цивільного захисту є забезпечення безпеки населення та територій, матеріальних і культурних цінностей, а також довкілля від потенційних негативних наслідків, пов'язаних з надзвичайними ситуаціями, які можуть виникати під час виробництва енергії з біоенергетичних культур. Біоенергетика, як галузь, що активно розвивається в Україні, потребує чіткого регулювання і контролю для мінімізації ризиків, пов'язаних з використанням відновлюваних ресурсів.

Значна частина нормативних актів, що регулюють діяльність у сфері цивільного захисту, вже містять положення щодо попередження та усунення надзвичайних ситуацій техногенного та природного походження. У контексті біоенергетики це стосується як процесів вирощування біоенергетичних культур, так і їх переробки в енергію, де можливі ризики аварій, пожеж, витоків біогазу, а також забруднення довкілля.

Одним із важливих аспектів цивільного захисту в контексті біоенергетики є вплив біогазу на довкілля та безпеку населення. Виробництво біогазу, яке є ключовим елементом сучасних біоенергетичних технологій, приносить як екологічні переваги, так і потенційні ризики. Позитивний вплив біогазу на довкілля полягає у зменшенні викидів парникових газів. При переробці біомаси у біогаз, метан, який зазвичай вивільняється під час розкладання органічних відходів, згоряє і перетворюється на вуглекислий газ, що має набагато менший вплив на глобальне потепління, ніж сам метан. Це дозволяє суттєво знизити обсяги викидів метану, що є значно потужнішим парниковим газом порівняно з CO₂.

Однак виробництво біогазу також може створювати певні ризики для довкілля. Одним з таких аспектів є утворення і викиди сірководню (H₂S), який є токсичним і може призвести до забруднення повітря, якщо не буде належним чином відфільтрований у процесі виробництва. Сірководень також сприяє утворенню кислотних дощів, які негативно впливають на ґрунти, водні ресурси

та екосистеми.

Ще одним потенційним ризиком є неправильне управління відходами після збродження біомаси. Рідини та тверді залишки можуть містити значні кількості органічних речовин, азоту та фосфору, які, при неправильному утилізовані, можуть призвести до забруднення ґрунтів і водних джерел. Це може викликати евтрофікацію водойм, що спричинює надмірний ріст водоростей та деградацію екосистем.

Температурний режим виробництва біогазу також впливає на навколишнє середовище. Термофільні процеси, хоча й ефективні для виробництва біогазу, вимагають додаткових енерговитрат, що може збільшувати споживання енергії з неекологічних джерел, якщо цей аспект не буде належним чином оптимізовано.

Для детальшого розгляду впливу біогазу на навколишнє середовище можна сфокусуватися на викидах сірководню (H_2S) під час процесу виробництва біогазу. Сірководень є токсичним газом, який має значний вплив на якість повітря і може спричинити утворення кислотних дощів. Невідфільтрований сірководень підвищує ризик забруднення довкілля, тому контроль його концентрації є важливою складовою екологічної безпеки.

Кількість сірководню в біогазі залежить від складу сировини, з якої виробляється біогаз, а також від умов анаеробного збродження. В середньому, для органічної сировини концентрація сірководню становить приблизно 1-2% від загального обсягу біогазу.

Визначення кількості H_2S у складі біогазу, який виробляється з певної маси сировини. Використовуємо загальну формулу для обчислення маси газу:

$$m = V_b \times C_c \times \rho_c \quad (1)$$

Де m - маса H_2S , кг; V_b - обсяг виробленого біогазу ($1000m^3$); C_c - концентрація сірководню в біогазі, частка від обсягу (0.01 - 0.02); ρ_c - густина сірководню при стандартних умовах ($1.539 \text{ кг}/m^3$).

Якщо обсяг виробленого біогазу становить 1000 м^3 , а концентрація сірководню 0.015 , то маса H_2S буде:

$$m = 1000 \times 0.015 \times 1.539 = 23.085 \text{ кг}$$

Отже, 1000 м^3 біогазу містить 23.085 кг сірководню.

Ефективність очищення залежить від системи, і в середньому вона становить близько 95% . Розрахунок кількості сірководню, який залишається після фільтрації, здійснюється за формулою:

$$m_3 = m \times (1 - \eta) \quad (2)$$

m_3 - сірководень, який залишається після фільтрації, кг; η - ефективність очищення ($\eta=0.95$).

$$m_3 = 23.085 \times (1 - 0.95) = 1.154 \text{ кг}$$

Отже, після очищення залишається 1.154 кг сірководню, що становить значно менший ризик для довкілля.

Після фільтрації сірководень все одно може вивільнитися в атмосферу, і важливо оцінити, як це впливає на довкілля. Гранично допустима концентрація (ГДК) H_2S у повітрі становить приблизно 0.008 мг/м^3 . Використовуючи формулу для розрахунку концентрації H_2S у повітрі в залежності від об'єму викиду, можна оцінити вплив на якість повітря:

$$C_{\text{п}} = m_3 / V_{\text{п}} \quad (3)$$

Де $C_{\text{п}}$ - концентрації H_2S у повітрі, мг/м^3 ; $V_{\text{п}}$ - об'єм повітря, в якому розсіюється сірководень (10000 м^3).

$$C_{\text{п}} = 1.154/10000 = 0.1154 \text{ мг/м}^3$$

Висновок: Концентрація сірководню в повітрі після очищення, яка становить 0.1154 мг/м^3 , не перевищує допустимі норми для робочих зон ГДК 10 мг/м^3 . Проте це значення значно перевищує ГДК для житлових зон, яка становить 0.008 мг/м^3 . Таким чином, для використання біогазових установок у житлових районах потрібне додаткове очищення або збільшення об'єму розсіювання в атмосферу, щоб знизити рівень H_2S до прийнятних норм.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного аналізу з'ясували, що Україна володіє значним потенціалом для розвитку біоенергетики завдяки великій площі земельних ресурсів та сприятливим кліматичним умовам, в умовах потепління клімату ці переваги можуть бути навіть більш вираженими, що сприятиме довгостроковій перспективі вирощування енергетичних культур. Вирощування біоенергетичних культур, таких як енергетична верба, міскантус чи кукурудза, дозволяє не лише отримувати екологічно чисту енергію, а й знижувати залежність від викопного палива, що є стратегічно важливим для країни, це особливо важливо у світлі сучасних викликів, зокрема енергетичних криз.

Використання маргінальних земель для вирощування біоенергетичних культур зменшує конкуренцію з продовольчими культурами, а також сприяє відновленню деградованих ґрунтів, що покращує екологічний стан окремих регіонів, використання технологій рекультивації з одночасним висаджуванням енергетичних культур може стати одним із методів відновлення українських чорноземів.

Такі види твердого палива, як пелети і брикети з деревини, соняшникового лушпиння, аграрної сировини, мають високі енергетичні показники 3500 - 5400 ккал/кг, низький рівень зольності 0,7 - 4%, та екологічну перевагу перед викопними паливами. Брикети також виділяються зручністю транспортування, тривалим зберіганням та широким застосуванням у промислових і побутових системах опалення.

Збільшення показника ВДЕ від 14% на міжнародному ринку відкривають для України значні експортні можливості зокрема у країнах Європи, які активно впроваджують зелені енергетичні стратегії. Внутрішній ринок біопалива України має значний потенціал, який реалізується через інвестиції в інфраструктуру та популяризацію біоенергетики серед населення. Розвиток біоенергетики призведе до енергетичної незалежності, зменшенню викидів парникових газів, що відповідає глобальним цілям сталого розвитку, а також створить нові робочі місця.

Україна має всі передумови для перетворення біоенергетики на один із ключових елементів енергетичного сектору. Розвиток біоенергетики вимагає вдосконалення нормативно-правової бази, залучення інвестицій та створення сприятливих умов для фермерів і підприємств державою.

Потенціал біоенергетики в Україні є кроком до сталого розвитку держави. Вирішення екологічних, економічних та енергетичних викликів через розвиток цієї галузі формує фундамент для стабільного майбутнього, в якому ресурси використовуються ефективно, а енергія є доступною, чистою та безпечною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Розвиток біоенергетики в Україні та її вплив на декарбонізацію вітчизняної економіки. Вісник Малинського фахового коледжу. URL: <https://visnyk.mltk.co.ua/article/view/292082/285261> (дата звернення: 25.11.2024).
2. Електронне наукове фахове видання «Ефективна економіка» С. М. Лутковська, URL: <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/30653.pdf> (дата звернення: 25.11.2024).
3. Концепція розвитку біоенергетики в Україні на період до 2035 року. Біоенергетика. URL: <http://be.bio.gov.ua/article/view/229304> (дата звернення: 25.11.2024).
4. Когенерація KTS. KTS Engineering. URL: <https://www.kts-eng.com/solutions/kogeneraciya/> (дата звернення: 25.11.2024).
5. Проект міжнародної технічної допомоги «Економічна підтримка Східної України». Оцінка загального енергетичного потенціалу біомаси в Україні. URL: https://uabio.org/wp-content/uploads/2023/10/ZHelyezna_Seminar-USAID_03-10-2023.pdf (дата звернення: 25.11.2024).
6. Дорожня карта розвитку біоенергетики в Україні до 2050 року і План дій до 2025 року URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/11/Zvit-D5.-Dorozhnya-karta-rozvytku-bioenergetyky-v-Ukrayini-do-2050-roku-i-Plan-dij-do-2025.pdf> (дата звернення: 25.11.2024).
7. Теплотворна здатність: визначення та застосування URL: <https://www.viessmann.ua/uk/porady/tekhnohhiya-i-systemy/teplotvorna-zdatnist.html> (дата звернення: 25.11.2024).
8. Блог «Біоенергобанк» Які фактична ефективність пелет, ККД пелетного палива – як правильно розрахувати БіоЕнергоБанк. URL: <https://bioenergybank.com.ua/uk/efektivnist-peletnogo-paliva/> (дата звернення: 26.11.2024).
9. Посібник, Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Київ 2015 URL: <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/30653.pdf> (дата звернення:

25.11.2024).

10. Біоенергетика. Держенергоефективності України. URL: <https://saee.gov.ua/uk/ae/bioenergy> (дата звернення: 25.11.2024).

11. Національний інститут стратегічних досліджень НІСД. Біоенергетичний потенціал аграрного сектору і промисловості - джерело енергетичної стійкості України. URL: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/bioenerhetychnyy-potentsial-ahrarnoho-sektoru-i-promyslovosti-dzherelo> (дата звернення: 25.11.2024).

12. Технологія виробництва біопалива - виготовлення паливних брикетів, гранул, пелет – Укрбіо. dom.ukr.bio. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/2344/> (дата звернення: 25.11.2024).

13. Використання твердої біомаси як палива на котельних. Володимир Крамар, к.т.н., ТОВ «НТЦ «Біомаса», Біоенергетична асоціація України. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2023/11/4.-Kramar-V.-G.-Vykorystannya-tverdoyi-biomasy-yak-palyva-na-kotelnyh.pdf> (дата звернення: 25.11.2024).

14. Системи перетворення біоенергії. LibreTexts - Ukrayinska. URL: [https://ukrayinska.libretexts.org/Інженерна/Біологічна_інженерія/Вступ_до_інженерії_біосистем_\(Holden_et_al.\)/01:_Енергетичні_системи/1.01:_Системи_перетворення_біоенергії#:~:text=язаний%20з%20генератором.-,Газифікація%20біомаси,біомаси%20для%20отримання%20синтез-газу.](https://ukrayinska.libretexts.org/Інженерна/Біологічна_інженерія/Вступ_до_інженерії_біосистем_(Holden_et_al.)/01:_Енергетичні_системи/1.01:_Системи_перетворення_біоенергії#:~:text=язаний%20з%20генератором.-,Газифікація%20біомаси,біомаси%20для%20отримання%20синтез-газу.) (дата звернення: 25.11.2024).

15. Напрямок зрідження біомаси. LibreTexts - Ukrayinska. URL: [https://ukrayinska.libretexts.org/Інженерна/Біологічна_інженерія/Альтернативні_види_палива_з_джерел_біомаси_\(Toraman\)/08:_Термохімічні_методи_виробництва_біопалива/8.02:_Напрямок_зрідження_біомаси](https://ukrayinska.libretexts.org/Інженерна/Біологічна_інженерія/Альтернативні_види_палива_з_джерел_біомаси_(Toraman)/08:_Термохімічні_методи_виробництва_біопалива/8.02:_Напрямок_зрідження_біомаси) (дата звернення: 25.11.2024).

16. Біодизель – як альтернатива традиційному паливу. Корпач Анатолій Олександрович, к.т.н., професор, Калашник Роман Миколайович, студент, Національний транспортний університет URL: <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/51b5936e-8eab-481b-9630-6ffa143e26b6/content> (дата звернення: 25.11.2024).

17. Біодизель, обладнання біодизеля, ріпаку біодизель, одержання (Київ, Україна). URL: <https://ukrekspo.com.ua/ru/rapsovoe-maslo biodizel.html> (дата звернення: 25.11.2024).
18. Наука і сучасні технології. Аналіз ефективності використання біодизельного палива в двигунах внутрішнього згоряння. В. Дикун, П.І. Полянський URL: <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/3283/1/5048p.pdf> (дата звернення: 25.11.2024).
19. Головний сайт для агрономів. Технологія вирощування ріпаку. Як розкрити потенціал насіння? Superagronom.com. URL: <https://superagronom.com/articles/296-tehnologiya-viroschuvannya-ripaku-vid-a-do-ya-yak-rozkriti-potentsial-nasinnya> (дата звернення: 25.11.2024).
20. Гелетуха Г. Г., Кучерук П. П., Матвеев Ю. Б. Перспективи виробництва та використання біометану в Україні. Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України. 2014. No 11. 42 с.
21. Milbrandt A., Bush B., Melaina M. Biogas and Hydrogen Systems Market Assessment. 25 p. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/63596.pdf> (дата звернення 26.11.2024)
22. Norazwina Zaino. Kinetics of Biogas Production from Banana Stem Waste, Biogas.InTech.2012.P. 395-408.
23. Emmanuel Kweinor Tetteh, Sudesh Rathilal. Kinetics and Nanoparticle Catalytic Enhancement of Biogas Production from Wastewater Using a Magnetized Biochemical Methane Potential (MBMP) System. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4344/10/10/1200> (дата звернення 26.11.2024)
24. Ратушняк Г.С., Лялюк О.Г., Кощев І.А. Біогазові установки з відновлюваними джерелами енергії термо стабілізації процесу ферментації біомаси. Вінниця: ВНТУ, 2017. 110 с
25. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки: монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. 132 с.