

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Факультет технології виробництва і переробки продукції тваринництва,
стандартизації та біотехнології**

Кафедра біотехнології та біоінженерії

Технологія виробництва та переробки сировини АПК для біоенергетики

методичні рекомендації

для виконання лабораторно-практичних та самостійних робіт для здобувачів
другого (магістерського) рівня вищої освіти ОПП «Біотехнології та
біоінженерія» спеціальності G 21 «Біотехнології та біоінженерія» денної
форми здобуття вищої освіти



**Миколаїв
2026**

Друкується за рішенням науково-методичної комісії факультету ТВППТСБ Миколаївського національного аграрного університету від 16.09.2026 р., протокол № 1.

Укладачі:

- О.І. Каратєєва** – канд. с -г. наук, доцентка, доцентка кафедри біотехнології та біоінженерії, Миколаївський національний аграрний університет.
- І.М. Люта** – асистентка кафедри біотехнології та біоінженерії Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

- В. П. Ярошевський** – канд тех. наук, директор ІТІ «Біотехніка» НААН України.
- Л. В. Вахоніна** – канд. фіз.-мат. наук, доцентка, доцентка кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

ЗМІСТ

	Вступ	4
1.	Практична робота № 1. Характеристика сировинної бази	5
2.	Відновлювальні джерела енергії	9
3.	Практична робота № 2. Складання сівозмін для ефективного вирощування біомаси	15
4.	Отримання паливних брикетів та оцінка їх якості	21
5.	Практична робота № 3. Оцінка якості паливних гранул	27
6.	Отримання біодизеля	34
7.	Практична робота № 4. Оцінка якості біодизеля	41
8.	Отримання біоетанолу	45
9.	Практична робота № 5. Оцінка якості біоетанолу	53
10.	Отримання біобутанолу	58
11.	Практична робота № 6. Оцінка якості біобутанолу	61
12.	Отримання біогазу методом анаеробного зброджування органічної сировини	65
13.	Практична робота №7. Визначення якості біологічної сировини для метанового бродіння	69
14.	Практичне використання мікроводоростей	73
15.	Практична робота № 8. Культивування та оцінка ліпідного потенціалу мікроводоростей	77
16.	Нормативно-правова база виробництва альтернативних видів палива	82
	Література	88

ВСТУП

Сучасний розвиток агропромислового комплексу передбачає пошук ефективних шляхів раціонального використання сировинних ресурсів, зниження енергетичної залежності та впровадження екологічно безпечних технологій. Одним із перспективних напрямів є використання сировини рослинного і тваринного походження, а також побічної продукції аграрного виробництва для отримання біопалива та інших видів біоенергії. Це дає змогу не лише забезпечувати додаткові енергетичні ресурси, а й підвищувати комплексність використання сільськогосподарської продукції, зменшувати кількість відходів та негативний вплив виробництва на довкілля.

Дисципліна «Технологія виробництва та переробки сировини АПК для біоенергетики» спрямована на формування у здобувачів вищої освіти системного розуміння технологічних процесів отримання біоенергетичних ресурсів із сільськогосподарської сировини. У процесі вивчення дисципліни здобувачі ознайомлюються з основними видами сировини, її властивостями та вимогами до якості, технологіями заготівлі, зберігання, підготовки та переробки, а також сучасними способами отримання біогазу, біоетанолу, біодизеля, твердого біопалива та інших енергетичних продуктів.

Особливого значення набуває вивчення технологій переробки зернових, олійних, цукрових та інших сільськогосподарських культур, рослинних решток, відходів тваринництва та переробної промисловості. Раціональне використання таких ресурсів сприяє формуванню замкнених виробничих циклів, підвищенню економічної ефективності аграрного виробництва та розвитку відновлюваної енергетики.

Методичні рекомендації розроблено з метою забезпечення здобувачів необхідними теоретичними відомостями та практичними матеріалами для опанування дисципліни. Наведені матеріали спрямовані на розвиток навичок оцінювання властивостей сировини, вибору оптимальних технологічних способів її підготовки та переробки, проведення технологічних розрахунків і визначення ефективності використання аграрної сировини для виробництва біоенергії.

Вивчення дисципліни сприятиме формуванню у майбутніх фахівців технологічного, екологічного та економічного мислення, необхідного для впровадження сучасних біоенергетичних технологій у підприємствах агропромислового комплексу та забезпечення сталого розвитку аграрного виробництва.

Лабораторна робота №1

Тема: Характеристика сировинної бази

МЕТА ЗАНЯТТЯ. Ознайомитися з основними видами сировини агропромислового комплексу, яку використовують для виробництва біоенергії, вивчити її основні фізико-хімічні властивості та визначити придатність різних видів сировини для отримання біопалива.

МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ. Зразки рослинної та тваринної сировини, ваги, лабораторний посуд, сушильна шафа (за наявності), термометр, довідкові матеріали щодо складу та властивостей біомаси.

Теоретичні відомості

Сировинна база біоенергетики агропромислового комплексу представлена широким спектром матеріалів рослинного і тваринного походження. Важливими перевагами такої сировини є її відновлюваність, доступність та можливість використання побічної продукції й відходів сільськогосподарського виробництва.

За походженням сировину для біоенергетики можна поділити на такі основні групи:

1. Рослинна сировина:

- зернові культури та їх відходи;
- солома зернових культур;
- кукурудза та кукурудзяні рештки;
- стебла соняшнику;
- ріпак та інші олійні культури;
- цукровий буряк і побічні продукти його переробки;
- деревна та інша рослинна біомаса.

2. Відходи тваринництва:

- гній великої рогатої худоби;
- свинячий гній;
- пташиний послід;
- інші органічні відходи тваринницьких підприємств.

3. Відходи переробної промисловості:

- висівки;
- жом;
- меляса;
- макуха та шрот;
- відходи овочевої та плодової переробки.

Залежно від властивостей сировина може використовуватися для виробництва різних видів біопалива. Високовологі органічні відходи доцільно використовувати у виробництві біогазу, зернову та цукровмісну сировину –

для отримання біоетанолу, олійні культури та відпрацьовані рослинні олії – для виробництва біодизеля, а сухі рослинні рештки – для виготовлення твердого біопалива (пелет, брикетів) або безпосереднього спалювання.

Основними показниками, які характеризують енергетичну цінність сировини, є вологість, вміст органічної речовини, зольність, вміст вуглеводів, білків і жирів, вихід біогазу та теплота згоряння.

Хід роботи

Завдання 1. Ознайомлення з видами сировини

Ознайомитися із запропонованими зразками сировини та визначити їх походження, основні компоненти та можливий напрям біоенергетичного використання.

Таблиця 1

Характеристика сировини АПК

Вид сировини	Походження	Основні компоненти	Основний вид біопалива	Переваги
Солома пшениці	Рослинне	Целюлоза, геміцелюлоза, лігнін	Пелети, брикети	Доступність, низька вологість
Кукурудзяні рештки	Рослинне	Целюлоза, геміцелюлоза	Тверде паливо, біогаз	Значні обсяги утворення
Стебла соняшнику	Рослинне	Целюлоза, лігнін	Пелети, брикети	Висока доступність
Гній ВРХ	Тваринне	Органічна речовина, вода	Біогаз	Висока вологість, придатність до анаеробного зброджування
Свинячий гній	Тваринне	Органічна речовина, вода	Біогаз	Постійне утворення на фермах
Пташиний послід	Тваринне	Органічна речовина, азотні сполуки	Біогаз	Високий вміст органічних речовин
Соняшникова олія	Рослинне	Тригліцериди	Біодизель	Висока енергетична цінність
Зерно кукурудзи	Рослинне	Крохмаль	Біоетанол	Високий вміст вуглеводів

Завдання 2. Визначення вологості сировини

Вологість є одним із найважливіших показників якості біомаси. Від неї залежить ефективність зберігання, транспортування та подальшої переробки сировини.

Вологість визначають методом висушування:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

де:

W – вологість сировини, %;

m_1 – маса зразка до висушування, г;

m_2 – маса зразка після висушування, г.

Результати записати до таблиці.

Таблиця 2

Вологість досліджуваної сировини

Показник	Сировина	Значення
Маса зразка до висушування, г		
Маса зразка після висушування, г		
Втрата маси, г		
Вологість, %		

Завдання 3. Вибір найбільш доцільного напрямку використання сировини

Для кожного запропонованого виду сировини визначити найбільш перспективний напрям її переробки.

Таблиця 3

Найбільш доцільного напрямку використання сировини

Сировина	Вологість	Основний компонент	Рекомендований напрям переробки
Солома		Целюлоза	
Гній ВРХ		Органічна речовина	
Свинячий гній		Органічна речовина	
Кукурудза		Крохмаль	
Соняшникова олія		Жири	
Меляса		Цукри	

Висновок

У ході лабораторної роботи було розглянуто основні види сировини агропромислового комплексу, придатної для виробництва біоенергії, та визначено особливості її використання. Встановлено, що вибір технології переробки залежить насамперед від походження, вологості та хімічного складу сировини. Рослинні рештки доцільно спрямовувати на виробництво твердого біопалива, органічні відходи тваринництва – на виробництво біогазу, крохмалевмісну та цукровмісну сировину – біоетанолу, а олійну сировину –

біодизеля. Раціональне використання побічної продукції та відходів АПК сприяє отриманню відновлюваної енергії, зменшенню обсягів відходів і підвищенню ефективності аграрного виробництва.

Контрольні питання:

1. Що розуміють під сировинною базою біоенергетики?
2. Які основні види сировини АПК використовують для виробництва біопалива?
3. На які групи поділяють біоенергетичну сировину за походженням?
4. Яка сировина є найбільш придатною для виробництва біогазу?
5. Які види сировини використовують для виробництва біоетанолу?
6. Яка сировина є основною для виробництва біодизеля?
7. Чому вологість є важливим показником якості біомаси?
8. Які рослинні відходи можна використовувати для виробництва твердого біопалива?
9. Які основні показники характеризують енергетичну цінність біомаси?
10. Які переваги має використання відходів АПК у біоенергетиці?
11. Які екологічні аспекти пов'язані з використанням різних видів сировини, і як можна зменшити негативний вплив на навколишнє середовище?
12. Які можливості і виклики пов'язані із використанням відходів та вторинної сировини в виробництві біопалива?
13. Які нові тенденції та перспективи можна спостерігати в розвитку сировинної бази в майбутньому?
14. Які геополітичні аспекти варто враховувати при формуванні сировинної стратегії біоенергетики України?

Лабораторна робота №2

Тема: Відрновлювальні джерела енергії

МЕТА ЗАНЯТТЯ. Ознайомитися з основними видами відрновлювальних джерел енергії, їх характеристиками, принципами використання та перспективами застосування в агропромисловому комплексі. Навчитися визначати переваги й недоліки різних видів відрновлювальної енергетики та обирати доцільні джерела енергії для конкретних виробничих умов.

МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ. Навчальні плакати та схеми енергетичних установок, довідкові матеріали, калькулятор, дані щодо енергетичного потенціалу відрновлювальних джерел енергії.

Теоретичні відомості

Невідрновлювальні джерела енергії – це природні ресурси, які вичерпуються або виробництво яких відбувається з дуже повільною швидкістю в порівнянні з тим, як швидко вони використовуються людством. Ці джерела енергії включають такі ресурси, як вугілля, нафта, природний газ та ядерне паливо.

Основна проблема невідрновлювальних джерел енергії полягає в тому, що їх видобуток та використання призводять до викидів вуглецю та інших забруднюючих речовин, що призводить до змін клімату та інших серйозних проблем для навколишнього середовища. Однак в останні роки акцент робиться на розвитку та переході до відрновлювальних джерел енергії для зменшення залежності від невідрновлювальних та зниження негативного впливу на екологію.

Відрновлювальні джерела енергії – це природні ресурси, які можуть бути використані для виробництва енергії і відрновлюються в природі з великою або нескінченною швидкістю. Ці джерела енергії включають сонячну енергію, вітряну енергію, гідроенергію, біомасу та інші (рис. 1). Використання відрновлювальних джерел енергії спрямоване на зменшення залежності від традиційних, нестійких джерел енергії та мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище, оскільки їхнє використання зазвичай супроводжується меншими викидами вуглецю та іншими забруднюючими речовинами (рис. 2).

Для агропромислового комплексу особливе значення мають сонячна, вітрова та біоенергетика, оскільки сільськогосподарські підприємства мають значні площі, доступ до сонячного випромінювання, можливість використання вітрового потенціалу та постійне утворення органічної сировини.

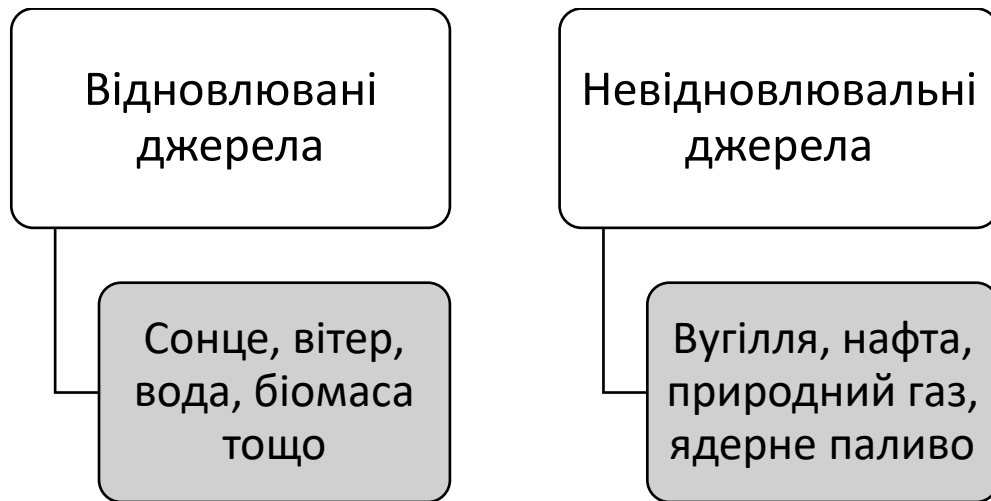


Рис. 1. Схема різних джерел енергії



Рис. 2. Загальне первинне постачання енергії з відновлюваних джерел

Сонячна енергія – це відновлюване джерело енергії, яке отримують із сонячного випромінювання. Воно вважається одним із найпоширеніших і найстійкіших джерел енергії. Сонячна енергія використовується за допомогою фотоелектричних елементів, також відомих як сонячні панелі, які вловлюють сонячне світло та перетворюють його на електрику за допомогою фотоелектричного ефекту. Цей чистий і невичерпний вид енергії можна використовувати для живлення житлових, комерційних і промислових будівель, зменшуючи залежність від невідновлюваних ресурсів, таких як вугілля, нафта та природний газ.

Однією з ключових переваг сонячної енергії є її екологічність, оскільки вона не створює викидів парникових газів під час виробництва електроенергії, що сприяє боротьбі зі зміною клімату та зменшенню забруднення повітря.

Системи сонячної енергії можна розгортати в різних масштабах, від індивідуальних установок на дахах до великих сонячних електростанцій, ефективно використовуючи доступний простір та інфраструктуру. Крім того, прогрес у сонячних технологіях і зниження витрат зробили сонячну енергію все доступнішою та доступною для зростаючої кількості споживачів і компаній.

Енергія вітру – це відновлюване джерело енергії, яке використовує силу вітру для виробництва електроенергії. Ця стійка форма енергії вловлюється за допомогою вітрових турбін, які перетворюють кінетичну енергію вітру в механічну, а потім в електрику. Енергія вітру набула популярності як чиста та екологічно чиста альтернатива традиційному викопному паливу, що сприяє зменшенню викидів парникових газів і боротьбі зі зміною клімату.

Однією з ключових переваг вітрової енергії є її велика кількість, оскільки вітер є безкоштовним ресурсом у багатьох регіонах світу. Вітрові турбіни можна встановлювати як на суші, так і на морі, що робить їх універсальним джерелом енергії для різних географічних місць. Крім того, виробництво вітрової енергії не забруднює повітря чи воду, що робить його привабливим варіантом для сталого виробництва енергії.

Вода є важливим джерелом відновлюваної енергії, що пропонує дві основні форми стійкого виробництва електроенергії: гідроелектроенергію та енергію припливів.

Гідроелектроенергію отримують з енергії текучої води, як правило, за допомогою використання дамб і водосховищ для контролю потоку води та випуску її через турбіни. Потім ця механічна енергія перетворюється в електричну. Гідроелектроенергетика є добре запровадженою та надійною формою відновлюваної енергії, яка забезпечує постійне та стабільне джерело електроенергії. Це також гнучке джерело енергії, оскільки потік води можна регулювати відповідно до змінного попиту.

Енергія припливів, з іншого боку, використовує силу океанських припливів і відпливів для виробництва електроенергії. Системи припливної енергії використовують припливи та відпливи для приводу турбін, подібно до того, як працюють вітрові турбіни. Енергія припливів є передбачуваною та постійною, оскільки припливи мають регулярний характер, що робить її надійним джерелом відновлюваної енергії.

З точки зору відновлюваної енергетики особливий інтерес виявляється до використання мікроводоростей як організмів, здатних запасати сонячну енергію завдяки фотосинтезу, оскільки ефективність перетворення енергії мікроводоростями значно вища, ніж вищими рослинами.

Хід роботи

Завдання 1. Класифікація відновлювальних джерел енергії

Заповнити таблицю, зазначивши основний вид енергії та спосіб її практичного використання.

Таблиця 4

Класифікація відновлювальних джерел енергії

Джерело енергії	Вид енергії	Основне обладнання	Кінцевий продукт
Сонце			
Вітер			
Вода			
Біомаса			
Геотермальне тепло			

Завдання 2. Характеристика основних ВДЕ

Проаналізувати переваги та недоліки основних відновлювальних джерел енергії.

Таблиця 5

Характеристика основних ВДЕ

Джерело	Переваги	Недоліки	Використання в АПК
Сонячна енергія			
Вітрова енергія			
Гідроенергія			
Біомаса			
Геотермальна енергія			

Завдання 3. Визначення енергетичного потенціалу біомаси

Для умовного сільськогосподарського підприємства визначити кількість енергії, яку можна отримати з рослинної біомаси.

Енергетичний потенціал визначають за формулою:

$$E = m \times q$$

де:

E – енергетичний потенціал, МДж;

m – маса біомаси, кг;

q – нижча теплота згоряння, МДж/кг.

Приклад: Підприємство має 1000 кг сухої рослинної біомаси з теплою згоряння 15 МДж/кг: Заповнити таблицю.

Таблиця 6

Енергетичний потенціал біомаси

Вид біомаси	Маса, кг	Теплота згоряння, МДж/кг	Енергетичний потенціал, МДж
Солома	1000	15	
Стебла кукурудзи	1000	14	
Стебла соняшнику	1000	15	
Деревна біомаса	1000	18	

Завдання 4. Вибір відновлювального джерела енергії для підприємства АПК

Умовне господарство має: тваринницьку ферму; значну кількість гною; площі для вирощування сільськогосподарських культур; рослинні рештки після збирання врожаю; потребу в електричній і тепловій енергії.

Необхідно запропонувати найбільш доцільні відновлювальні джерела енергії та обґрунтувати свій вибір. Результати оформити у вигляді таблиці:

Таблиця 7

Вибір відновлювального джерела енергії для підприємства АПК

Джерело	Сировина/ресурс	Обладнання	Отримувана енергія	Доцільність
Сонячна	Сонячне випромінювання	Сонячні панелі	Електрична	
Біогаз	Гній тварин	Біогазова установка	Електрична + тепла	
Тверде біопаливо	Солома, рослинні рештки	Котел	Теплова	
Вітрова	Енергія вітру	Вітротурбіна	Електрична	

Висновок

У ході лабораторної роботи було розглянуто основні види відновлювальних джерел енергії та особливості їх використання. Встановлено, що сонячна, вітрова, гідро-, геотермальна енергія та біомаса можуть використовуватися для отримання електричної і теплової енергії. Для агропромислового комплексу особливо перспективним є використання біомаси та відходів сільськогосподарського виробництва, оскільки це дає можливість одночасно отримувати енергію, утилізувати органічні відходи та підвищувати енергонезалежність підприємств. Рациональне поєднання різних ВДЕ сприяє зменшенню використання викопного палива та підвищенню екологічної й економічної ефективності виробництва.

Контрольні питання:

1. Що таке відновлювальні джерела енергії і чим вони відрізняються від традиційних джерел енергії?

2. Назвіть основні види відновлювальних джерел енергії та наведіть приклади кожного з них.
3. Які переваги мають відновлювальні джерела енергії порівняно з традиційними джерелами?
4. У чому полягає принцип роботи сонячної електростанції?
5. Як використовується енергія вітру?
6. Які види сировини АПК можна використовувати для отримання біоенергії?
7. Що таке біогаз і з якої сировини його отримують?
8. Які переваги використання біомаси як джерела енергії?
9. Які фактори обмежують використання сонячної та вітрової енергії?
10. Які ВДЕ найбільш перспективні для агропромислового комплексу?
11. Яке значення має використання ВДЕ для сталого розвитку сільського господарства?

Лабораторна робота №3

Тема: Складання сівозмін для ефективного вирощування біомаси

МЕТА ЗАНЯТТЯ. Ознайомитися з принципами складання сівозмін для вирощування енергетичних культур, визначити роль попередників у формуванні врожайності біомаси, навчитися підбирати культури та складати раціональну структуру сівозміни для забезпечення стабільного отримання рослинної сировини для біоенергетики.

МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ. Плани сівозмін, довідкові матеріали щодо біологічних особливостей сільськогосподарських та енергетичних культур, дані про врожайність культур, калькулятор.

Теоретичні відомості

Сівозмiна – це науково обґрунтоване чергування сільськогосподарських культур у часі й на території або тільки в часі. Чергування в часі – це щорічна або періодична зміна культур на конкретно взятому полі. Чергування на території означає, що земельний масив сівозміни поділений на поля, де щороку (почергово) вирощуються культури. На кожному полі вони чергуються в часі. Послідовність чергування посівів культур звичайно дають у вигляді їх переліку, так званою схемою сівозміни. Частина сівозміни, що представляє поєднання двох-трьох різнорідних культур, називається ланкою сівозміни.

Теоретичною основою побудови сівозмін є плодозміна, тобто щорічна або періодична зміна культур у полях сівозміни, що різняться між собою біологічними властивостями й агротехнікою вирощування. Чергування культур позитивно впливає на водний і поживний режими, мікробіологічні процеси та фітосанітарний стан ґрунту, а в поєднанні з добривами та іншими засобами підвищує його родючість.

Хімічні основи чергування культур у сівозміні – це вплив правильного чергування на умови живлення рослин. Сільськогосподарські рослини з врожаєм виносять з ґрунту різну кількість елементів живлення, тому тривале на одному місці вирощування або вирощування подібних за поглинанням певних елементів культур веде до однобічного збіднення ґрунту на певні елементи і, як результат, до зниження врожайності. Наприклад, після соняшника, який з врожаєм виносить особливо багато калію, не можна садити картоплю, яка теж потребує багато калію. Також до хімічних основ відноситься такі явища, як збагачення ґрунту азотом бобовими рослинами, переведення важкодоступних форм фосфатів у доступні зернобобовими та гречкою. Чергування культур також запобігає зміні рН ґрунту.

Фізичні причини – це вплив сівозміни на структуру, фізичні властивості й вологість ґрунту. Наприклад, багаторічні трави покращують структуру та

фізичні властивості ґрунту, про сапні – меншою мірою, а то і навпаки. Сильно висушують ґрунт люцерна, цукрові буряки, ку курудза.

Біологічні причини обумовлені сильними спалахами хвороб і великою кількістю шкідників, які pojawiaються при повторних посівах деяких культур.

Економічні причини чергування полягають у науковому обґрунтуванні структури посівних площ, яку розробляють відповідно з необхідністю вирощування тих чи інших культур, природних умов (клімат, ґрунт, рельєф) і біологічних особливостей рослин.

За використанням визначають типи сівозміні:

- польові (вирощують переважно польові зернові й технічні культури, на долю яких у цих сівозмінах припадає понад 50% усієї площі);
- кормові (вирощують переважно кормові культури, до таких сівозмін відносяться при фермські та лукопасовищні сівозміни);
- спеціальні (вирощують переважно певні специфічні культури, які не доцільно вирощувати в польових сівозмінах – овочеві, рисові, льонові, а також ґрунтозахисні).

Різні культури неоднаково реагують на беззмінне їх вирощування. За реакцією на сівозміну (чергування) їх можна розділити на: **дуже чутливі** (льон, буряки цукрові, соняшник, горох, люпин жовтий, просо, конюшина), **середньо-чутливі** (одні краще переносять - озимі зернові, другі гірше – ярі зернові, кукурудза, гречка), **малочутливі** (картопля, коноплі, тютюн, рис, бавовник) та **несумісні** (недоцільно або неможливо розміщувати одну після другої в сівозміні через біологічні особливості, наявність спільних хвороб та шкідників). Наприклад, недоцільне послідовне вирощування різних бобових культур, розміщення пшениці після ячменю, вівса – після ячменю, і навпаки, буряків – після ріпаку і вівса тощо.

Впровадження та освоєння сівозміни включає ряд послідовних етапів, таких як встановлення схеми чергування культур і ротаційної таблиці сівозміни, розробка системи обробітку і удобрення ґрунту, складання і здійснення плану переходу до впроваджуваної сівозміни.

План переходу до сівозміни повинен відповідати ряду вимог: враховувати правильність чергування культур; не зумовлювати зниження кількості продукції; провідні культури повинні висіватись після кращих попередників; за потреби забур'янені поля відводити під пар; на одному полі висівати одну культуру, що важливо для використання техніки і підготовки поля до включення в нову сівозміну; перехідний період повинен тривати не більше 2-3 років.

Принципи побудови сівозмін:

1. раціональне використання всіх сільськогосподарських угідь з тим, щоб з кожної ділянки поля відповідно до її родючості можна було

отримати максимальну кількість сільськогосподарської продукції при мінімальних затратах праці й засобів;

2. узгодження сукупності сівозмін у господарстві із структурою посівних площ;

3. правильне розміщення провідних культур після найцінніших попередників з урахуванням дії попередника не тільки на основну культуру, але й на подальші;

4. необхідність реакції окремих культур на беззмінність їх посівів;

5. необхідність урахування сприйнятливості культур до певного виду бур'янів, до шкідників і хвороб;

6. необхідність уникати посіву просапних культур після просапних, оскільки це веде до сильного невинного розпушування ґрунту й посилення ерозійних процесів; дотримання однакової величини полів певної сівозміни, оскільки велика різниця в їх розмірах призведе до порушення структури посівних площ щорічно і, нарешті, до ломки сівозмін;

7. розміщення кожної культури по можливості в одному полі сівозміни.

8. гнучкість сівозміни, щоб при необхідності можна було змінити склад і чергування культур.

З метою ефективного вирощування біосировини для виробництва біологічних видів палив у сучасних сільських господарствах розроблено і пропонується один із багатьох варіантів схем науковообґрунтованих сівозмін (рис. 3).

За такої побудови сівозміни, перш за все, виконують основну біологічну функцію – фітосанітарну і дозволяють максимально зменшити обсяги застосовуваних хімічних засобів захисту рослин. Тривалість ротації сівозміни залежить від культури, яка має найдовший період повернення на попереднє місце вирощування. Врахування цієї вимоги дає змогу вирощувати культуру на максимально можливій площі. Тому дотримання сівозмін залишається одним з обов'язкових чинників, що забезпечує найраціональніше використання орних земель, матеріальних і трудових ресурсів.

Роки використання										
№ Поля	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз. ячмінь	Соя, горох	Оз. ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза
2	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз. ячмінь	Соя, горох	Оз. ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця
3	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз.ячмінь	Соя, горох	Оз. ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк
4	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз.ячмінь	Соя, горох	Оз. ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь
5	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз. ячмінь	Соя, горох	Оз. ріпак	Озима пшениця
6	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз. ячмінь	Соя, горох	Оз. ріпак
7	Оз. ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз. ячмінь	Соя, горох
8	Соя, горох	Оз. ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз. ячмінь
9	Оз.ячмінь	Соя, горох	Оз. ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі
10	Соняшн, ярі	Оз.ячмінь	Соя, горох	Оз. ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн

Рис. 3. Схема науково обґрунтованих сівозмін для вирощування біосировини

Хід роботи

Завдання 1. Визначення культур для вирощування біомаси

Визначити основні культури, які можуть використовуватися як сировина для біоенергетики, та встановити вид біопалива, для виробництва якого вони придатні.

Таблиця 8

Вибір культур для вирощування біомаси

Культура	Основна сировина	Напрямок використання
Кукурудза	Зерно, стебла	Біогаз, біоетанол, тверде біопаливо
Сорго	Стебла, зерно	Біогаз, біоетанол, тверде біопаливо
Соняшник	Насіння, стебла	Біодизель, тверде біопаливо
Ріпак	Насіння	Біодизель
Пшениця	Зерно, солома	Біоетанол, тверде біопаливо
Цукрові буряки	Коренеплоди, жом	Біоетанол, біогаз
Багаторічні трави	Зелена маса	Біогаз, тверде біопаливо

Завдання 2. Встановлення впливу попередників

Проаналізувати, як попередня культура може впливати на наступну культуру.

Таблиця 9

Вплив попередників на наступну культуру

Попередник	Наступна культура	Очікуваний вплив
Зернові	Кукурудза	Сприятливий
Бобові	Кукурудза	Дуже сприятливий
Кукурудза	Соняшник	Середній
Зернові	Ріпак	Сприятливий
Бобові	Зернові	Сприятливий
Соняшник	Кукурудза	Менш бажаний

Зробити висновок: найкращими попередниками для багатьох культур є бобові та зернові, оскільки вони дають змогу раціональніше використовувати поживні речовини та розривати цикли розвитку специфічних шкідників і хвороб.

Завдання 3. Складання сівозміни

Для умовного господарства площею 600 га скласти шестипільну сівозміну, орієнтовану на отримання біомаси та біоенергетичної сировини.

Таблиця 10

Складання сівозміни

Поле	Культура	Площа, га	Основне призначення
1	Озима пшениця	100	Зерно, солома
2	Кукурудза	100	Біогаз, біоетанол, біомаса
3	Соняшник	100	Біодизель, стебла
4	Озима пшениця	100	Зерно, солома
5	Соя	100	Зерно, побічна біомаса
6	Кукурудза	100	Біогаз, біоетанол, біомаса

У процесі складання сівозміни необхідно забезпечити чергування культур із різними біологічними особливостями та не допускати надмірної концентрації однієї культури.

Завдання 4. Розрахунок виходу біомаси

Визначити загальний вихід біомаси з поля за формулою:

$$B = S \times Y$$

де:

B – загальний вихід біомаси, т;

S – площа посіву, га;

Y – урожайність біомаси, т/га.

Розрахувати вихід біомаси для запропонованих культур:

Таблиця 11

Вихід біомаси для запропонованих культур

Культура	Площа, га	Урожайність біомаси, т/га	Вихід біомаси, т
Кукурудза	100	40	
Сорго	100	35	
Соняшник	100	15	
Пшениця (солома)	100	5	
Багаторічні трави	100	25	

Висновок

У ході лабораторної роботи було розглянуто принципи складання сівозмін для ефективного вирощування біоенергетичної сировини. Встановлено, що раціональне чергування культур дає змогу підтримувати родючість ґрунту, ефективніше використовувати вологу та поживні речовини, зменшувати поширення хвороб і шкідників та забезпечувати стабільний вихід біомаси. Правильно складана сівозміна повинна поєднувати енергетичні, зернові, бобові та олійні культури, що дозволяє одночасно отримувати біоенергетичну сировину та зберігати продуктивність агроєкосистеми.

Контрольні питання:

1. Що таке сівозміна і які основні цілі її впровадження?
2. Яке значення має сівозміна для вирощування біоенергетичних культур?
3. Які культури є перспективними джерелами біомаси?
4. Які фактори необхідно враховувати під час складання сівозміни?
5. Яке значення мають бобові культури у сівозміні?
6. Чому небажано вирощувати одну культуру на одному полі протягом тривалого часу?
7. Які культури можна використовувати для виробництва біогазу?
8. Які культури є сировиною для виробництва біодизеля?
9. Які рослинні рештки можуть використовуватися як тверде біопаливо?
10. Як визначають загальний вихід біомаси з поля?

Лабораторна робота №4

Тема: Отримання паливних брикетів та оцінка їх якості

МЕТА ЗАНЯТТЯ: Ознайомитись з технологією виробництва паливних брикетів із рослинної біомаси, вивчити основні етапи підготовки сировини та брикетування, визначити основні фізико-механічні показники готових брикетів та оцінити їх якість.

МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ. Рослинна сировина (солома, лушпиння соняшнику, тирса або інші рослинні відходи), лабораторний подрібнювач, ваги, сушильний шафа, сито, прес для брикетування або лабораторний прес, мірний посуд, штангенциркуль, ємність для зберігання зразків.

Теоретичні відомості

Паливні брикети – це тверде біопаливо, отримане шляхом ущільнення подрібненої рослинної сировини під дією механічного тиску. Для їх виробництва можуть використовуватися солома зернових культур, лушпиння соняшнику, стебла кукурудзи, села тирса, подрібнені рослинні рештки та інша суха біомаса.

Основними перевагами паливних брикетів є висока щільність, зручність транспортування та зберігання, стандартизована форма та можливість використання відходів сільськогосподарського виробництва як енергетичного сиру.

Якість брикетів залежить від вологості та фракційного складу сировини, її виду, ступеня подрібнення, температури та тиску пресування.

Технологічний процес отримання брикетів включає такі основні операції: підготовка сировини → очищення → подрібнення → сушіння → дозування → пресування → охолодження → пакування та зберігання.

Для якісного брикетування сировина повинна мати відповідну вологість та рівномірний фракційний склад. Надмірно волога сировина погіршує процес ущільнення та знижує міцність готового продукту. Надмірно сухе сировина також може погіршувати формування брикету (табл. 11).

Таблиця 11

Вимоги до паливних брикетів

Показник	Норми показників		
	вищий сорт	I сорт	II сорт
Вологість, %	до 5	5-10	10-18
Зольність, %	5	5	5
Найнижча питома теплота згорання, МДж/кг	16,7-23,0	14,6-16,7	13,8-14,6
Щільність, кг/м ³ , не менше	950	950	950
Масовий вміст дрібної фракції (частинки розміром менше 25 мм), %, не більше	5	5	5

Під час пресування частинки біомаси ущільнюються, а природні компоненти рослинного сировини, зокрема лігнін, можуть виконувати роль природного зв'язувального компонента. У деяких технологіях додатково використовують крохмаль чи інші безпечні зв'язувальні речовини.

Гранульована біомаса дозволяє значно зменшити витрати на транспортування та зберігання, а також підвищити ефективність технології її спалювання. Натомість, паливні брикети відрізняються від паливних гранул (пелет) за їх геометричними та фізико-механічними характеристиками. Брикети представляють собою щільні шматки, які виробляються з сипкої рослинної сировини за допомогою пресування з використанням зв'язувальних речовин або без них. Найбільш поширена технологія брикетування з відсутністю зв'язувальних речовин, оскільки в цьому випадку отримують екологічно чистий брикет.

Паливні брикети можуть бути різної форми (рис. 4), а вимоги до них представлені в таблиці 1.

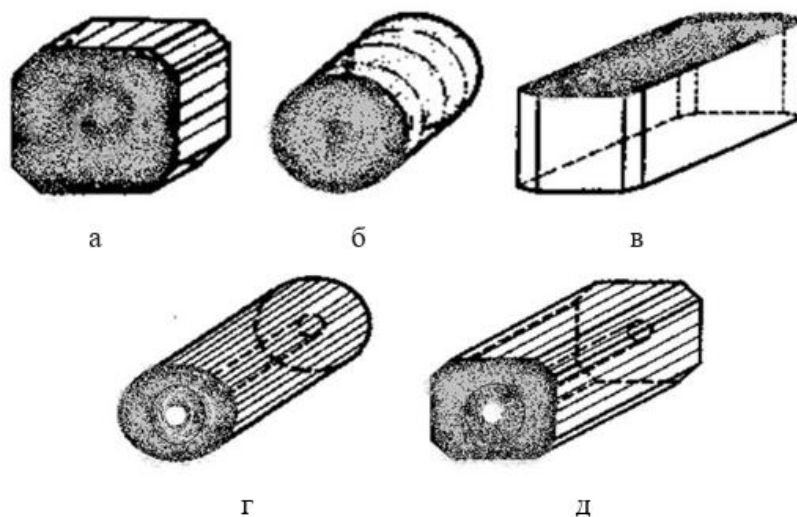


Рис. 4. Форми паливних брикетів

а – багатогранна; б – циліндрична; в – призматична; г – циліндрична з отвором; д – багатогранна з отвором

Технологія гранулювання широко застосовується по всьому світу. Процес виготовлення гранул (пелет) складається з декількох етапів (рис. 5). Спочатку сировина підготовлюється – вимірюється та змішується. Потім за допомогою гвинтового транспортера сировина подається в сепаратор, де вона розділяється на фракції. Крупна фракція направляється на подрібнення, а дрібна – на сушіння. У сепараторі сировина розділяється на три фракції: перша (до 2 мм) – викидається; друга (від 2 до 10 мм) – направляється в барабанну сушарку; третя (від 10 мм) – йде в дробарку (зазвичай молоткову).

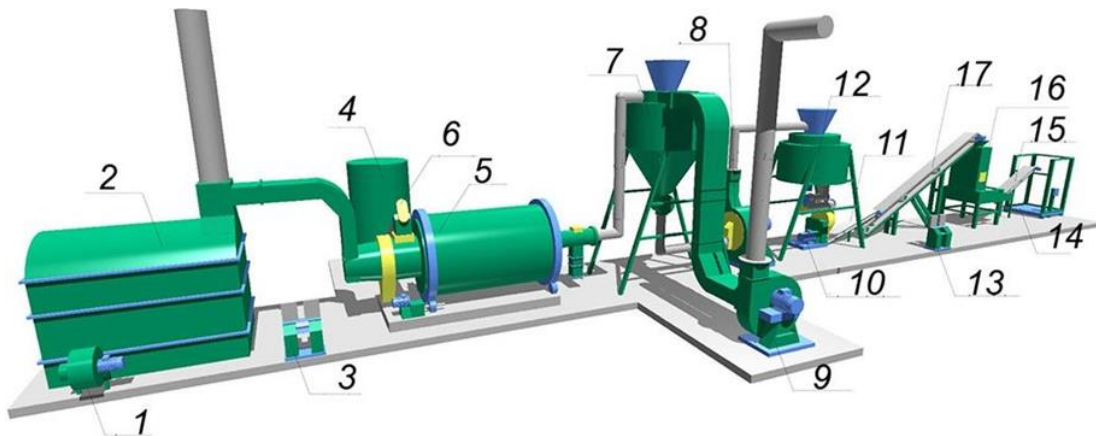


Рис. 5. Лінія виробництва паливних гранул

1 – вентилятор; 2 – теплогенератор; 3, 13 – пульт керування; 4 – завантажувальний бункер; 5 – сушильний барабан; 6, 15, 17 – транспортер; 7 – сепаратор; 8 – молоткова дробарка; 9 – димовсмоктувач; 10 – прес-гранулятор; 11 – подільник пелет; 12 – бункер сухої сировини; 14 – ваги; 16 – камера охолодження

Молоткова дробарка подрібнює великі частинки сировини до розміру частинок не більше 25x25x2 мм. Подрібнена сировина знову направляється у сепаратор. Перед пресуванням сировина повинна мати вологість 8-12%. Сировина підсушується в барабанних або стрічкових сушарках. Потім вона видаляється витяжним вентилятором в циклон. У циклоні суха сировина відокремлюється від гарячого повітря, а через шлюзовий затвор і живильник направляється в бункер сухої сировини. З бункера сировина потрапляє на робочий орган преса-гранулятора, де вона стискається до щільності 1,0-1,2 т/м³ при температурі 160-350°C. Внаслідок обробки тиском і температурою на поверхні отриманого пелету з клітин сировини виділяється природна клейка речовина – лігнін.

Якщо вміст вологи в сировині становить менше 8%, то під час пресування вона не ефективно склеюється. Щоб збільшити сполучні властивості лігніну, який міститься в ній, до сировини додають воду або піддають її обробці паром. Також, якщо сировина виготовлена з деревини твердих порід, обробка паром полегшує її обробку. Для м'яких сортів деревини та хвойних порід, достатньо додати води у змішувач.

Процес пресування деревних відходів та рослинної сировини відбувається у матричних пресах, відомих також як прес-гранулятори.

Після пресування гранули є м'якими, вологими та дуже гарячими, з температурою у межах 90-120°C. Щоб їх можна було транспортувати та зберігати, їх необхідно охолодити й висушити. Процес охолодження гранул займає близько двох годин. Лігнін, знаходячись на поверхні гранул, застигає, утворюючи герметичний шар, що запобігає проникненню вологи і фіксує

гранули, дозволяючи транспортувати паливні гранули на великі відстані без втрати якості.

На деяких виробництвах у технологічній лінії після охолодження проводиться очищення гранул від пилу у циклоні, що значно поліпшує зовнішній вигляд та якість продукції. Також проводиться відокремлення дрібної фракції гранул у сепараторі. Дрібна фракція гранул повторно направляється у пристрій для виготовлення гранул.

Готові гранули зберігаються вільно або фасуються в паперові мішки (біг-беги) вагою від 500 до 1200 кг або упаковуються по 10–20 кг. Оскільки паливні гранули із рослинної сировини можуть поглинати вологу під час зберігання та транспортування, необхідно уникати контакту з водою, тобто гранули слід зберігати в сухому місці. Це важливо, оскільки волога може спричинити набрякання гранул. Якщо вологість гранул перевищує 30%, вони можуть розпадатися на дрібні частинки. Після зберігання гранули не піддаються сильним навантаженням або тертю.

Хід роботи

Завдання 1. Підготовка сировини

1. Відібрати зразок рослинного сировини.
2. Очистити сировину від сторонніх домішок.
3. Подрібнити її до однорідної фракції.
4. Визначити вологість сировини.
5. За необхідності здійснити підсушування.
6. Зважити необхідну кількість підготовленої сировини.

Результати занести до таблиці.

Таблиця 12

Вимоги до паливних брикетів

Показник	Значення
Вид сировини	
Початкова маса, г	
Маса після сушіння, г	
Вологість, %	
Ступінь подрібнення	

Завдання 2. Отримання паливних брикетів

Підготовлену сировину завантажити у пресувальну форму.

Послідовність роботи:

1. Зважити підготовлену сировину.
2. Завантажити сировину у форму преса.
3. Провести ущільнення під заданим тиском.
4. Витримати матеріал під тиском потрібну годину.
5. Обережно виймати сформований брикет.

6. Залишити брикет для охолодження та стабілізації.
7. Зважити отриманий брикет.
8. Визначити його розміри та зовнішній стан.

Примітка: параметри тиску та тривалості пресування встановлюють відповідно до типу лабораторного обладнання та виду сировини.

Завдання 3. Оцінка фізичних властивостей брикетів

Визначити: масу брикету; довжину; діаметр чи ширину; однорідність структури; наявність тріщин; міцність під час транспортування та переміщення. Результати занести до таблиці.

Таблиця 13

Фізичні показники паливних брикетів

Показник	Результат
Маса брикету, г	
Довжина, мм	
Діаметр/ширина, мм	
Вологість, %	
Наявність тріщин	
Однорідність структури	
Міцність	

Завдання 4. Визначення виходу брикетів

Вихід готового продукту визначають за формулою:

$$B = \frac{m_b}{m_s} \times 100$$

де:

B – вихід брикетів, %;

m_b – маса отриманих брикетів, г;

m_s – маса використаної сировини, м.

Завдання 5. Оцінка якості отриманих брикетів

На основі проведених досліджень зробити комплексну оцінку якості отриманого біопалива.

Таблиця 14

Оцінка якості отриманих брикетів

Показник якості	Отримане значення	Оцінка
Вологість		
Щільність		
Міцність		
Однорідність		
Наявність тріщин		
Форма		
Зручність транспортування		

Якісний паливний брикет повинен мати правильну та стабільну форму, однорідну структуру, достатню механічну міцність, невисоку вологість та незначну кількість поверхневих дефектів. Під час оцінювання також необхідно враховувати зольність, теплоту згоряння та стійкість брикетів до руйнування.

Висновок

У ході лабораторної роботи було вивчено технологію отримання паливних брикетів із рослинної біомаси та проведено оцінку їх основних якісних характеристик. Встановлено, що ефективність брикетування значною мірою залежить від виду та вологості сировини, її фракційного складу, режиму пресування та якості підготовки біомаси. Отримані брикети оцінюють за вологістю, щільністю, механічною міцністю, однорідністю та зовнішнім виглядом. Використання рослинних відходів для виробництва паливних брикетів є перспективним напрямком біоенергетики, оскільки дає змогу перетворювати побічну продукцію АПК на зручне тверде паливо та підвищувати ефективність використання біомаси.

Контрольні запитання

1. Що таке паливні брикети?
2. Яке сировину використовують для їх виробництва?
3. Які основні етапи технології виготовлення паливних брикетів?
4. Чому необхідно подрібнювати сировину перед брикетуванням?
5. Як вологість впливає на якість брикетів?
6. Яку роль відіграє лігнін під час пресування біомаси?
7. Як визначають вихід готових брикетів?
8. Як визначають щільність брикету?
9. Які показники характеризують якість паливних брикетів?
10. Які переваги використання паливних брикетів із відходів АПК?
11. Які фактори впливають на міцність брикетів?
12. Чому необхідно охолоджувати брикети після пресування?

Лабораторна робота №5

Тема: Оцінка якості паливних гранул

МЕТА ЗАНЯТТЯ. Ознайомитися з технологією виробництва паливних гранул із рослинної біомаси, вивчити основні показники їх якості та навчитися визначати вологість, щільність, вихід та фізичні властивості гранул.

МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ. Зразки паливних гранул із деревини, соломи, лушпиння соняшнику або іншої рослинної сировини; лабораторні ваги; сушильний шафа; термометр; штангенциркуль; мірний циліндр; бюкси або металеві ємності; сито; контейнер для зберігання зразків.

Теоретичні відомості

Паливні гранули (пелети) – це вид твердого біопалива, яке отримують шляхом пресування подрібненої рослинної сировини під високим тиском. Сировиною можуть бути дерева тирса, солома, лушпиння соняшнику, стебла кукурудзи, відходи зернопереробки та інш.

Основними етапами виробництва гранул є:

підготовка сировини → очищення → подрібнення → сушіння → дозування → гранулювання → охолодження → просіювання → пакування.

Під час гранулювання частинки сировини ущільнюються. Природним зв'язувальним компонентом виступає лігнін, який під дією температури та тиску сприяє формуванню міцної гранули.

Якість паливних гранул визначається їх фізичними, механічними та паливними характеристиками. Найважливішими є: вологість; щільність; міцність; однорідність гранул; вміст дрібної фракції; зольність; теплота згоряння; наявність тріщин та механічних пошкоджень.

Низька вологість забезпечує краще горіння та підвищує ефективність використання

До якості паливних гранул висувається ряд вимог. Наприклад, якісні пелети – це рівні гранули, без тріщин, блискучі, добре спресовані. Іноді вони містять червоні вставки – коди, що захищають товар від підробок. Неякісні пелети – неоднорідні гранули з тріщинами, розсипаються.

Найбільш важливою паливотехнологічною характеристикою біомаси, яке використовується як тверде біопаливо, є її теплотворна здатність, яка залежить від багатьох чинників: генетичних особливостей енергетичних рослин, впливу навколишнього середовища, умов зберігання, вологості тощо.

Ключовими параметрами, які визначають якість і область застосування паливних пелет і брикетів, є вологість, зольність і механічна міцність. Наявність великої кількості вологи призведе не тільки до того, що доведеться платити за воду, але і до різкого падіння ефективності палива, так як частина енергії витратиться на нагрів і випаровування води. Значна зольність

призведе до необхідності більш частого обслуговування опалювального обладнання та його передчасного зносу. Механічна міцність необхідна, щоб гранула не розсипалася, і могла бути використана в призначених для цього котлах.

Зовнішні ознаки якості деревних гранул:

Поверхня гранул повинна бути гладкою, блискучою, не мати тріщин і здуттів. Це свідчить про їхню міцність.

Розмір частинки (дискретної одиниці) твердого біопалива визначається мінімальним розміром отвору сита, крізь яке проходить зазначена частинка. Пресоване тверде біопаливо з розміром частинки (дискретної одиниці) не більше 25 мм є пелетою, а понад 25 мм – брикетом.

Діаметр. Найчастіше зустрічається 6 і 8 мм, рідше - 4 або 10 мм. Діаметр відіграє значну роль при настроюванні ефективної роботи котлів опалення. Діаметр гранул менше 6 мм та більше 8 мм свідчить про те, що підприємства не займалися виробництвом деревних гранул, а виробляли інші гранульовані продукти.

Довжина гранул обмежується системою всмоктування. Діаметр трубопроводів пневмосистем у Європі не дозволяє всмоктувати гранули довжиною понад 50 мм, проте гранули не повинні бути і нескінченно малими за довжиною.

Питома щільність якісних паливних гранул становить у межах від 1 до 1,4 кг/дм³, і змінюється, залежно від виду сировини, з якої виготовлений кінцевий продукт.

Насипна щільність – це співвідношення між вагою паливних гранул і кількістю займаного простору. При гранулюванні біомаси насипна щільність продукції збільшується зі 100 до 650 кг/м³.

Наприклад, якісні брикети мають насипну щільність не менше 650 кг/м³. Щільність є основним чинником, що визначає механічну міцність, водостійкість і калорійність паливних гранул. Чим щільніші паливні гранули, тим вище показники їх якості. Наприклад, при щільності гранул в межах від 650 до 750 кг/м³ калорійність їх станове від 12 до 14 МДж/кг, а при щільності від 1200 до 1300 кг/м³ – 25-31 МДж/кг.

Колір не має бути сірим – це вказує на тривале лежання сировини, появу грибка та погане зберігання, що для деревини спричиняє втрату енергії. В основному перевагу віддають гранулам світлих відтінків, хоча темні кольори не є ознакою поганої якості, але неякісні гранули, як правило, темного кольору.

Пил. Вміст пилу в паливних гранулах за нормами ONORM M 7135, DIN 51731 і DINplus, прийнятими за кордоном, не повинен перевищувати 2,3%.

Великий вміст пилу може призвести до рекламачії. Це ознака поганої якості. При збереженні гранул в закритих мішках пилу, як правило, менше.

Біопаливні гранули можуть також містити до 20% *допоміжних компонентів* (наприклад, в'язучої речовини), в іншому разі сировину, з якої виготовлено брикет чи пелету, вважають змішаним біопаливом (штучною сумішшю). При цьому зазначають тип добавки (наприклад, крохмаль, кукурудзяне борошно, картопляне борошно, олія, лігнін).

Добавки використовуються як сполучні елементи. Добавки, які змінюють властивості твердого палива, поділяють на органічні та неорганічні. Органічні добавки – зазвичай інша тверда біомаса, а також рослинні олії – впливають на зольність палива, а також його теплоту згоряння, а неорганічні – зазвичай вапняк та каолін – підвищують зольність палива, а також вміст кальцію та кремнію з алюмінієм відповідно.

Хлор є у деревині лише в невеликих кількостях. Низький вміст хлору свідчить про те, що брикети виготовлені з чистої сировини. Високий вміст хлору в димових газах може призвести до корозії металевих поверхонь паливних систем.

Азот. Низький вміст азоту свідчить про те, що паливні брикети були зроблені з екологічно чистої сировини. Високий рівень азоту в димових газах може привести до корозії металевих поверхонь паливних систем.

За вмістом загальної *сірки* в товарній продукції вітчизняні виробники витримують вимоги (менше 0,04 %).

Зольністю називають вміст мінеральних речовин у паливі, що залишаються після повного згоряння усієї горючої маси. Зола є небажаною частиною палива, тому що знижує вміст горючих елементів і ускладнює експлуатацію топкових пристроїв. При проведенні аналізів вміст золи підраховується на суху масу палива. Зольність за ONORM M 7135 і DINplus не повинна перевищувати 0,5% (DIN 5173 дозволяє мати зольність не більше 1,5%).

Нормована європейськими стандартами величина зольності (0,5%) практично недосяжна для вітчизняних виробників, лише проби паливних гранул, виготовлених з тирси хвойних порід, дуба, бука, осики та ін. витримують вимоги стандартів DIN 51731 та DIN plus, та мають значення у межах від 0,33 до 0,9%. На жаль, паливні гранули, виготовлені з лушпиння соняшнику та соломи, мають понаднормові значення зольності, відповідно до 2,6 та до 8%, що і знижує їх показники якості та використання для котелень (тепло- та електростанцій).

Вологість біомаси – це кількісна характеристика, що показує вміст у біомасі вологи. Розрізняють абсолютну і відносну вологість біомаси. Абсолютною вологістю називають відношення маси вологи до маси сухої

сировини. Відносної або робочою вологістю називають відношення маси води до маси вологої сировини.

Вологість впливає на теплотворність біопалива. Низький вміст води гарантує постійну ефективність спалювання. Вологість суттєво впливає на якість паливних гранул, так, при вологості сировини понад 14% зменшується щільність гранул і внаслідок випаровування води в них виникають тріщини, що знижують їх міцність.

Паливні гранули завжди тонуть у воді, і хороші, і погані, позаяк щільність паливних гранул більше 1 кг/дм³. Не є критерієм оцінки запах паливних гранул, за винятком сторонніх запахів, що вказують на застосування хімічних сполучних або неправильного зберігання.

Механічна міцність – це здатність одиниць ущільненого біопалива залишатися цілими, наприклад, після тертя чи під час навантажування, розвантажування та транспортування.

Ще однією характеристикою паливних гранул є *кількість виділеної теплової енергії*. Часто такий показник є основним при формуванні вартості на цей вид палива. Так теплота згорання біопаливних гранул із соломи становить 14,5 МДж/кг, їх зольність – 4%.

Нижча теплота згорання твердого відновлювального палива, відповідно до ДСТУ EN 15359:2018 (EN 15359:2011, IDT) «Тверде відновлювальне паливо. Технічні характеристики та класи», має перевищувати 15 МДж/кг (проте, відповідно до ДСТУ 8358:2015, нижча теплота згорання паливних брикетів з деревинної сировини має бути не менш 14,5 МДж/кг).

Якісні біопаливні брикети можуть бути виготовлені також з водних рослин, зокрема зі злісного бур'яну – ейхорнії (водяного гіacinту). Теплота згорання отриманих біопаливних брикетів становить 26,5 МДж/кг.

Пелети, отримані зі змішаного біопалива: коров'ячого гною, кукурудзяних початків та рисової соломи, а також зв'язуючого (крохмаль з водою), мають теплоту згорання 14,8 МДж/кг, зольність 12,95 %, а також високу механічну міцність.

З огляду на викладене, можна абсолютно впевнено стверджувати, що біомаса стає все більш важливим поновлюваним альтернативним джерелом енергії, який натеper є третім джерелом поновлюваної енергії після енергії вітру й сонця.

Хід роботи

Завдання 1. Визначення зовнішніх характеристик гранул

Відібрати пробу паливних гранул та провести їх візуальну оцінку.

Таблиця 15

Візуальна оцінка паливних гранул

Показник	Характеристика зразка
Колір	
Форма	
Однорідність	
Наявність тріщин	
Наявність сторонніх домішок	
Запах	
Стан поверхні	

Завдання 2. Визначення розмірів гранул

За допомогою штангенциркуля визначити діаметр та довжину 10 гранул. Розрахувати середні значення.

Таблиця 16

Діаметр та довжину паливних гранул

№ гранули	Діаметр, мм	Довжина, мм
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
Середнє		

Завдання 3. Оцінка механічної міцності

Відібрати 10 гранул та перевірити їх стійкість до механічного впливу. Визначити кількість гранул, які зберегли цілісність після випробування.

Масову частку цілих гранул можна визначити:

$$M = \frac{m_1}{m_2} \times 100$$

де:

M – Частка цілих гранул, %;

m_1 – Маса гранул до випробування

m_2 – маса гранул, що зберегли цілісність, р.

Чим вища механічна міцність, тим менші гранули руйнуються під час транспортування, завантаження та зберігання.

Таблиця 17

Частка цілих гранул

Показник	Значення
Маса до випробування, г	
Маса після випробування, г	
Механічна міцність, %	
Кількість пошкоджених гранул	

Завдання 4. Визначення кількості дрібної фракції

Зважити певну кількість гранул, просіяти через сито та повторно зважити залишок.

Масову частку дрібної фракції визначають:

$$D = \frac{m_d}{m} \times 100$$

де:

M – вміст дрібної фракції, %;

m_1 – маса дрібної фракції,

m_2 – загальна маса пробі, р.

Таблиця 18

Масову частку дрібної фракції

Показник	Значення
Маса пробі, г	
Маса дрібної фракції, г	
Дрібна фракція, %	

Завдання 7. Комплексна оцінка якості

На основі отриманих результатів провести загальну оцінку зразка.

Таблиця 19

Комплексна оцінка якості паливних гранул

Показник	Результат	Оцінка
Вологість, %		
Середній діаметр, мм		
Середня довжина, мм		
Щільність, г/см ³		
Механічна міцність, %		
Дрібна фракція, %		
Однорідність		
Наявність тріщин		
Зовнішній вигляд		
Загальна оцінка		

Для повної характеристики паливних гранул у виробничих умовах додатково визначають зольність, теплоту згоряння, вміст основних хімічних елементів та інші показники, передбачені відповідними стандартами.

Завдання для самостійного опрацювання

1. Порівняти якість гранул, виготовлених із соломи, деревини та лушпиння соняшнику.
2. Встановити, як зміна вологості сировини впливає на якість гранул.
3. Визначити, який вид рослинної сировини доцільніше використовувати для виробництва гранул у господарстві.
4. Заповнити таблицю порівняння досліджених зразків.

Таблиця 19

Якість гранул різної сировини

Вид гранул	Вологість, %	Щільність, г/см ³	Міцність, %	Загальна оцінка
Деревні				
Солом'яні				
Із лушпиння				

Висновок

Під час лабораторної роботи студент ознайомився з основними характеристиками паливних гранул як виду твердого біопалива, означивши їх вологість, розміри, щільність, механічну міцність та вміст дрібної фракції. Проведена оцінка дає змогу встановити придатність гранул до транспортування, зберігання та ефективного використання як енергетичного сировини. Якість готового біопалива значною мірою залежить від виду та вологості сировини, ступеня її подрібнення, режимів сушіння та пресування. Використання відходів агропромислового виробництва для виготовлення паливних гранул сприяє раціональному використанню біомаси та підвищенню енергетичної ефективності господарств.

Контрольні питання

1. Які характеристики визначають якість паливних гранул?
2. Як впливає розмір та форма гранул на їхню ефективність?
3. Які переваги та недоліки можуть бути пов'язані з різними розмірами та формами гранул?
4. Яку рослинну сировину використовують для їх виробництва?
5. Які основні етапи технології виробництва гранул?
6. Які фактори впливають на механічну міцність гранул?
7. Чому небажана велика кількість дрібної фракції?
8. Які переваги використання гранул як біопалива?
9. Які показники характеризують якість паливних гранул?
10. Як сировина впливає на теплоту згоряння гранул?
11. Чому потрібно правильно зберігати паливні гранули?

Лабораторна робота №6

Тема: Отримання біодизеля

МЕТА ЗАНЯТТЯ. Ознайомитись з технологією отримання біодизеля з рослинних олій, вивчити основні етапи процесу переестерифікації тригліцеридів та навчитися оцінювати якість отриманого біодизельного палива.

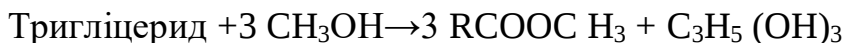
Матеріали та обладнання. Рослинна олія (ріпакова, соняшникова або соєва); метанол або етанол; лужний каталізатор; мірні циліндри; лабораторні ваги; термостійка колба; скляна паличка або магнітна мішалка; водяна баня; ділительна лійка; фільтрувальний папір; термометр; захисні окуляри, рукавички та халат.

Теоретичні відомості

Біодизель – рідке біопаливо, яке отримують переважно з рослинних олій або тваринних жирів шляхом хімічного перетворення тригліцеридів у метилові або етилові естери жирних кислот.

Для виробництва біодизеля можуть використовувати: ріпакову олію; соняшкову олію; соєву олію; інші рослинні олії; тваринні жири; відпрацьовані харчові олії після відповідної підготовки.

Основним технологічним процесом є переестерифікація. Загальна схема реакції:



де:

CH_3OH – метанол;

RCOOC H_3 – метилові естери жирних кислот (біодизель);

$\text{C}_3\text{H}_5 (\text{OH})_3$ – гліцерин.

У реакції використовують лужний каталізатор, найчастіше гідроксид натрію (NaOH) або гідроксид калію (KOH). Основні етапи отримання біодизеля

Очищення олії → підігрівання → приготування алкогольно-каталітичної суміші → переестерифікація → відстоювання → розділення фаз → промивання → сушіння → фільтрування → оцінка якості.

У результаті реакції утворюються дві основні фази:

1. верхня фаза – біодизель;
2. нижня фаза – гліцерин із залишками каталізатора, спирту та інших домішок.

Якість вихідної олії істотно впливає на перебіг процесу та якість готового біопалива. Особливу увагу необхідно приділяти вмісту води та вільних жирних кислот.

Під час виробництва біодизеля використовують наступні методи його отримання:

- циклічна технологія із використанням каталізаторів;

- циклічна технологія із застосуванням розчинників;
- суперкритична технологія;
- багатореакторна безперервна технологія.

Найпростішою технологією отримання метилових ефірів жирних кислот є циклічна, заснована на переестерифікації тригліцеридів рослинної олії метанолом із використанням основних або кислотних каталізаторів (рис. 6).

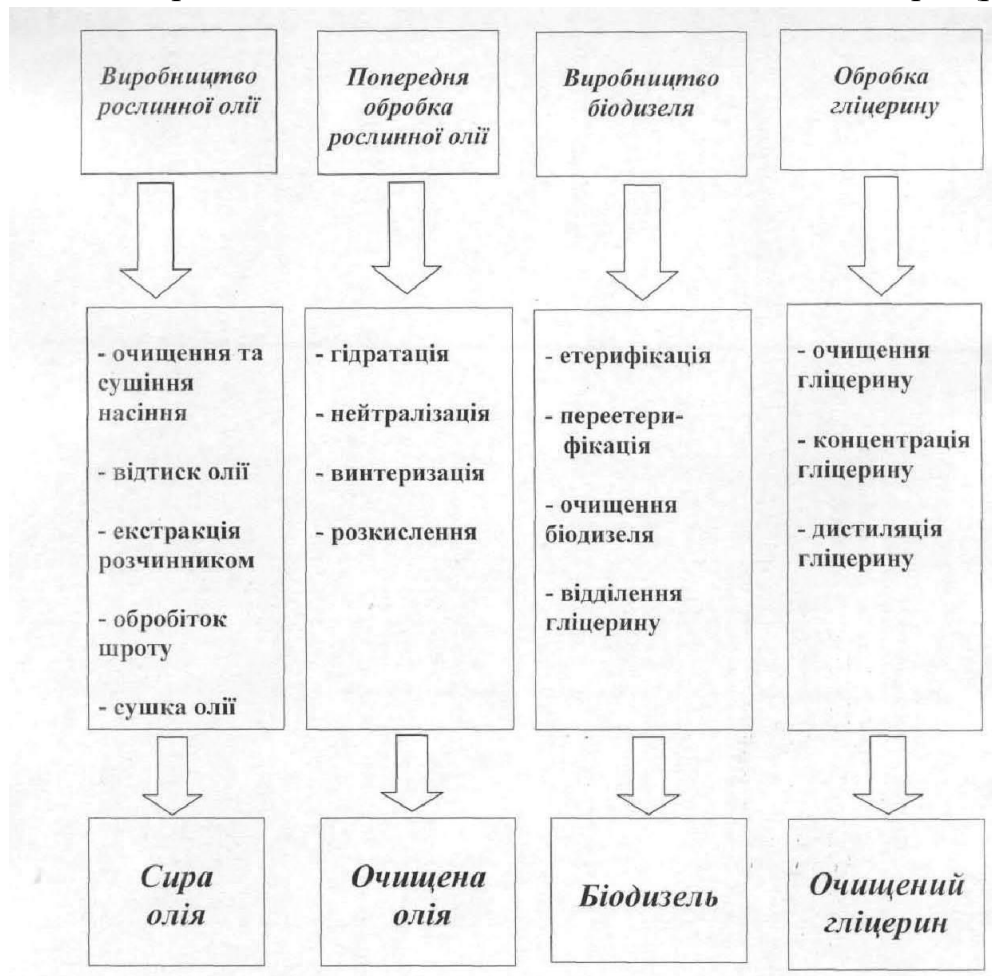


Рис. 6. Загальний технологічний процес виробництва дизельного біопалива

Процес виробництва біодизеля з олії не складний. В очищену від механічних домішок олію додають метиловий спирт і луг (каталізатор). Після нагрівання суміші до 60 С і відстоювання рідина розшаровується на дві фракції: легку і важку. Легка фракція є метиловим ефіром або біодизелем, важка - гліцерин. За своїм молекулярним складом біодизель вельми близький до дизельного палива. Вважається, що з тонни насіння ріпаку можна отримати 300 кг (30%) ріпакової олії, а з цієї кількості олії отримують близько 270 кг біодизеля. Вихід гліцерину при цьому становить понад 10%.

Перевагою технологій із використанням каталізаторів є відносна простота технологічного процесу, а отже, і порівняно низька вартість технологічної лінії.

До недоліків слід віднести невисокий вихід метилового ефіру (85-95%) від загальної маси отриманого біодизельного палива та тривалий час реакції трансетерифікації (від 20 хв. до кількох годин). Ця проста й універсальна технологія не вимагає значних витрат і може застосовуватися при невеликих об'ємах виробництва (450-900 т біодизеля у рік).

Розчинники додають для того, щоб поліпшити розчинність алкоголю у рослинній олії. Однією з таких технологій є так званий Віох-процес. Тут для розчинення метанолу додають тетрагідрофуран. У результаті тривалість реакції скорочується до 5-10 хв. і відпадає необхідність у каталізаторі. Для протікання цієї реакції не потрібна висока температура, достатньо 30 С.

Перевагами технологій із використанням розчинників (рис. 7) вважаються відсутність необхідності в каталізаторі, швидке проходження реакції, відсутність каталізатора і води в кінцевих продуктах (біодизелі і гліцерині), невисока температура для проходження реакції, простота видалення розчинника і метанолу.

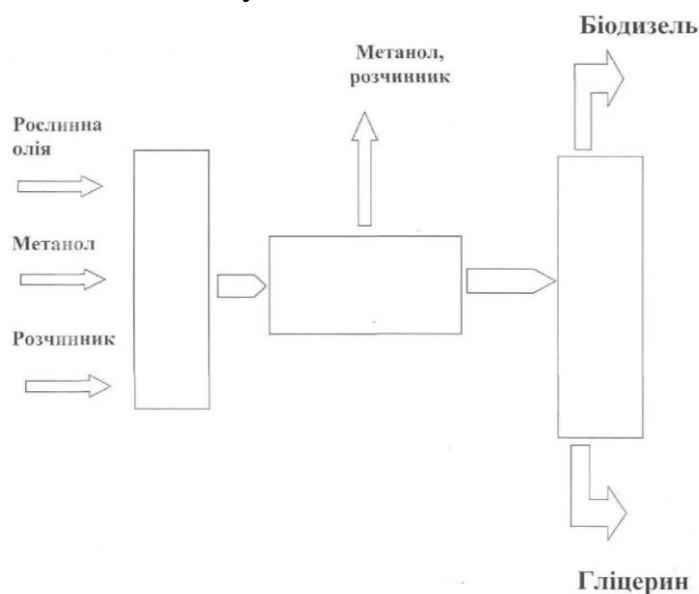


Рис. 7. Схема технології виробництва біодизеля із використанням розчинника (Віох-процес)

До недоліків слід віднести необхідність застосування дорогих розчинників, потребу в додатковому обладнанні для використання розчинника, високу агресивність розчинників по відношенню до атмосферного повітря. Ця технологія розглядається фахівцями як одна з найбільш перспективних для великих об'ємів виробництва (понад 5 тис. т біодизеля у рік). Японськими вченими була розроблена ще одна технологія

отримання біодизеля - так звана надкритична технологія, завдяки якій можна одержати біодизель без каталізаторів, що, з їхньої точки зору, спрощує виробництво біодизеля.

Одним із таких методів є процес переестерифікації ріпакової олії метанолом у надкритичних умовах. Перевагами суперкритичних технологій є дуже швидке проходження реакції (3-5 хв.) та відсутність потреби у використанні каталізатора. Недоліками є необхідність спеціального дорогого обладнання для створення критичних умов та великі енерговитрати. Проте, не дивлячись на цікаві результати дослідів, промислова реалізація цієї технології поки що залишається проблематичною.

За багатореакторної безперервної технології використовується декілька реакторів, об'єднаних у ланцюг, що робить технологічний процес отримання біодизельного палива безперервним. Тому тривалість реакції невелика (від 6 до 10 хв.), а вихід метилового ефіру становить до 98% від загальної маси отриманого біодизельного палива. В той же час цей технологічний процес більш складний і чутливіший до якості вихідної сировини, а відповідно, вимагає дорожчого обладнання технологічної лінії.

Багатореакторну безперервну технологію доцільно застосовувати при великих об'ємах виробництва (понад 5 тис. т біодизеля у рік).

У зв'язку з тим, що в останнім часом урядом досить часто озвучувалися плани будівництва великих заводів із виробництва біодизеля, то для таких підприємств багатьма компаніями пропонуються технології із процесом безперервної трансестерифікації.

Проблемою № 1 при виробництві дизельного біопалива в Україні є відсутність стабільної сировинної бази.

Простий розрахунок показує, що для забезпечення завантаження біодизельного заводу потужністю 60 тис. т в рік необхідно відвести під посів ріпаку не менш як 90 тис. га (при урожайності 2 т/га), що при п'ятипільній сівозміні може становити до 40% всіх угідь будь-якої із Поліських областей.

Однак в Україні за період 1991-2010 років середня урожайність озимого ріпаку сягала 1,15 т/га, а ярого - 0,76 т/га при середній урожайності всього ріпаку 0,96 т/га.

Таким чином, вибір технологій виробництва дизельного біопалива залежить від бажаних об'ємів виробництва, виду вихідної сировини та її якості, способу очищення від спирту та каталізатору. Для невеликих заводів, що використовують вихідну сировину невисокої якості, найбільш прийнятна проста циклічна технологія. Для великих об'ємів виробництва краще підходить багатореакторна безперервна технологія, яка висуває більш суворі вимоги до якості вихідної сировини.

В результаті аналізу матеріалів обстеження сільськогосподарських підприємств, що виробляють дизельне біопаливо (біодизель), встановлено, що основною технологією, яка найбільш часто пропонується і використовується для виробництва дизельного біопалива, є циклічна технологія із використанням каталізаторів.

Хід роботи

Завдання 1. Характеристика вихідної сировини

Дослідити зразок рослинної олії та заповнити таблицю.

Таблиця 20

Характеристика вихідної сировини

Показник	Результат
Вид олії	
Колір	
Запах	
Прозорість	
Наявність механічних домішок	
Наявність осаду	
Орієнтовна якість сировини	

Зробити висновок щодо придатності олії для подальшого отримання біодизеля.

Завдання 2. Підготовка олії

Перед проведенням реакції олію необхідно очистити від механічних домішок шляхом фільтрування. За необхідності олію підсушують для видалення надлишкової вологи. Після очищення визначають її масу. Результат записати до таблиці.

Таблиця 21

Маса олії

Показник	Значення
Маса вихідної олії, г	
Маса після очищення, г	
Втрати під час очищення, г	

Втрати визначають:

$$m_{\text{втр}} = m_1 - m_2$$

де

m_1 — маса олії до очищення,

m_2 — маса після очищення.

Завдання 3. Проведення реакції переетерифікації

1. Відміряти необхідну кількість очищеної рослинної олії.
2. Підігріти олію до робочої температури, встановленої методикою та обладнанням лабораторії.
3. Окремо підготувати спиртово-каталітичну суміш.

4. Додати її до підігрітої олії.
5. Перемішувати реакційну суміш протягом встановленого часу.
6. Після завершення реакції перенести суміш у ділильну лійку.
7. Залишити суміш для відстоювання та розділення фаз.

Таблиця 22

Результати спостереження

Етап	Спостереження
Вихідна олія	
Після додавання реагентів	
Після перемішування	
Після відстоювання	
Верхній шар	
Нижній шар	

Завдання 4. Розділення продуктів реакції

Після відстоювання утворюються два шари. Нижній шар, що містить переважно гліцеринову фазу, обережно відокремлюють. Верхній шар використовують для подальшого очищення біодизеля.

Таблиця 23

Результати дослідження

Фаза	Колір	Консистенція	Орієнтовна характеристика
Верхня			Біодизель
Нижня			Гліцеринова фаза

Завдання 5. Органолептична оцінка біодизеля

Оцінити отриманий продукт за зовнішнім виглядом

Таблиця 24

Результати дослідження

Показник	Характеристика
Колір	
Прозорість	
Запах	
Наявність осаду	
Наявність механічних домішок	
Однорідність	

Якісний продукт після очищення повинен бути однорідним, без значної кількості механічних домішок та видимого осаду.

Завдання 6. Порівняння різних видів сировини

Заповнити таблицю та оцінити перспективність використання різних видів олії.

Таблиця 25

Перспективність використання різних видів олій

Вид олії	Придатність для біодизеля	Очікуваний вихід	Особливості
Ріпакова			
Соняшникова			
Соєва			
Відпрацьована олія			

Висновок

У ході лабораторної роботи студенти ознайомилися з технологією отримання біодизеля з рослинної олії методом переестерифікації. Було розглянуто основні етапи підготовки сировини, проведення реакції, розділення продуктів, очищення та оцінювання отриманого біопалива. Визначено вихід біодизеля та проведено його органолептичну оцінку. Використання рослинних олій і відпрацьованих олій для виробництва біодизеля є одним із напрямів раціонального використання відновлюваної сировини агропромислового комплексу та виробництва альтернативних видів палива.

Контрольні запитання

1. Що таке біодизель?
2. Яку сировину використовують для виробництва біодизеля?
3. У чому полягає процес переестерифікації?
4. Яку роль відіграє спирт у процесі отримання біодизеля?
5. Для чого використовують лужний каталізатор?
6. Які основні продукти утворюються під час реакції?
7. Що таке гліцерінова фаза?
8. Чому необхідно очищати та висушувати рослинну олію перед реакцією?
9. Які фактори впливають на вихід біодизеля?
10. Як визначають вихід біодизеля?
11. Які основні показники характеризують якість біодизеля?
12. Які переваги використання біодизеля як відновлюваного палива?
13. Які недоліки може мати виробництво біодизеля?
14. Чому відпрацьовані харчові олії можуть бути сировиною для біодизеля?
15. Яке значення має біодизель для енергетичної незалежності аграрних підприємств?

Лабораторна робота №7

Тема: Оцінка якості біодизеля

МЕТА ЗАНЯТТЯ. Ознайомитися з основними показниками якості біодизельного палива, навчитися визначати його фізико-хімічні властивості, оцінювати відповідність отриманого біодизеля встановленим вимогам та визначати придатність палива до використання.

Матеріали та обладнання. Зразок біодизеля; лабораторні ваги; мірний циліндр; пікнометр або ареометр; віскозиметр; термометр; сушильна шафа; бюкси; фільтрувальний папір; скляний посуд; обладнання для визначення кислотного числа; секундомір; засоби індивідуального захисту.

Теоретичні відомості

Якість біодизеля залежить від властивостей вихідної сировини та технологічних параметрів її переробки. Недостатнє очищення продукту може призвести до підвищеного вмісту залишкового спирту, каталізатора, мила, гліцерину та води.

Основними показниками якості біодизеля є: зовнішній вигляд; густина; кінематична в'язкість; вміст води; кислотне число; температура спалаху; вміст механічних домішок; вміст вільного та загального гліцерину; вміст метилових естерів; окиснювальна стабільність; цетанове число; температура помутніння та застигання.

Хід роботи

Завдання 1. Органолептична оцінка біодизеля

Дослідити зовнішній вигляд зразка та оцінити його однорідність.

Таблиця 24

Органолептична оцінка біодизеля

Показник	Результат
Колір	
Прозорість	
Запах	
Однорідність	
Наявність осаду	
Наявність механічних домішок	
Наявність води	
Загальна оцінка	

Якісний біодизель повинен бути однорідною рідиною без видимих механічних домішок, значного осаду та розшарування.

Завдання 2. Визначення густини біодизеля

Густина є важливим показником, який характеризує фізичні властивості палива та використовується для контролю його якості.

Густина визначають за формулою:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

де:

ρ – густина біодизеля, г/см³;

m – Маса зразка, г;

V – Об'єм зразка, см³.

Таблиця 25

Густина біодизеля

Показник	Значення
Об'єм зразка, см ³	
Маса зразка, г	
Густина, г/см ³	

Завдання 3. Визначення вмісту води

Наявність надлишкової води в біодизелі негативно впливає на його зберігання, сприяє корозії обладнання та може погіршувати роботу паливної системи. У навчальній роботі орієнтовний вміст вологи можна визначити гравіметричним методом: Зважити суху ємність, після чого внести певну кількість зразка та визначити його масу. Після контрольованого висушування визначити масу. Масову частину води та летких компонентів розраховують:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100$$

де:

W – вологість сировини, %;

m_0 – маса порожньої ємності, г;

m_1 – маса ємності зі зразком до висушування, г;

m_2 – маса ємності зі зразком після висушування, г.

Результати записати до таблиці.

Таблиця 26

Вміст водиу біодизелю

Показник	Значення
Маса порожньої ємності, г	
Маса до висушування, г	
Маса після висушування, г	
Вміст води та летких компонентів, %	

Завдання 4. Комплексна оцінка якості біодизеля

На основі проведених досліджень заповнити підсумкову таблицю.

Таблиця 27

Комплексна оцінка якості біодизеля

Показник якості	Результат дослідження	Оцінка
Зовнішній вигляд		
Колір		
Однорідність		
Наявність осаду		
Густина, г/см ³		
Вміст води, %		
Загальна якість		

Завдання 5. Порівняння біодизеля з вихідною олією

Для кращого розуміння ефективності процесу переестерифікації провести порівняння вихідної олії та отриманого біодизеля.

Таблиця 28

Порівняння біодизеля з вихідною олією

Показник	Рослинна олія	Біодизель
Колір		
Прозорість		
Густина, г/см ³		
В'язкість		
Запах		
Наявність осаду		
Однорідність		

Зробити висновок, які властивості змінилися внаслідок переестерифікації та очищення продукту.

Висновок

У ході лабораторної роботи проведено оцінку основних фізико-хімічних та органолептичних показників якості біодизеля. Визначено зовнішній вигляд, густину, кінематичну в'язкість, вміст води та кислотне число досліджуваного зразка. Розглянуто значення температури спалаху та інших показників для оцінки безпечності та придатності біодизеля до використання.

Якість біодизелю значною мірою залежить від якості вихідної олії, повноти реакції переестерифікації, а також ефективності очищення та сушіння готового продукту. Низький вміст води та домішок, стабільні фізико-хімічні характеристики, належна в'язкість і невисоке кислотне число є важливими ознаками якісного біодизельного палива. Отримані результати використовують для встановлення відповідності біодизеля вимогам нормативної документації та оцінки можливості його практичного застосування.

Контрольні питання:

1. Які фізико-хімічні параметри використовуються для оцінки якості біодизеля?
2. Які є міжнародні стандарти для оцінки якості біодизеля?
3. Що таке коефіцієнт в'язкості та як він впливає на якість біодизеля?
4. Які домішки можуть присутні у біодизелі, і як вони впливають на його якість?
5. Що таке цетанове число і чому воно важливе для якості біодизелю?
6. Чому вміст сірки в біодизелі важливий для його використання?
7. Як вимірюється вміст механічних домішок у біодизельному паливі?
8. Як впливає якість біодизеля на екологічні та технічні характеристики транспортних засобів?

Лабораторна робота №8

Тема: Отримання біоетанолу

МЕТА ЗАНЯТТЯ. Ознайомитись з технологією отримання біоетанолу з рослинної сировини, вивчити основні етапи підготовки сировини, спиртового бродіння та виділення етанолу, а також навчитися визначати вихід та оцінювати якість отриманого продукту.

Матеріали та обладнання. Зерно кукурудзи чи пшениці, подрібнена картопля, сахарна сировина чи меляса; вода; ферментні препарати чи дріжджі; ємності для бродіння; лабораторні ваги; термометр; мірні циліндри; скляні палички; фільтрувальний матеріал; ареометр/спиртомір; рН-метр або індикаторна папір; водяна баня; перегінна установка для лабораторного виділення спирту.

Теоретичні відомості

Біоетанол – етиловий спирт, отриманий із біомаси шляхом біотехнологічної переробки рослинної сировини. Він використовується як компонент моторного палива або як сировина для подальшого виробництва біопалив. Основною сировиною для виробництва біоетанолу є: зерно кукурудзи; пшениця; жито; ячмінь; картопля; цукрові буряки; меляса; інша крохмалевмісна або сахармісна сировина.

Технологічний процес залежить від виду сировини.

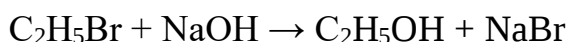
Для сахармісної сировини основний процес – безпосереднє спиртове бродіння цукрів:



Для крохмалевмісної сировини спочатку необхідно провести подрібнення, розварювання та оцукрювання крохмалю, після чого отримані цукри піддають спиртовому бродінню.

Способи одержання етанолу:

1. В лабораторії (інколи і в промисловості) етанол отримують взаємодією галогенопохідних вуглеводів з водним розчином лугу при нагріванні:



2. Гідратація етилену (приєднання води до етилену в присутності металевих каталізаторів):



3. Зброджуванням (ферментацією) – це анаеробний метаболічний розпад молекул природних вуглеводів за допомогою мікроорганізмів.

Загальна технологічна схема:

підготовка сировини → подрібнення → розварювання → оцукрювання → охолодження → внесення дріжджів → бродіння → відділення бражки → перегонка → очищення → оцінка біоетанолу.

Відповідно до виду сировини розрізняють технології отримання біоетанолу із крохмале-, цукро- та целюлозовмісної сировини. Однак всі вони, як правило, включають наступні етапи (рис. 8):

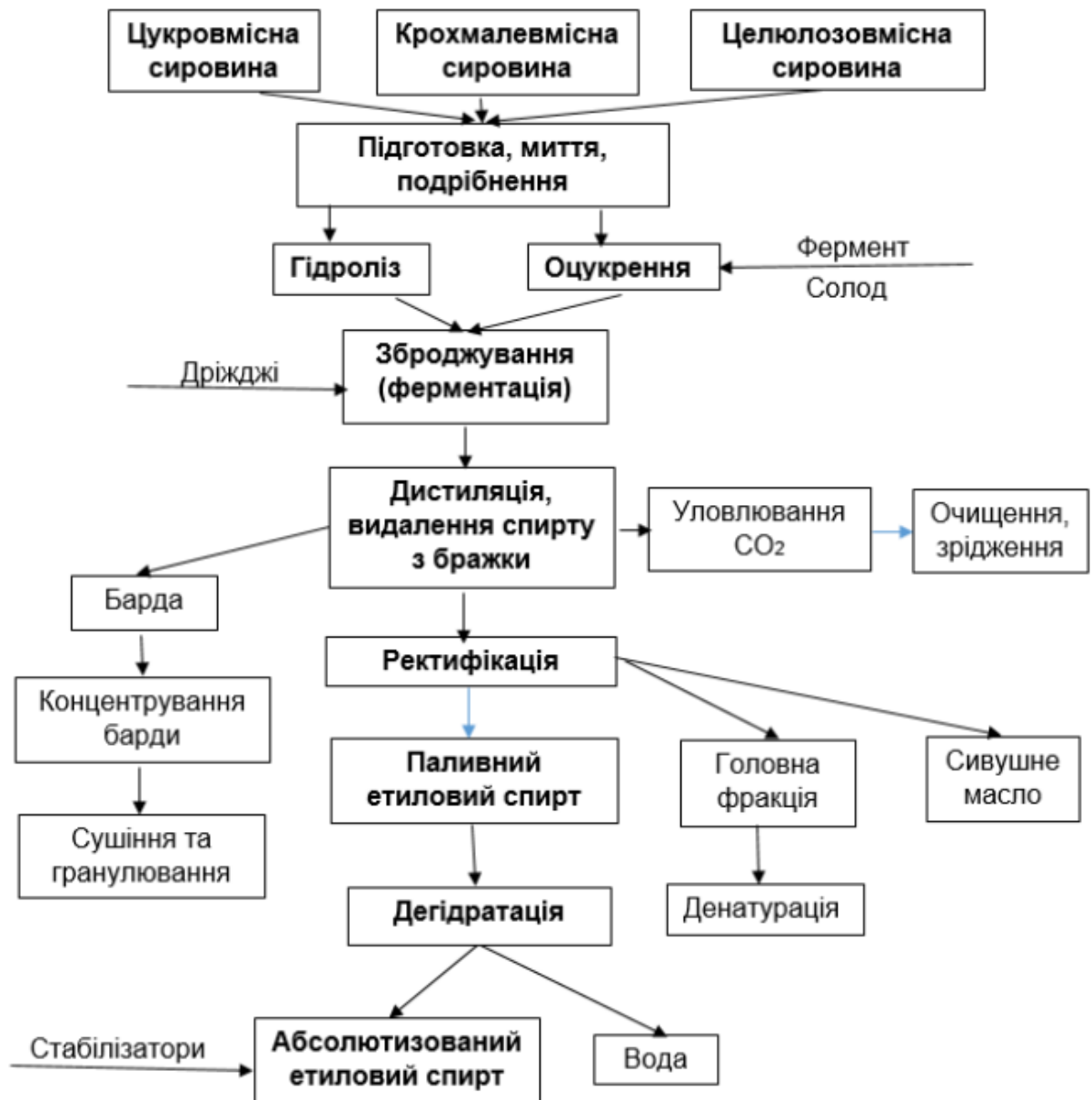


Рис. 8. Загальна технологічна схема виробництва біоетанолу

Основним мікроорганізмом, який використовують для спиртового бродіння, є дріжджі роду *Saccharomyces*, зокрема *Saccharomyces cerevisiae*.

Під час бродіння цукри перетворюються на етиловий спирт та вуглекислий газ. Після завершення бродіння утворюється спиртовмісна бражка, з якої етанол виділяють методом перегонки.

1. Підготовка і подрібнення біологічної сировини – зерна (пшениці, кукурудзи і т.д.) та картоплі. Підготовка крохмалевмісної сировини (зерна) до переробки полягає в відділенні від зерна домішок органічного і мінерального

походження, видаленні квіткових, плодових і частково насінних оболонок шляхом лущення зерна, та подальший помел зерна.

2. Підготовка та перетворення біосировини в субстрат, придатний для ферментації: Якщо біоенанол отримують з дисахаридів або полісахаридів, їх спочатку гідролізують (оцукрюють) до моносахаридів, які придатні для зброджування дріжджами.

Оцукрювання – це процес розщеплення крохмалевмісної сировини (борошна, крупи, картоплі і т. д.) до простих цукрів під впливом природних (із солоду) або штучних (синтетичних) ферментів. В силу температурних особливостей технології перший метод називається гарячим оцукрюванням, другий – холодним.

3. Ферментація. Процес спиртового бродіння грибів з перетворенням однієї молекули глюкози на дві молекули етанолу і дві молекули вуглекислого газу в анаеробних умовах, при температурі 23 – 28 °С, в якому приймають участь дріжджі, які є еукаріотами (домен (надцарство) живих організмів, клітини яких містять ядра) і відносяться до одноклітинних. В результаті спиртового бродіння із сусла утворюється спиртовмісний розчин, який називається брагою, що містить до 10% етанолу. Цукрова або фруктово-ягідна брага бродить приблизно 7-14 днів. Брага на крохмальній сировині визріває швидше – за 2-10 днів.

4. Дистиляція браги. Під дистиляцією (перегонкою) в спиртовому виробництві розуміють процес виділення із браги етанолу разом з усіма леткими речовинами, що в ній містяться. При кипінні браги етиловий спирт, що входить до її складу випаровується інтенсивніше, ніж вода, так як його температура кипіння значно нижча (приблизно 78 °С). Тому в паровій фазі вміст спирту вище, ніж в бразі. Якщо, наприклад, брага мала міцність 12-14 об. %, то пара, а відповідно і конденсат, будуть містити вже близько 50 % спирту. При цьому в результаті перегонки отримують спирт-сирець. Залишок (брага без етанолу) називається бардою.

5. Ректифікація дистиляту. Подальше очищення відбувається в ректифікаційній колоні, де спирт максимально звільняється від води і склад пари наближаються до азеотропної точки, а сам процес називається ректифікацією.

Ректифікація – розділення рідких сумішей, що містять два або декілька компонентів різної питомої ваги, багаторазовим випаровуванням суміші й конденсацією пари, в цьому основна відмінність даного процесу від дистиляції, при якій в результаті однократного циклу випарювання-конденсація досягається лише грубе розділення суміші.

В результаті ректифікації отримують спирт-ректифікат і має максимально досягну при перегонці міцність в 96,5-97%, а загальний вміст домішок у ньому становить не більше декількох десятків міліграмів на літр.

6. Зневоднення біоетанолу. Одержання паливного біоетанолу вимагає додаткового зневоднення продукту. Оскільки внаслідок присутності 4 % води відбуватиметься розшарування спирто-бензинової суміші, для отримання зневодненого етанолу або з вмістом води 0,02% необхідно провести дегідратацію.

Існує декілька методів абсолютування етилового спирту: – азеотропна ректифікація; – адсорбція на молекулярних ситах; – скріплення води твердими або рідкими водопоглинаючими речовинами; – соляна ректифікація; – ректифікація під вакуумом; – мембранне зневоднення.

Біоетанол як альтернативне паливо, безумовно, має багато **переваг** порівняно з традиційним паливом:

- головною екологічною перевагою використання біоетанолу в складі сумішевих бензинів є можливість виключення застосування високотоксичних металовмісних антидетонаційних присадок та метил-трет-бутилового ефіру (МТБЕ).

- значення ККД спиртового двигуна вище бензинового в усьому діапазоні робочих сумішей, завдяки чому питома витрата енергії на одиницю потужності знижується;

- загальна ефективність палива поступово зростає зі збільшенням відсоткового вмісту етанолу в паливі

- біоетанол, порівняно з традиційним бензином, більш екологічно чисте паливо. Він містить багато кисню, який сприяє повнішому згоранню палива. В результаті зменшуються викиди в атмосферу чадного газу, а паливна система не засмічується, на двигуні не утворюється нагар та сажа.

Недоліки використання біоетанолу:

- корозійна активність. Біоетанол агресивно впливає на цинк, латунь, свинець, алюміній, сталь, вкриту сплавом свинцю та олова. Корозія може бути уповільнена або практично зупинена за рахунок введення у середовище інгібіторів. Захисні інгібуючі плівки можуть утворюватися при введенні в етанольно-бензинову суміш амінів, аміноспиртів, деяких кислот та нітросполук.

- фазова нестабільність. Етанол змішується з водою у будь-яких співвідношеннях, але присутність останньої в спиртовмісному бензині є причиною фазового розділення. В реальних умовах зберігання та транспортування бензино-спиртового палива неминуче його обводнення за рахунок потрапляння води в паливо в процесі зберігання, транспортування та експлуатації.

– низька теплота згоряння. Нижча теплота згорання (26 МДж/кг проти 44 МДж/кг для бензину). Тому зменшується потужність двигуна, а витрата палива збільшується;

– більш висока теплота випаровування. Висока теплота випаровування створює великі складнощі при запуску двигуна. Для етанолу нижня межа випаровуваності становить мінус 15 °С. Нижче цієї температури парів палива недостатньо для утворення суміші, яка легко спалахує. Найбільш простим і економічно вигідним для покращення холодного пуску вважається введення в паливо легколетючих компонентів: бутану, ізопентану, газового бензину.

Хід роботи

Завдання 1. Характеристика сировини

Визначити вид використаної сировини та оцінити її придатність для виробництва біоетанолу.

Таблиця 29

Характеристика вихідної сировини

Показник	Результат
Вид сировини	
Походження	
Зовнішній вигляд	
Колір	
Запах	
Вміст крохмалю/цукрів	
Наявність сторонніх домішок	
Придатність для виробництва біоетанолу	

Визначити, до якої групи належить використана сировина:

- сахармісна ;
- крохмалевмісна ;
- лігноцеллюозна .

Зробити висновок щодо необхідності попередньої обробки.

Завдання 2. Підготовка сировини

Для крохмалевмісної сировини

1. Очистити зерно або інше сировину від сторонніх домішок.
2. Зважити необхідну кількість сировини.
3. Подрібнити її до однорідної фракції.
4. Додати воду.
5. Провести теплову обробку відповідно до лабораторної методики.
6. Провести оцукрювання крохмалю ферментним препаратом.

Для сахармісної сировини

Сировину подрібнюють, екстрагують або розчиняють цукри у воді та коригують концентрацію цукрового розчину.

Таблиця 30

Результати підготовки вихідної сировини

Показник	Значення
Маса сировини, г	
Об'єм води, мл	
Маса/об'єм отриманого суслу, г/мл	
pH суслу	
Температура суслу, °C	

Завдання 3. Проведення спиртового бродіння

До підготовленого суслу вносять дріжджі.

Послідовність роботи:

1. Охолодити сусло до температури, придатної для використання використаної культури дріжджів.
2. Внести підготовлені дріжджі.
3. Перемішати сусло.
4. Закрити ферментаційну ємність таким чином, щоб забезпечити відведення вуглекислого газу.
5. Проводити бродіння протягом встановленої методики години.
6. Щоденно контролювати температуру, pH та інтенсивність виділення CO₂.
7. Після завершення бродіння відокремити тверді частинки та дріжджову біомасу.

Таблиця 31

Нагляд

День	Температура, °C	pH	Інтенсивність виділення CO ₂	Інші спостереження
1				
2				
3				
4				
5				

Ознаками активного бродіння є виділення вуглекислого газу, утворення піни, зміна запаху та поступове зменшення концентрації цукрів.

Завдання 4. Виділення біоетанолу

Після завершення бродіння отриману бражку піддають перегонці на лабораторній установці. Під час перегонки етанол концентрується у дистиляті завдяки різниці температур кипіння компонентів суміші.

Послідовність:

1. Профільтрувати або відстояти бражку.
2. Перенести її у перегінну колбу.
3. Провести перегонку на спеціальному лабораторному обладнанні.
4. Зібрати отриманий дистилят.
5. Визначити його об'єм.

6. Визначити концентрацію спирту ареометром/спиртоміром за відповідною методикою.

Таблиця 32

Результати

Показник	Значення
Об'єм бражки, мл	
Об'єм дистиляту, мл	
Температура дистиляту, °C	
Об'ємна частка спирту, % об.	
Колір	
Прозорість	

Розрахунок теоретичного виходу етанолу

Для глюкози теоретичний вихід етанолу визначають за рівнянням:



З 180 г глюкози теоретично утворюється 92 г етанолу

$$m_e = 92/180 = 0,511$$

Якщо ферментоване суслі містить 100 г доступних цукрів:

$$m_e = 100 \times 0,511 = 51,1 \text{ г}$$

Отже, теоретично можна отримати 51,1 г етанолу .

Фактичний вихід завжди може бути нижчим через неповне зброджування цукрів, утворення побічних продуктів та технологічні втрати.

Завдання 5. Визначення фактичного виходу біоетанолу

Фактичний вихід можна визначити шляхом порівняння фактично отриманої кількості етанолу з теоретично розрахованою.

$$B = \frac{m_{\text{факт}}}{m_{\text{теор}}} \times 100$$

де:

B – вихід етанолу, %;

$m_{\text{факт}}$ – фактично отримана маса етанолу;

$m_{\text{теор}}$ – теоретична маса етанолу.

Таблиця 33

Результати

Показник	Значення
Маса доступних цукрів, г	
Теоретичний вихід етанолу, г	
Фактичний вихід етанолу, г	
Вихід від теоретичного, %	

Висновок

У ході лабораторної роботи студенти ознайомилися з технологією отримання біоетанолу з рослинної сировини . Було розглянуто основні етапи підготовки крохмалевмісної та сахармісної сировини, оцукрювання, спиртового бродіння та виділення етанолу методом перегонки.

Визначено основні показники процесу бродіння, розраховано теоретичний та фактичний вихід біоетанолу та проведено оцінку його якості. Встановлено, що ефективність виробництва залежить від виду та якості сировини, концентрації доступних цукрів, умов ферментації, активності дріжджів, повноти зброджування та ефективності виділення етанолу.

Біоетанол є перспективним видом відновлюваного палива, виробництво якого дає змогу використовувати сільськогосподарську сировину та побічні продукти АПК для отримання енергетичних ресурсів.

Контрольні питання:

1. Що таке біоетанол?
2. Яке сировину використовують для його виробництва?
3. Чим відрізняється сахармісна сировина від крохмалевмісної?
4. Яку роль відіграє процес оцукрювання?
5. Які мікроорганізми використовують для спиртового бродіння?
6. Яке рівняння характеризує спиртове бродіння глюкози?
7. Які основні продукти спиртового бродіння?
8. Які фактори впливають на ефективність бродіння?
9. Як визначають завершення процесу бродіння?
10. Навіщо проводять перегонку бражки?
11. Як визначають теоретичний вихід етанолу?
12. Чому фактичний вихід біоетанолу може бути нижчим за теоретичний?
13. Які показники характеризують якість біоетанолу?
14. Чому перед використанням як моторного палива етанолу необхідно очищати та осушувати?
15. Яке значення має виробництво біоетанолу для агропромислового комплексу?
16. Які етапи включає процес виробництва біоетанолу зі сировини рослинного походження?
17. Що таке ферментація та як вона використовується для отримання біоетанолу?
18. Які існують методи дегідратації етилового спирту?
19. Які переваги має використання біоетанолу порівняно з традиційними паливами?
20. Які обмеження існують у виробництві біоетанолу і як їх можна подолати?

Лабораторна робота №9

Тема: Оцінка якості біоетанолу

МЕТА ЗАНЯТТЯ. Ознайомитися з основними показниками якості біоетанолу, навчитися визначати його фізичні та органолептичні властивості, проводити розрахунок масової частки етанолу та оцінювати придатність отриманого продукту для використання як біопалива.

МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ. Зразок біоетанолу; мірний циліндр; лабораторні ваги; ареометр або спиртомір; термометр; пікнометр; бюкси; сушильний шафа; фільтрувальний папір; скляний посуд; рН-метр або універсальна індикаторна папір; засоби індивідуального захисту.

Теоретичні відомості

Якість біоетанолу визначається його фізико-хімічними характеристиками та вмістом небажаних домішок. Для моторного застосування особливе значення мають: об'ємна частка етанолу; вміст води; густина; кислотність; вміст метанолу; вміст вищих спиртів; вміст альдегідів; наявність механічних домішок; електропровідність; стабільність під час зберігання.

Після спиртового бродіння отримують бражку, яка містить етанол, воду, залишкові цукри та побічні продукти. Тому для отримання концентрованого етанолу застосовують перегонку та, за необхідності, додаткове очищення та осушення.

Важливим показником є об'ємна частка етанолу, яку для навчальних цілей можна визначити за допомогою спиртоміру. Показання спиртоміру залежати від температури, тому результат необхідно визначати або коригувати відповідно до температури вимірювання.

Хід роботи

Завдання 1. Органолептична оцінка біоетанолу

Дослідити зовнішній вигляд і заповнити таблицю.

Таблиця 34

Органолептична оцінка біоетанолу

Показник	Результат
Колір	
Прозорість	
Запах	
Однорідність	
Наявність осаду	
Наявність механічних домішок	
Наявність розшарування	
Загальна оцінка	

Якісний очищений біоетанол повинен бути прозračною однорідною рідиною без видимих механічних домішок та осаду.

Завдання 2. Визначення об'ємної частки етанолу

Об'ємну частку етанолу визначають за допомогою спиртоміру або ареометра для спиртових розчинів.

Порядок роботи

1. Налити досліджуваний зразок у сухий мірний циліндр.
2. Виміряти температуру зразка.
3. Обережно занурити спиртомір.
4. Дочекатися припинення колінь приладу.
5. Зняти показання на рівні поверхні рідини.
6. За таблицями для відповідної температури визначити фактичну об'ємну частку етанолу.

Таблиця 35

Об'ємна частка етанолу

Показник	Значення
Температура зразка, °C	
Показання спиртоміра, % об.	
Температурна поправка	
Об'ємна частка етанолу, % об.	

Завдання 3. Визначення густини біоетанолу

Густина є важливою характеристикою біоетанолу та залежить від концентрації етанолу та температури.

Густину визначають за формулою:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

де:

ρ – густина біоетанолу, г/см³;

m – маса зразка, г;

V – об'єм зразка, см³.

Таблиця 36

Густина біоетанолу

Показник	Значення
Об'єм зразка, см ³	
Маса зразка, г	
Температура, °C	
Розрахована густина, г/см ³	

Завдання 4. Визначення вмісту води

Вода є одним із основних компонентів біоетанолу, однак її надлишковий вміст може обмежувати використання продукту як топливного етанолу. У навчальній роботі можна провести орієнтовне гравіметричне визначення

втрати маси під час контрольованого висушування. Масову частину води та летких компонентів розраховують:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

де:

W – масова частка втрати мас, %;

m_1 – маса зразка до висушування, г;

m_2 – маса зразка після висушування, г.

Результати записати до таблиці.

Таблиця 37

Вміст води у біоетанолі

Показник	Значення
Маса зразка до випробування, г	
Маса після випробування, г	
Втрата маси, %	

Завдання 5. Визначення кислотності

Кислотність біоетанолу може бути пов'язана з наявністю органічних кислот та інших кислих домішок, що утворюються під час ферментації або подальшого зберігання.

Орієнтовну кислотність визначають за допомогою рН-метра або універсального індикаторного паперу.

Таблиця 38

Кислотність біоетанолу

Показник	Значення
рН зразка	
Колір індикатора	
Характер середовища	
Оцінка	

Завдання 6. Визначення механічних домішок

Досліджування біоетанол профільтрувати через попередньо зважений фільтрувальний матеріал.

Після фільтрування фільтр оглянути та, по можливості, висушити та повторно зважити.

Таблиця 39

Вміст механічних домішок у біоетанолі

Показник	Значення
Маса сухого фільтра, г	
Маса фільтра після фільтрування та висушування, г	
Маса затриманих домішок, г	
Наявність видимих частинок	

Завдання 7. Комплексна оцінка якості біоетанолу

На основі проведених досліджень заповнити підсумкову таблицю.

Таблиця 40

Комплексна оцінка якості біоетанолу

Показник	Результат	Оцінка
Зовнішній вигляд		
Прозорість		
Об'ємна частка етанолу, % об.		
Густина, г/см ³		
Вміст води, %		
pH		
Механічні домішки		
Наявність осаду		
Загальна оцінка		

Висновок

Під час лабораторної роботи студенти ознайомилися з основними показниками якості біоетанолу та методами їх оцінювання. Було проведено органолептичну оцінку, визначено об'ємну частку етанолу, густину, орієнтовний вміст води, кислотність та наявність механічних домішок.

Встановлено, що якість біоетанолу залежить від виду та якості вихідної сировини, ефективності спиртового бродіння, повноти виділення етанолу та ступеня очищення готового продукту. Висока концентрація етанолу, відсутність механічних домішок, низький вміст небажаних компонентів та стабільні фізико-хімічні властивості є важливими показниками якісного біоетанолу.

Отримані результати дають змогу провести первинну оцінку якості біоетанолу та визначити необхідність його подальшого очищення перед використанням як біопалива.

Контрольні питання:

1. Які основні параметри використовуються для оцінки якості біоетанолу?
2. Які можливі домішки або забруднення можуть зустрічатися в біоетанолі, і як вони можуть впливати на його якість?
3. Яке значення має концентрація етанолу?
4. Чому вміст води є важливим показником якості біоетанолу?
5. Як визначають об'ємну частку етанолу?
6. Чому під час визначення концентрації спирту необхідно враховувати температуру?

7. Що характеризує густина біоетанолу?
8. Які домішки можуть міститися у неочищеному біоетанолі?
9. Чому необхідно контролювати вміст метанолу?
10. Яке значення має кислотність біоетанолу?
11. Чому біоетанол після бродіння потребує очищення?
12. Які показники є найбільш важливими для використання етанолу як моторного палива?
13. Якість вихідної сировини впливає на якість біоетанолу?

Лабораторна робота №10

Тема: Отримання біобутанолу

МЕТА ЗАНЯТТЯ. Ознайомитися з технологією отримання біобутанолу з рослинного сировини, розглянути основні етапи ферментації та навчитися оцінювати вихід продукту.

МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ. Рослинне сировина, що містить крахмаль або цукри (кукурудза, пшениця, меляса тощо), вода, питна среда, культура мікроорганізмів *Clostridium* (готова культура/демонстраційний матеріал), колби, мірний циліндр, ваги, термометр, фільтрувальний матеріал.

Теоретичні відомості

Біобутанол – біопаливо, яке одержують біотехнологічним способом із відновлюваної органічної сировини. Для виробництва можуть використовуватись: кукурудза; пшениця; ячмінь; картопля; цукрова сировина меляса; лігноцеллюозна біомаса після попередньої обробки.

Основним біотехнологічним процесом є *ацетон-бутанол-етанольна* (АВЕ) ферментація. У процесі мікроорганізми роду *Clostridium* перетворюють доступні вуглеводи на суміш органічних продуктів, серед яких основними є бутанол, ацетон та етанол.

Загальна схема виробництва:

рослинна сировина → підготовка → отримання цукрів → ферментація
→ утворення бутанолу → відокремлення продуктів → очищення
біобутанолу.

На відміну від біоетанолу, біобутанол має вищу енергетичну цінність і може характеризуватися кращою сумісністю з традиційними паливами.

Хід роботи

Завдання 1. Характеристика сировини. Вибрати один вид сировини та заповнити таблицю.

Таблиця 41

Оцінка сировини для виготовлення біобутанолу

Показник	Характеристика
Вид сировини	
Основні вуглеводи	
Вміст води, %	
Вміст крохмалю/цукрів, %	
Необхідність попередньої обробки	
Придатність для ферментації	

Завдання 2. Складання технологічної схеми. Скласти схему отримання біобутанолу:

Сировина → _____ → _____ → ферментація → _____
→ очищення біобутанолу.

Вказати призначення кожного етапу.

Завдання 3. Підготовка сировини. Залежно від виду сировини перед ферментацією необхідно забезпечити доступність вуглеводів.

Для крохмалевмісної сировини загальна схема має вигляд:

подрібнення → гідротермічна обробка → розщеплення крохмалю → отримання цукрів.

Для сахармісної сировини достатньо підготувати водний розчин із доступними для мікроорганізмів сахарами.

Записати, яку підготовку необхідно провести для обраної сировини.

Завдання 4. Ферментація. Розглянути процес АВЕ-ферментації.

Основними продуктами процесу є:

Таблиця 42

Продукти ферментації біобутанолу

Продукт	Позначення
Бутанол	C_4H_9OH
Ацетон	C_3H_6O
Етанол	C_2H_5OH

У процесі ферментації необхідно контролювати: температуру; тривалість процесу; доступність питних речовин; кислотність середовища; утворення продуктів ферментації. За навчальними даними заповнити таблицю.

Таблиця 43

Наслідки ферментації біобутанолу

Показник	До ферментації	Після ферментації
Вміст цукрів, г/л		
pH		
Бутанол, г/л		
Ацетон, г/л		
Етанол, г/л		

Завдання 5. Визначення виходу біобутанолу. Вихід біобутанолу визначають за формулою.

$$Y = \frac{m_b}{m_s} \times 100$$

де:

Y – вихід біобутанолу, %;

m_b – отримана маса біобутанолу, г;

m_s – маса використаної сировини, м.

Приклад. Якщо з 1000 г сировини після проведення технологічного процесу отримано 80 г біобутанолу:

$$Y = \frac{80}{1000} \times 100 = 8\%$$

Отже, вихід біобутанолу становить 8% .

Завдання 6. Оцінка отриманого продукту. Описати зовнішні характеристики отриманого продукту або модельного зразка.

Таблиця 44

Зовнішні характеристики отриманого продукту

Показник	Результат
Колір	
Прозорість	
Запах	
Наявність механічних домішок	
Однорідність	

Висновок. У ході лабораторної роботи розглянуто технологічну схему отримання біобутанолу з рослинної сировини. Встановлено, що основою процесу є АВЕ-ферментація вуглеводної сировини мікроорганізмами роду *Clostridium*. Розглянуто підготовку сировини, ферментацію, отримання та очищення біобутанолу, а також визначення його виходу. Показано, що склад і попередня підготовка сировини істотно впливають на ефективність біотехнологічного процесу.

Контрольні запитання

1. Що таке біобутанол?
2. Яку сировину використовують для його виробництва?
3. Що таке АВЕ-ферментація?
4. Які основні продукти утворюються під час АВЕ-ферментації?
5. Які мікроорганізми використовують для отримання біобутанолу?
6. Чому крохмалевмісну сировину необхідно попередньо обробляти?
7. Які етапи включає технологія отримання біобутанолу?
8. Які фактори впливають на ефективність ферментації?
9. Як визначають вихід біобутанолу?
10. Чим біобутанол відрізняється від біоетанолу?
11. Які переваги використання відновлюваної сировини для отримання біобутанолу?
12. Якими методами можна визначити склад і чистоту отриманого біобутанолу?

Лабораторна робота № 11

Тема: Оцінка якості біобутанолу

МЕТА ЗАНЯТТЯ. Ознайомитися з основними показниками якості біобутанолу, навчитися визначати його фізичні властивості та оцінювати придатність продукту для використання як біопалива.

МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ. Зразок біобутанолу, мірний циліндр, лабораторні ваги, термометр, пікнометр або ареометр, фільтрувальний папір, лійка, скляний посуд, рН-метр або індикаторна папір, засоби індивідуального захисту.

Теоретичні відомості

Біобутанол – спирт, отриманий біотехнологічним шляхом із відновлюваної органічної сировини. Для використання як палива важливими є його чистота, вміст води, густина, наявність механічних домішок та інших органічних компонентів.

Основні показники якості біобутанолу: зовнішній вигляд; колір та прозорість; запах; густина; вміст води; наявність механічних домішок; кислотність; вміст основного компонента – бутанолу; вміст побічних продуктів – ацетону, етанолу та інших органічних речовин.

Для точного визначення складу біобутанолу застосовують газову хроматографію. У навчальній лабораторній роботі частину показників можна визначити простими фізичними методами.

Хід роботи

Завдання 1. Органолептична оцінка. Визначити зовнішній вигляд зразка біобутанолу.

Таблиця 45

Органолептична оцінка зразка біобутанолу

Показник	Результат
Колір	
Прозорість	
Однорідність	
Запах	

Висновок: якісний очищений зразок має бути однорідним, без видимих механічних домішок та значного облогу.

Завдання 2. Визначення густини. Густина визначають за формулою:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

де:

ρ – густина, г/см³;

m – маса зразка, г;

V – обсяг зразка, см³.

Приклад. Маса 20 мл біобутанолу становить 16,2 г:

$$\rho = \frac{16,2}{20} = 0,81 \text{ г/см}$$

Отриманий результат записати до таблиці.

Таблиця 45

Густина зразка біобутанолу

Показник	Значення
Об'єм зразка, мл	
Маса зразка, г	
Розрахована густина, г/см ³	

Завдання 3. Визначення вмісту води. Наявність води є важливим показником якості біобутанолу, оскільки її підвищений вміст може негативно впливати на паливні властивості. Для навчальної оцінки можна використати гравіметричний метод.

Масу зразка визначають до та після контрольного висушування:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

де:

W – Втрата маси, %;

m_1 – початкова маса зразка, г;

m_2 – маса після висушування, г.

Для точного визначення саме вмісту води необхідно використовувати стандартизовані методики, оскільки під час висушування можуть випаровуватися й інші леткі компоненти.

Таблиця 46

Вологість біобутанолу

Показник	Значення
Початкова маса, г	
Кінцева маса, г	
Втрата маси, %	

Завдання 4. Визначення механічних домішок.

1. Відміряти певний об'єм зразка.
2. Пропустити його через попередньо зважений фільтрувальний матеріал.
3. Висушити фільтр.
4. Оглянути його та визначити наявність залишку.

Масову частку домішок можна розрахувати:

$$X = \frac{m_d}{m_s} \times 100$$

де:

X – вміст домішок, %;

md – маса сухого залишку, г;

ms – маса досліджуваного зразку, г.

Таблиця 47

Вміст механічних домішок в біобутанолі

Показник	Результат
Маса зразка, г	
Маса залишку, г	
Вміст домішок, %	

Завдання 5. Визначення кислотності. Кислотність біобутанолу може бути пов'язана з наявністю кислотних домішок, які утворюються або залишаються після біотехнологічного процесу. За наявності рН-метра визначити показник кислотності зразка.

Таблиця 48

Кислотність біобутанолу

Зразок	Значення рН
Біобутанол	

Порівняти отримане значення з контрольним або еталонним зразком.

Завдання 6. Оцінка складу біобутанолу. Після АВЕ-ферментації продукт може містити не тільки бутанол, а й інші компоненти.

Таблиця 49

Склад біобутанолу

Компонент	Джерело утворення
Бутанол	Основний продукт ферментації
Ацетон	Побічний продукт АВЕ-ферментації
Етанол	Побічний продукт ферментації
Вода	Середовище ферментації та технологічний процес
Інші домішки	Залишкові компоненти сировини та метаболіти

Завдання 6. Комплексна оцінка якості. Заповнити підсумкову таблицю.

Таблиця 50

Комплексна оцінка якості біобутанолу

Показник	Результат дослідження	Оцінка
Зовнішній вигляд		
Колір		
Прозорість		
Густина, г/см ³		
Вміст води, %		
Механічні домішки, %		
рН		
Вміст бутанолу, %		
Вміст побічних компонентів		

Висновок. У ході лабораторної роботи проведено оцінку основних показників якості біобутанолу. Визначено його зовнішні характеристики, густину, вміст води, механічних домішок та кислотність. Розглянуто можливий склад продукту після АВЕ-ферментації та методи його контролю. Встановлено, що якість біобутанолу залежить від сировини, умов ферментації та ефективності подальшого очищення.

Контрольні питання:

1. Що таке біобутанол?
2. Які основні показники його якості?
3. Чому важливо контролювати вміст води?
4. Як визначають густину біобутанолу?
5. Навіщо визначають механічні домішки?
6. Які побічні продукти можуть міститися у біобутанолі після АВЕ-ферментації?
7. Яким методом можна точно визначити склад біобутанолу?
8. Чому кислотність є важливим показником якості?
9. Які властивості біобутанолу мають значення для його використання як палива?
10. Які фактори можуть впливати на якість біобутанолу?
11. Чому після ферментації необхідне очищення продукту?
12. Які переваги має біобутанол як біопаливо?

Лабораторна робота №12

Тема: Отримання біогазу методом анаеробного зброджування органічної сировини

МЕТА ЗАНЯТТЯ. Ознайомитися з процесом утворення біогазу під час анаеробного зброджування органічної сировини, дослідити вплив виду сировини на вихід газу та навчитися розраховувати кількість отриманого біогазу.

МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ. Органічна сировина (гній, рослинні рештки, харчові відходи), вода, лабораторна ємність із герметичною кришкою, газозбірник або газовий шприц, ваги, мірний циліндр, термометр, рН-метр або індикаторна папір.

Теоретичні відомості

Біогаз – газоподібний продукт мікробіологічного розкладання органічної речовини без доступу до кисню.

Основними компонентами біогазу є: метан (CH_4) – основний горючий компонент; вуглекислий газ (CO_2); водяна пара; невелика кількість інших газів, зокрема сірководню (H_2S).

Основою технології отримання біогазу є *анаеробне зброджування*.

Загальна схема процесу:

органічна сировина → підготовка → завантаження в герметичну ємність → анаеробне зброджування → утворення біогазу → збір та оцінка газу.

У процесі беруть участь різні групи мікроорганізмів. Умовно процес поділяють на чотири основні стадії:

1. **Гідроліз** – складні органічні речовини розщеплюються на простіші сполуки.
2. **Ацидогенез** – утворюються органічні кислоти та інші проміжні продукти.
3. **Ацетогенез** – утворюються сполуки, доступні метаногенним мікроорганізмам.
4. **Метаногенез** – утворюється метан.

Хід роботи

Завдання 1. Характеристика сировини. Вибрати один вид органічної сировини та заповнити таблицю.

Таблиця 51

Характеристика сировини

Показник	Результат
Вид сировини	
Походження	
Вологість, %	
Вміст органічної речовини	
Необхідність подрібнення	
Необхідність змішування з водою	

Для лабораторного досвіду можна порівняти гній, рослинні рештки та харчові відходи.

Завдання 2. Підготовка субстрату. Сировину подрібнюють або гомогенізують, при необхідності змішують із водою та поміщають у герметичну лабораторну ємність.

Записати характеристику підготовленого субстрату:

Колір: _____

Консистенція: _____

Запах: _____

pH: _____

Завдання 3. Проведення анаеробного зброджування. Підготовлений субстрат поміщають у герметичну ємність, залишаючи газовий простір для накопичення біогазу.

У процесі спостереження фіксують: температуру; pH; поява газу; обсяг утвореного біогазу; зміни зовнішнього вигляду субстрату.

Результати занести до таблиці.

Таблиця 51

Анаеробне зброджування

День	Температура, °C	pH	Об'єм біогазу, мл	Спостереження
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Завдання 4. Визначення виходу біогазу. Загальний обсяг отриманого біогазу визначають за показаннями газозбірника:

$$V_6 = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

де:

V_6 – загальний обсяг біогазу, мл або л;

$V_1, V_2, V_3, \dots$ – обсяги газу, отримані в окремі дні.

Приклад. Якщо протягом досвіду отримано: 120 мл; 180 мл; 250 мл; 300 мл;

то:

$$V_6 = 120 + 180 + 250 + 300 = 850 \text{ мл}$$

Отже, загальний вихід біогазу становить 850 мл.

Завдання 5. Пітомий вихід біогазу. Для порівняння різних видів сировини розраховують вихідний вихід:

$$V_{\text{піт}} = \frac{V_6}{m}$$

де:

$V_{\text{піт}}$ – питомий вихід біогазу, л/кг;

V_6 – загальний об'єм біогазу, л;

m – маса використаного сировини, кг.

Приклад. З 2 кг органічної сировини отримано 0,5 л біогазу:

$$V_{\text{піт}} = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ л/кг}$$

Завдання 6. Порівняння різних видів сировини. Заповнити таблицю за результатами досвіду або за наведеними викладачами даними.

Таблиця 52

Порівняння різних видів сировини

Сировина	Маса, кг	Біогаз, л	Питомий вихід, л/кг
Гній			
Рослинні рештки			
Харчові відходи			

Завдання 6. Оцінка якості біогазу. Якість біогазу значною мірою визначається вмістом метану. Для точного визначення складу використовують газову хроматографію чи спеціальні газоаналізатори.

Таблиця 53

Оцінка якості біогазу

Показник	Результат
Метан, %	
Вуглекислий газ, %	
Сірководень, %	
Інші гази, %	

Завдання 7. Оцінка факторів, що впливають на утворення біогазу. Заповнити таблицю.

Таблиця 54

Оцінка Фактори, що впливають на утворення біогазу

Фактор	Вплив на процес
Температура	
pH	
Вологість	
Склад сировини	
Доступ кисню	
Тривалість зброджування	
Розмір частинок сировини	

Висновок. Під час лабораторної роботи було розглянуто процес отримання біогазу шляхом анаеробного зброджування органічної сировини. Досліджено основні етапи процесу, визначено загальний та уживаний вихід біогазу, а також розглянуто його основні компоненти. Встановлено, що кількість і склад біогазу залежать від виду та складу сировини, температури, pH, вологості та тривалості зброджування. Біогаз може використовуватися як відновлюване паливо для виробництва теплової та електричної енергії.

Контрольні питання:

1. Що таке біогаз?
2. Який основний горючий компонент біогазу?
3. Що таке анаеробне зброджування?
4. Які основні стадії утворення біогазу?
5. Які мікроорганізми беруть участь у метаногенезі?
6. Яке сировину використовують для виробництва біогазу?
7. Чому процес необхідно проводити без доступу кислорода?
8. Як визначають загальний вихід біогазу?
9. Що таке вихідний біогаз?
10. Які фактори впливають на утворення біогазу?
11. Чому вміст метану впливає на енергетичну цінність біогазу?
12. Якими методами визначають склад біогазу?
13. Що таке дигестат?
14. Яке практичне значення має виробництво біогазу?

Лабораторна робота №13

Тема: Визначення якості біологічної сировини для метанового бродіння

МЕТА ЗАНЯТТЯ. Ознайомитися з основними видами біологічного сировини для виробництва біогазу, навчитися визначати її основні якісні показники та оцінювати придатність сировини до метанового бродіння.

МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ. Зразки органічної сировини (гній, силос, рослинні рештки, харчові відходи), лабораторні ваги, сушильний шафа, бюкси або металеві чашки, мірний циліндр, рН-метр або універсальний індикаторний папір, сито, лабораторний посуд, калькулятор.

Теоретичні відомості

Біологічна сировина для метанового бродіння – це органічні матеріали, які можуть розкладатися мікроорганізмами без доступу до кисню з утворенням біогазу.

До основних видів сировини належать: гній великої рогатої худоби та свиней; пташиний послід; силос; солома та інші рослинні рештки; відходи харчової промисловості; органічна частина побутових відходів; стічні води та облоги; відходи переробки сільськогосподарської продукції.

Якість сировини значною мірою визначає ефективність метанового бродіння та вихід біогазу.

Основними показниками є: вологість; вміст сухої речовини; вміст органічної сухої речовини; рН; вміст органічних речовин; співвідношення вуглецю та азоту ($C:N$); наявність речовин, що можуть пригнічувати мікроорганізми; ступінь подрібнення та однорідність.

Особливе значення має **органічна суха речовина (ОСР)**, оскільки саме органічна частина субстрату є основним джерелом поживних речовин для мікроорганізмів.

Хід роботи

Завдання 1. Органолептична оцінка сировини. Визначити зовнішні характеристики досліджуваного зразка.

Таблиця 55

Зовнішні характеристики досліджуваного зразка

Показник	Результат
Вид сировини	
Колір	
Запах	
Консистенція	
Однорідність	
Наявність сторонніх домішок	
Наявність великих частинок	

Завдання 2. Визначення вологості. Вологість є одним із важливих показників придатності сировини до метанового бродіння.

Зважити порожню бюксу, потім помістити в неї зразок сировини та визначити масу до і після висушування.

Масову долю вологи розраховують:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100$$

де:

W – вологість сировини, %;

m_0 – маса порожньої бюкси, г;

m_1 – маса бюкси із сирою сировиною, г;

m_2 – маса бюкси із висушеним сировиною, г.

Таблиця 56

Вологість досліджуваного зразка

Показник	Значення
Маса порожньої бюкси, г	
Маса бюкси із сирою сировиною, г	
Маса бюкси після висушування, г	
Вологість, %	

Завдання 3. Визначення вмісту сухої речовини. Масову частину сухої речовини визначають:

$$CP = 100 - W$$

де CP – вміст сухої речовини, %.

Приклад. Якщо вологість сировини становить 75 %:

$$CP = 100 - 75 = 25\%$$

Отже, суха речовина становить 25%.

Завдання 4. Визначення органічної сухої речовини. Органічна суха речовина характеризує ту частину субстрату, яка потенційно може бути використана мікроорганізмами під час метанового бродіння.

Для навчального розрахунку використовують дані про вміст зольного залишку:

$$OSP = CP - A$$

де:

OSP – органічна суха речовина, %;

CP – суха речовина, %;

A – зольність, %.

Таблиця 57

Суха речовина досліджуваного зразка

Показник	Значення
Суха речовина, %	
Зольність, %	
Органічна суха речовина, %	

Завдання 5. Визначення кислотності сировини. Виміряти рН підготовленого водного екстракту сировини за допомогою рН-метра або універсального індикаторного паперу.

Таблиця 58

Кислотність досліджуваного зразка

Зразок	рН
Досліджувана сировина	

рН має важливе значення для життєдіяльності мікроорганізмів, особливо метаногенів. Значне підкислення субстрату може пригнічувати процес утворення метану.

Завдання 6. Оцінка фізичного стану сировини. Визначити розмір частинок та однорідність сировини.

Таблиця 59

Фізичний стан сировини

Показник	Характеристика
Великі частинки	
Середній розмір частинок	
Однорідність	
Наявність сторонніх включень	
Необхідність подрібнення	

Подрібнення рослинної сировини може збільшувати площу контакту з мікроорганізмами та сприяти її швидшому розкладанню.

Висновок. У ході лабораторної роботи було досліджено основні показники якості біологічної сировини для метанового бродіння. Визначено значення вологості, сухої та органічної сухої речовини, рН, співвідношення С :N та фізичного стану субстрату. Встановлено, що якість і попередня підготовка сировини мають важливе значення для ефективності анаеробного зброджування та утворення біогазу. Комплексна оцінка властивостей сировини дає можливість визначити її придатність до використання у виробництві біогазу.

Контрольні запитання

1. Що називають біологічним сировиною для метанового бродіння?
2. Які види органічної сировини використовують для виробництва біогазу?
3. Що таке метанове бродіння?
4. Чому вологість є важливим показником якості сировини?
5. Що таке суха речовина?
6. Що таке органічна суха речовина?

7. Яке значення має рН для метанового бродіння?
8. Що характеризує співвідношення С :N ?
9. Чому надлишок азоту може негативно впливати на процес?
10. Навіщо подрібнюють рослинну сировину?
11. Які сторонні домішки можуть знижувати якість сировини?
12. Від чого залежить вихід біогазу?
13. Чому потрібно використовувати суміші різних видів сировини?
14. Які показники необхідно визначити перед завантаженням сировини до біогазової установки?

Лабораторна робота № 14

Тема: Практичне використання мікроводоростей

МЕТА ЗАНЯТТЯ. Ознайомитися з основними напрямками використання мікроводоростей, дослідити можливості їх застосування у виробництві біопалива, кормових та харчових продуктів, добрив та інших біотехнологічних продуктів.

МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ. Зразки або фотографії культур мікроводоростей, інформаційні таблиці, лабораторний посуд, ваги, мірний циліндр, калькулятор, навчальні матеріали.

Теоретичні відомості

Мікроводорості – мікроскопічні фотосинтезуючі організми, здатні швидко накопичувати біомасу та різні цінні речовини: білки, ліпіди, вуглеводи, пігменти, вітаміни та біологічно активні сполуки.

Основні напрямки використання мікроводоростей: виробництво біопалива; отримання ліпідів для біодизеля; виробництво біометану; використання як кормової добавки; використання у харчовій промисловості; отримання пігментів; виробництво біологічних добрив; очищення стічних вод; поглинання CO₂; одержання біологічно активних речовин.

До найпоширеніших досліджуваних родів належать *Chlorella*, *Spirulina* (ціанобактерія), *Scenedesmus* та *Nannochloropsis*.

Використання мікроводоростей у біоенергетиці. Мікроводорості можуть бути джерелом різних видів біопалива.

Основні напрямки:

Ліпіди → біодизель

Вуглеводи → біоетанол

Органічна біомаса → біогаз

Загальна схема:

культивування → отримання біомаси → відділення біомаси → переробка → отримання біопалива.

Використання мікроводоростей у харчуванні та кормовиробництві. Деякі мікроводорості містять значну кількість білка, амінокислот, вітамінів, мінеральних речовин та пігментів.

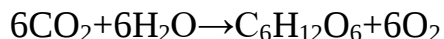
Біомаса мікроводоростей може використовуватись: як білкова добавка; як джерело пігментів; у виробництві функціональних харчових продуктів; як кормова добавка у тваринництві та аквакультурі.

Використання мікроводоростей для очищення води.

Мікроводорості можуть поглинати з водної середовища певну кількість азоту, фосфору та інших речовин, використовуючи їх для зростання.

Тому їх досліджують для: біологічного очищення стічних вод; видалення надлишку питних речовин; одночасного отримання біомаси.

Використання мікробіодоростей для поглинання CO₂. Під час фотосинтезу мікробіодорості використовують вуглекислий газ. Упрощено процес можна представити:



Утворена органічна речовина накопичується у біомасі.

Хід роботи

Завдання 1. Визначення складу біомаси мікробіодоростей. Ознайомитись з основними компонентами біомаси.

Таблиця 60

Склад біомаси мікробіодоростей

Компонент	Значення для використання
Білки	Харчові та кормові продукти
Ліпіди	Сировина для біодизеля
Вуглеводи	Біоетанол та інші біопродукти
Пігменти	Харчова, косметична та фармацевтична промисловість
Мінеральні речовини	Кормові та ґрунтові добавки
Біологічно активні речовини	Фармацевтичні та косметичні продукти

Завдання 2. Використання мікробіодоростей у біоенергетиці. Заповнити таблицю.

Таблиця 61

Використання мікробіодоростей у біоенергетиці

Вид біопалива	Компонент мікробіодоростей	Основний процес
Біодизель	Ліпіди	Перетворення ліпідів на естери
Біоетанол	Вуглеводи	Ферментація
Біогаз	Органічна речовина	Анаеробне зброджування

Завдання 3. Використання мікробіодоростей у харчуванні та кормовиробництві. Заповнити таблицю.

Таблиця 62

Використання мікробіодоростей у харчуванні та кормовиробництві

Напрямок використання	Компонент мікробіодоростей	Приклад продукції
Харчова промисловість		
Кормовиробництво		
Аквакультура		
Косметична промисловість		

Завдання 4. Використання мікроводоростей для очищення води.

Скласти схему:

стічна вода → _____ → поглинання питних речовин → _____
→ отримання біомаси.

Пояснити, у чому полягає перевага такого підходу.

Завдання 5. Використання мікроводоростей для поглинання CO₂.

Вказати основні фактори, що впливають на продуктивність мікроводоростей

Таблиця 64

Використання мікроводоростей для поглинання CO₂

Фактор	Вплив
Освітлення	
Температура	
CO ₂	
pH	
Поживні речовини	

Завдання 6. Порівняння напрямів використання. Заповнити таблицю.

Таблиця 65

Порівняння напрямів використання

Напрямок	Основна сировина/компонент	Отриманий продукт	Практичне значення
Біоенергетика	Ліпіди, вуглеводи, біомаса		
Харчова промисловість	Білки, пігменти		
Кормовиробництво	Білки, мінерали		
Очищення води	Біомаса		
Поглинання CO ₂	CO ₂		
Косметика	Пігменти, біоактивні речовини		

Завдання 7 Комплексна оцінка використання мікроводоростей. Оцінити переваги та обмеження використання мікроводоростей. Заповнити таблицю.

Таблиця 66

Комплексна оцінка використання мікроводоростей

Переваги	Обмеження
Висока продуктивність біомаси	Витрати на культивування
Накопичення ліпідів	Необхідність освітлення
Використання CO ₂	Витрати на відділення біомаси
Можливість очищення води	Складність масштабування
Отримання різних продуктів	Необхідність подальшої переробки

Висновок. У ході лабораторної роботи було розглянуто основні напрямки використання мікроводоростей у біоенергетиці, харчовій та кормовій промисловості, очищенні стічних вод та отриманні біологічно активних речовин. Встановлено, що біомаса мікроводоростей є багатофункціональним сировиною, оскільки містить білки, ліпіди, вуглеводи, пігменти та інші цінні компоненти. Практичне використання мікроводоростей дає можливість одночасно отримувати корисну біомасу та використовувати її для екологічних та біоенергетичних технологій.

Контрольні питання:

1. Що таке мікроводорості?
2. Які основні компоненти накопичуються у їхній біомасі?
3. Для чого використовують ліпіди мікроводоростей?
4. Як із мікроводоростей можна отримати біодизель?
5. Які компоненти мікроводоростей можуть використовуватись для отримання біоетанолу?
6. Як мікроводорості можуть бути пов'язані з виробництвом біогазу?
7. Яке значення мають мікроводорості у кормовиробництві?
8. Які речовини вони можуть поглинати зі стічних вод?
9. Яке значення має CO₂ для зростання мікроводоростей?
10. Які фактори впливають на культивування мікроводоростей?
11. Які переваги мають мікроводорості як біологічне сировина?
12. Які основні труднощі промислового використання мікроводоростей?
13. Які продукти можна отримувати з однієї біомаси мікроводоростей?
14. Чому мікроводорості розглядають як перспективне сировину для біоенергетик

Лабораторна робота № 15

Тема: Культивування та оцінка ліпідного потенціалу мікроводоростей

МЕТА ЗАНЯТТЯ. Ознайомитися з особливостями культивування мікроводоростей, дослідити їх ріст та біомасу, визначити орієнтовний вміст ліпідів та оцінити перспективність використання мікроводоростей як сировини для виробництва біопалива.

МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ. Культура мікроводоростей, питна среда, колбі або лабораторні ємності, джерело освітлення, мірний циліндр, ваги, фільтри, сушильний шафа, центрифуга (за наявності), піпетки, термометр, рН-метр або індикаторний папір.

Теоретичні відомості

Мікроводорості – мікроскопічні фотосинтезуючі організми, які можуть накопичувати значну кількість органічних речовин, зокрема ліпідів. До мікроводоростей, які досліджують як потенційну сировину для біопалива, належать представники родів: *Chlorella*; *Scenedesmus*; *Nannochloropsis*; *Chlamydomonas*.

Ліпіди мікроводоростей можуть використовуватися як сировина для отримання біодизеля.

Загальна схема:

культивування мікроводоростей → накопичення біомаси → відділення біомаси → висушування → вилучення ліпідів → оцінка ліпідного вмісту → отримання біопалива.

На ріст мікроводоростей впливають: інтенсивність освітлення; температура; рН; концентрація питних речовин; доступність вуглекислого газу; тривалість культивування.

У сприятливих умовах мікроводорості активно накопичують біомасу. За певних умов стресу, наприклад обмеження азоту, частка запасних ліпідів у клітинах може збільшуватися, хоча при цьому часто знижується швидкість зростання.

Хід роботи

Завдання 1. Характеристика культури. Визначити та записати основні характеристики досліджуваної культури.

Таблиця 67

Характеристика культури

Показник	Результат
Назва культури	
Колір суспензії	
Однорідність	
Наявність осаду	
Запах	
рН	
Температура культивування, °C	

Завдання 2. Створення умов для культивування. Підготувати лабораторну ємність із питною середою та внести досліджувану культуру.

Під час культивування контролювати: температуру; освітлення; рН; зовнішній вигляд культури; утворення біомаси.

Результати спостережень занести до таблиці.

Таблиця 68

Культивування мікроводоростей

День	Температура, °C	рН	Колір культури	Інтенсивність росту
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

Завдання 3. Визначення накопичення біомаси. Після завершення культивування біомасу відокремлюють від культуральної рідини фільтруванням або центрифугуванням. Отриману біомасу висушують до сталої маси. Масову концентрацію біомаси визначають:

$$X = \frac{m}{V}$$

де:

X – концентрація біомаси, г/л;

m – маса сухої біомаси, г;

V – об'єм культуральної рідини, л.

Приклад. Якщо з 1 л культуральної рідини отримано 2,5 г сухої біомаси:

$$X = \frac{2,5}{1} = 2,5 \text{ г/л}$$

Таблиця 69

Вихід мікроводоростей

Показник	Значення
Об'єм культури, л	
Маса сухої біомаси, г	
Концентрація біомаси, г/л	

Завдання 4. Оцінка зростання мікроводоростей. Для порівняння продуктивності культури можна визначити приріст біомаси:

$$\Delta X = X_2 - X_1$$

де:

X_1 – початкова концентрація біомаси;

X_2 – кінцева концентрація біомаси.

Оцінка зростання мікроводоростей

Показник	Значення
Початкова біомаса, г/л	
Кінцева біомаса, г/л	
Приріст біомаси, г/л	

Завдання 5. Визначення вмісту ліпідів. Для навчальної роботи можна використати готові результати екстракції ліпідів. Масову частку ліпідів розраховують:

$$L = \frac{m_l}{m_b} \times 100$$

де:

L – вміст ліпідів, %;

m_l – маса виділених ліпідів, г;

m_b – маса сухої біомаси, р.

Приклад. З 5 г сухої біомаси отримано 1,2 г ліпідів:

$$L = \frac{1,2}{5} \times 100 = 24\%$$

Отже, вміст ліпідів становить 24 %.

Вміст ліпідів

Показник	Значення
Маса сухої біомаси, г	
Маса виділених ліпідів, г	
Вміст ліпідів, %	

Завдання 6. Розрахунок потенційного виходу ліпідів. Для оцінки продуктивності культури враховують не лише відсоток ліпідів, а й кількість отриманої біомаси. Потенційний вихід ліпідів:

$$P_L = X \times \frac{L}{100}$$

де:

P_L - кількість ліпідів, г/л;

X – концентрація сухої біомаси, г/л;

L – вміст ліпідів, %.

Приклад. Якщо концентрація біомаси становить 2,5 г/л, а вміст ліпідів – 24 %:

$$P_L = 2,5 \times \frac{24}{100} = 0,6 \text{ г/л}$$

Завдання 7. Порівняння мікроводоростей. Заповнити таблицю за експериментальними чи літературними даними.

Порівняння мікроводоростей

Вид мікроводоростей	Біомаса, г/л	Ліпіди, %	Потенційний вихід ліпідів, г/л
<i>Chlorella</i>			
<i>Scenedesmus</i>			
<i>Nannochloropsis</i>			

Завдання 8. Вплив умів культивування на накопичення ліпідів. Заповнити таблицю.

Таблиця 73

Вплив умів культивування на накопичення ліпідів

Фактор	Вплив на ріст	Вплив на накопичення ліпідів
Освітлення		
Температура		
pH		
Вміст азоту		
CO ₂		
Тривалість культивування		

Завдання 9. Комплексна оцінка культури. Заповнити таблицю. На основі отриманих даних оцінити потенційну придатність культури мікроводоростей для виробництва біопалива.

Таблиця 74

Комплексна оцінка культури

Показник	Результат
Концентрація біомаси, г/л	
Приріст біомаси, г/л	
Вміст ліпідів, %	
Вихід ліпідів, г/л	
Стан культури	
Перспективність як ліпідної сировини	

Висновок. У ході лабораторної роботи було розглянуто особливості культивування мікроводоростей та визначено основні показники їх продуктивності. Досліджено накопичення біомаси, розраховано її концентрацію, визначено вміст і потенційний вихід ліпідів. Встановлено, що продуктивність мікроводоростей залежить від освітлення, температури, pH, забезпечення поживними речовинами та умов культивування. Мікроводорості можуть бути перспективним сировиною для отримання ліпідів та подальшого виробництва біопалива.

Контрольні питання:

1. Що таке мікроводорості?
2. Які мікроводорості використовують як потенційний джерело ліпідів?

3. Чому мікродорості розглядають як сировину для біопалива?
4. Які основні фактори впливають на їх зростання?
5. Навіщо мікродоростям потрібне освітлення?
6. Яке значення має CO₂ під час культивування?
7. Як визначають концентрацію сухої біомаси?
8. Як розраховують вміст ліпідів?
9. Чому високий вміст ліпідів не завжди означає високу продуктивність культури?
10. Як азотне обмеження впливає на накопичення ліпідів?
11. Які етапи включає отримання ліпідної сировини з мікродоростей?
12. Для чого використовують ліпіди мікродоростей?
13. Які переваги мають мікродорості як сировина для біопалива?
14. Які фактори можуть обмежувати промислове культивування мікродоростей

Лабораторна робота № 16

Тема: Нормативно-правова база виробництва альтернативних видів палива

МЕТА ЗАНЯТТЯ. Ознайомитись з основними нормативно-правовими документами, що регулюють виробництво, використання, якість та обіг альтернативних видів топлива в Україні; навчитися визначати вимоги законодавства щодо різних видів біопалива та аналізувати відповідність технологічних процесів установленим нормативам.

МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ. Нормативно-правові акти України; технічні регламенти та національні стандарти; інформаційні матеріали щодо виробництва біопалива; комп'ютер із доступом до мережі Інтернет; таблиці та довідкові матеріали; калькулятор.

Теоретичні відомості

Альтернативні види палива – це палива, отримані з нетрадиційних для традиційної енергетики джерел, зокрема з біомаси, відходів, рослинної сировини та інших відновлюваних ресурсів.

До основних альтернативних видів палива, пов'язаних із сировиною агропромислового комплексу, належать:

- **біодизель** – паливо на основі метилових або етилових естерів жирних кислот;
- **біостанол** – етиловий спирт, отриманий із біомаси та призначений для енергетичного використання;
- **біобутанол** – бутанол, отриманий біотехнологічним шляхом із відновлюваної сировини;
- **біогаз** – газ, що утворюється внаслідок анаеробного розкладання органічної сировини;
- **біометан** – очищений біогаз із високим вмістом метану;
- **тверде біопаливо** – пелеті, брикети, тріска, солома та інші види паливної біомаси.

Нормативно-правове регулювання цієї сфери охоплює питання виробництва, сертифікації, безпеки, якості, оподаткування, використання відходів, охорони довкілля та енергоефективності.

Класифікація нормативних вимог. Нормативні вимоги до альтернативного палива можна умовно поділити на кілька груп.

1. Вимоги до сировини. Сировина повинна відповідати встановленим вимогам щодо: походження; безпеки; вологості; вмісту домішок; складу; можливості технологічної переробки; впливу на довкілля.

Таблиця 75

Основні нормативно-правові документи

Нормативний документ	Основне призначення
Закон України «Про альтернативні види палива»	Визначає правові, економічні та організаційні засади виробництва і використання альтернативних видів палива
Закон України «Про відновлювані джерела енергії»	Регулює використання енергії з відновлюваних джерел
Закон України «Про ринок електричної енергії»	Визначає засади функціонування ринку електроенергії, зокрема виробництва електроенергії з відновлюваних джерел
Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»	Встановлює загальні вимоги щодо охорони довкілля під час господарської діяльності
Закон України «Про управління відходами»	Регулює поводження з відходами, у тому числі їх підготовку до повторного використання та відновлення
Закон України «Про енергетичну ефективність»	Визначає правові засади підвищення енергоефективності та раціонального використання енергоресурсів
Закон України «Про охорону атмосферного повітря»	Встановлює вимоги до викидів забруднювальних речовин під час виробництва та спалювання палива
Податковий кодекс України	Регулює питання оподаткування операцій, пов'язаних із виробництвом та реалізацією пального
Технічні регламенти та національні стандарти	Встановлюють конкретні вимоги до характеристик, якості та безпечності продукції

Для біогазу сировиною можуть бути гній, силос, рослинні залишки, органічні відходи харчового виробництва та інша біомаса.

Для біодизелю використовують рослинні олії, тваринні жири та відпрацьовані олії після відповідної підготовки.

Для біоетанолу – сахаромісну, крахмалевмісну або целюлозовмісну сировину.

2. Вимоги до технологічного процесу. Підприємство має забезпечувати: дотримання технологічних режимів; контроль якості сировини; контроль проміжних та кінцевих продуктів; пожежну та вибухову безпеку; охорону праці; мінімізацію утворення відходів; запобігання забрудненню ґрунтів, води та атмосферного повітря.

3. Вимоги до готового палива. Якість альтернативного палива характеризують фізико-хімічними показниками.

Таблиця 76

Основні нормативно-правові документи

Вид палива	Основні показники якості
Біодизель	густина, кінематична в'язкість, кислотне число, вміст води, метилових естерів, домішок, температура спалаху
Біоетанол	об'ємна частка етанолу, вода, кислотність, домішки, метанол та інші компоненти
Біобутанол	вміст бутанолу, води, ацетону, етанолу та інших домішок
Біогаз	вміст метану, CO ₂ , H ₂ S, вологи та інших компонентів
Біометан	концентрація метану, вміст CO ₂ , H ₂ S, води та інших домішок
Пелети	вологість, зольність, насипна густина, механічна міцність, теплота згоряння
Брикети	вологість, густина, зольність, механічна міцність, теплота згоряння

Хід роботи

Завдання 1. Визначити основні напрями нормативного регулювання. Заповнити таблицю.

Таблиця 77

Основні напрями нормативного регулювання

Напрямок	Що регулюється	Приклад нормативного документа
Виробництво палива		
Якість палива		
Охорона довкілля		
Поводження з відходами		
Пожежна безпека		
Охорона праці		
Оподаткування		
Реалізація палива		

Завдання 2. Проаналізувати Закон України «Про альтернативні види палива». За чинною редакцією Закону визначити та заповнити таблицю:

1. Що законодавство розуміє під альтернативними видами палива.
2. Які види палива належать до альтернативних.
3. Які вимоги встановлюються до виробництва альтернативного палива.
4. Які вимоги встановлюються до його якості.
5. Які суб'єкти можуть здійснювати виробництво альтернативних видів палива.
6. Які питання державного регулювання передбачені законодавством.

Таблиця 78

Основні трактування Закону України «Про альтернативні види палива»

Положення законодавства	Зміст вимоги	Практичне значення для виробника
Визначення альтернативного палива		
Вимоги до виробництва		
Вимоги до якості		
Використання		
Контроль		

Аналіз нормативних вимог до окремих видів біопалива

Завдання 3. Біодизель. Визначити нормативні вимоги до біодизеля та встановити показники, які необхідно контролювати під час його виробництва. Заповнити таблицю:

Таблиця 79

Нормативні вимоги до біодизеля

Показник	Значення досліджуваного зразка	Нормативна вимога	Відповідність
Густина			
Кінематична в'язкість			
Кислотне число			
Вміст води			
Вміст естерів			
Механічні домішки			
Температура спалаху			

Завдання 4. Тверде біопаливо. Проаналізувати нормативні вимоги до паливних гранул або брикетів. Визначити: вологість; зольність; насипну густину; механічну міцність; частину дрібної фракції; теплоту згоряння; вміст сірки та азоту; інші показники, передбачені відповідним стандартом. Результати подання у таблиці.

Таблиця 80

Нормативні вимоги до твердого біопалива

Показник	Результат аналізу	Вимога стандарту	Відповідність
Вологість, %			
Зольність, %			
Насипна густина, кг/м ³			
Механічна міцність, %			
Нижча теплота згоряння, МДж/кг			

Завдання 4. Ситуаційне завдання. Підприємство планує організувати виробництво паливних гранул із соломи.

Необхідно визначити послідовність нормативно-правових питань, які потрібно врахувати.

Орієнтовна схема

Сировина → підготовка сировини → виробництво → контроль якості → зберігання → транспортування → реалізація → контроль впливу на довкілля.

Для кожного етапу визначити:

1. які нормативні документи застосовуються;
2. які показники необхідно контролювати;
3. які вимоги щодо охорони праці необхідно виконувати;
4. які вимоги пожежної безпеки потрібно врахувати;
5. які екологічні аспекти необхідно контролювати.

Висновок. У ході лабораторної роботи було розглянуто нормативно-правові засади виробництва та використання альтернативних видів палива в Україні. Встановлено, що нормативне регулювання охоплює всі основні етапи життєвого циклу біопалива – від отримання та підготовки сировини до виробництва, контролю якості, зберігання, транспортування та використання. Особливе значення мають вимоги щодо якості та безпеки палива, охорони довкілля, управління відходами, охорони праці та пожежної безпеки. Під час виробництва конкретного виду альтернативного палива необхідно використовувати чинну редакцію відповідного законодавства, технічних регламентів та стандартів.

Контрольні питання

1. Що розуміють під альтернативними видами палива?
2. Які основні види біопалива використовують у сучасній енергетиці?
3. Який закон є базовим для регулювання альтернативних видів палива в Україні?
4. Які питання регулює Закон України «Про альтернативні види палива»?
5. Які нормативні документи визначають вимоги до якості біопалива?
6. Які показники характеризують якість біодизеля?
7. Які показники характеризують якість паливних гранул?
8. Які вимоги законодавства стосуються охорони навколишнього природного середовища?
9. Чому під час виробництва біопалива необхідно враховувати законодавство про управління відходами?

10. Які вимоги необхідно виконувати під час зберігання альтернативного палива?
11. Яке значення мають технічні регламенти та стандарти у виробництві біопалива?
12. Чим відрізняються нормативно-правові акти від стандартів?
13. Які показники необхідно контролювати під час виробництва біогазу?
14. Чому необхідно контролювати викиди під час виробництва та використання біопалива?

Література

1. Белінська А. П., Близнюк О. М., Масалітіна Н. Ю., Мироненко, Л. С. Біоконверсія відходів : навчальний посібник. Харків : НТУ «ХПІ», 2023. 198 с.
2. Білокінна І., Токарчук Д. Біоенергетичний потенціал енергетичних культур для виробництва різних видів біопалив для подолання дефіциту енергетичних ресурсів в АПК. *Modeling the development of the economic systems*. 2024. Вип. 4. С. 320-327. URL: <https://doi.org/10.31891/mdes/2024-14-42>.
3. Біотехнології та біоінженерія. Вступ до фаху : навчальний посібник / О. І. Юлевич С. І. Луговий, О. І. Каратєєва, Є. В. Баркарь. Миколаїв : МНАУ, 2022. 285 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/11705>.
4. Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / Г. Г. Гелетука та ін. Київ : Академперіодика, 2022. 373 с.
5. Гонтарук Я., Шевчук Г. Напрями вдосконалення виробництва та переробки продукції АПК на біопаливо. *Економіка та суспільство*. 2022. Вип. 36. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-36-8>.
6. Енергетичні та сировинні рослинні ресурси : навчальний посібник / С. М. Каленська та ін. Київ : НУБіП України, 2022. 273 с.
7. Кулик М. І., Калініченко О. В. Рослинні сировинні ресурси: агровиробництво, біоенергетика та біоекономіка : підручник. Полтава : ПП “Астроя”, 2026. 320 с.
8. Хоботова Е. Б. Ресурсозбереження при виробництві та безпека матеріалів на основі мінеральних в’язучих : підручник. Харків : ХНАДУ, 2026. 293 с.
9. Хохленкова Н. В., Двінських Н. В. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії для біоенергетики та енергозберігаючих технологій. *Актуальні питання біотехнології, екології та природокористування* : матеріали

міжнародної наукової конференції (м. Харків, 27-28 квітня 2023 р.). Харків : Державний біотехнологічний університет, 2023. С. 116-117.

10. Циркулярна політика управління відходами : підручник / А. І. Крисоватий та ін. Тернопіль : ЗУНУ, 2023. 460 с.
11. Karatieieva, O., Barkar, Ye., Yulevich, O., Liuta, I., & Overchenko, V. (2025). Molecular-genetic and biotechnological foundations for the development of complex microbial preparations for balanced plant nutrition. *Scientific Horizons*, 28(8), 102-117. <https://doi.org/10.48077/scihor8.2025.102>.

Навчальне видання

Технологія виробництва та переробки сировини АПК для біоенергетики

Методичні рекомендації

Укладачі: **Каратєєва** Олена Іванівна
Люта Ірина Миколаївна

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 8,25
Тираж 20 прим. Зам. № ____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.