

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Львівський національний університет ветеринарної медицини
та біотехнологій імені С. З. Гжицького
Кафедра біотехнології та радіології**

АЛЬТЕРНАТИВНА ПОНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА ТА БІОКОНВЕРСІЯ

**Методичні вказівки для лабораторних робіт
здобувачів другого (магістерського) рівня вищої
освіти
спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія
ОП «Біотехнології та біоенергетика»**



Львів – 2024

Альтернативна поновлювальна енергетика та біоконверсія : методичні вказівки для лабораторних робіт здобувачів другого (магістрського) рівня вищої освіти спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія ОП «Біотехнології та біоенергетика» / уклад. О. В. Штапенко, Н. П. Кіт. Львів : Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, 2024. 72°с.

Рецензент : Кропивка С. Й. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького.

Рекомендовано навчально-методичною радою факультету харчових технологій та біотехнології ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького.

Протокол № 8 від 24 жовтня 2024 р.

Правила роботи і техніка безпеки в лабораторії

Виконання експериментальної роботи в лабораторії в першу чергу завжди вимагає дотримування правил техніки безпеки, а саме:

1. Студенти повинні ознайомитись з розміщенням засобів пожежогасіння і першої медичної допомоги. До приміщення лабораторії заборонено заходити без спеціального одягу – халату. Приступати до роботи можна тільки за присутності викладача та лаборанта.

2. Уважно вивчити завдання щодо виконання дослідів, звернувши увагу на правила, які створюють умови для безпечного виконання роботи, а також ознайомитись зі властивостями речовин, які використовуються в лабораторії (горючість, токсичність тощо).

3. У процесі виконання експериментальних досліджень у лабораторії необхідно підтримувати чистоту, акуратність, бути уважним, виключити потрапляння речовин на шкіру та одяг, не торкатись руками обличчя і очей, мити руки із милом.

4. У лабораторії не дозволяється вживати їжу, пити воду з лабораторного посуду, куштувати на смак речовини. Нюхати речовини можна обережно, рухами рук направляти до себе пари чи газ.

5. Категорично забороняється працювати у лабораторії наодинці.

6. Не можна проводити досліди у брудному посуді.

7. Органічні сполуки у вигляді пару чи газу можуть вибухати у суміші з повітрям. Не допускайте утворення таких сумішей.

8. При проведенні робіт із застосуванням лугів, металічного натрію, концентрованих кислот завжди слід користуватись захисними окулярами, гумовими рукавичками.

9. Роботу з більшістю органічних речовин слід проводити тільки у витяжних шафах.

10. Залишки реактивів слід зливати до спеціальних ємності для відходів.

11. При роботі з бромом слід пам'ятати, що це дуже отруйна речовина, яка небезпечна для слизової оболонки і утворює на шкірі опіки, які важко загоюються. Всі роботи слід проводити у витяжній шафі. У випадку опіку бромом, обпечене місце обробляють спиртом, потім направляють до медичного закладу.

12. При потраплянні кислот на шкіру необхідно швидко промити уражене місце водою, а потім 3% розчином соди. При опіках лугами потрібно промити уражене місце водою, а потім 3% розчином оцтової кислоти. При попаданні кислоти або лугу до очей необхідно промити великою кількістю води, а потім обробити тампоном, який змочений у розчині соди або борної кислоти і знову промити водою.

13. Концентровані кислоти, луги, отруйні та з сильним запахом речовини зберігають обов'язково в добре вентиляваній шафі.

14. Легкозаймисті та вибухонебезпечні речовини повинні зберігатись у металевих шафах у кількостях, які не перевищують щоденну потребу.

15. У випадку загорання одягу необхідно відразу накинути на постраждалого халат, простирadlo тощо. Ні в якому випадку не давати йому можливості бігти, оскільки це підсилить полум'я. При виникненні пожежі необхідно відразу вимкнути вентиляцію чи електроенергію і прийняти заходи до ліквідації пожежі. При необхідності викликати пожежну команду.

При загоранні бензолу, ефіру не можна застосовувати для гасіння воду. У цих випадках полум'я гасять піском чи азбестовим простирadлом.

16. При роботі зі склом і хімічним посудом необхідно бути обережним.

17. Забороняється змішувати органічні речовини і проводити досліди, які не пов'язані з програмою.

18. При використанні біологічного матеріалу не дозволяється ставити посуд, який містить матеріал для дослідження, безпосередньо на стіл. Для цього використовуються підноси або кювети, посуд попередньо протирають ззовні дезінфікуючим розчином.

19. Необхідно пильно слідкувати за чистотою рук – після закінчення роботи руки дезінфікуються, проводити вологе прибирання і періодичну дезінфекцію робочого місця.

20. Після виконання лабораторної роботи здати реактиви, посуд і обладнання лаборанту чи викладачу.

Лабораторна робота № 1

Тема. Розвиток нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії.

Мета роботи. Ознайомитись з класифікацією нетрадиційних та поновлювальних джерел енергії, альтернативними біотехнологіями виробництва енергії, перспективами розвитку нетрадиційної енергетики в Україні.

Завдання:

- 1. Порівняти альтернативні та традиційні джерела енергії.*
- 2. Охарактеризувати переваги та недоліки відновлюваних та не відновлювальних джерел енергії.*

Теоретична основа

Нетрадиційні (відновлювальні) джерела енергії – це джерела постійних або періодичних потоків енергії в навколишньому середовищі, які функціонують без участі людини.

Невідновлювальні джерела енергії – це природні запаси речовин і матеріалів, які можуть бути використані людиною для виробництва енергії. Прикладом можуть служити ядерне паливо, вугілля, нафта, газ. Енергія невідновлюваних джерел на відміну від поновлюваних знаходиться в природі у зв'язаному стані і вивільняється в результаті цілеспрямованих дій людини. Розвиток нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні представлено на Рис 1.

До відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) зазвичай відносять:

1) ВДЕ сонячного походження: власне енергія сонячної радіації; гідравлічна енергія річок; енергія вітру; енергія біомаси енергія океану (різниця температур води, хвилі, різниця солених і прісної води).

2) До несонячних ВДЕ відносяться: геотермальна енергія; енергія припливів. Крім того, до ВДЕ відносять різні відходи і джерела низько потенційного тепла в поєднанні з тепловими насосами.

Переваги поновлюваних енергетичних ресурсів:

- за своєю природою вони невичерпні;
- технічний потенціал у багато разів перевищує потенціал всіх запасів палива на планеті і може забезпечити довгострокову перспективу їх використання;

- екологічно чисті: не виділяють вуглекислий газ, від них мало відходів, тим більше небезпечних;
- можуть використовуватися конструкціями будівлі з метою його енергопостачання;
- відсутність потреби у воді (сонячні, вітрові електростанції).

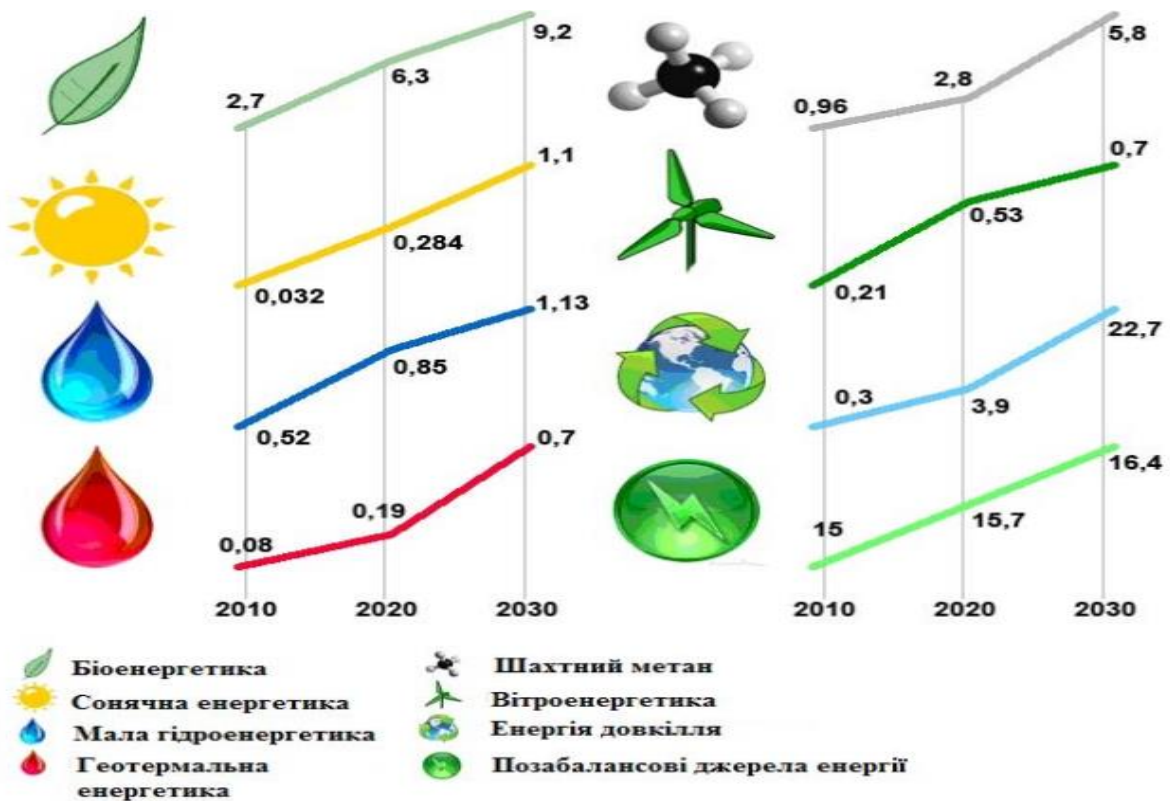


Рис 1. Базовий сценарій Енергетичної стратегії України до 2030 року, дані в млн т. умовного палива

Недоліки поновлюваних енергетичних ресурсів:

- вони дуже розсіяні і циклічні;
- місцезнаходження цих ресурсів, як правило, віддалене від центрів енергетичного попиту;
- освоєння деяких джерел енергії призводить до ряду проблем (АЕС – радіаційні витoki в екстремальних умовах, ГЕС - затоплення значних територій, вітроенергетичні установки призводять до виникнення побічних інфразвукових коливань і т. п.).

Заповнити таблиці 1 і 2 та порівняти нетрадиційні (відновлювальні) та невідновлювальні джерела енергії

Таблиця 1.

Порівняльна характеристика енергосистем на відновлюваних та невідновлювальній джерел енергії

Характеристика енергосистеми	Альтернативна (відновлювальна) форма енергії	Традиційна (не відновлювальна) форма енергії
Де знаходиться		
Форма існування		
Початкова інтенсивність		
Час існування		
Вартість енергії		
Стабільність		
Обмеження використання		
Безпека експлуатації		
Автономність		
Екологічний фактор		

Таблиця 2.

Переваги та недоліки відновлюваних та невідновлювальних джерел енергії

Джерела енергії		Переваги	Недоліки
Нетрадиційні (поновлювальні)	Сонце		
	Вітер		
	Біомаса		
Невідновлювальні	Вода		
	Вугілля		
	Нафта		
	Ядерна енергія		

Контрольні питання:

1. Що таке «нетрадиційні джерела енергії»?
2. Наведіть визначення поняття невідновлювальні джерела енергії.
3. Що належить до відновлювальних джерел енергії?
4. Які перспективи використання нетрадиційних джерел енергії в Україні?

Лабораторна робота № 2

Тема. Напрями біотехнологічної біоенергетики.

Мета роботи. Ознайомитись з основними теоріями і концепціями в галузі технологічної біоенергетики. Систематизація знань про альтернативність та екологічність біоенергетики.

Завдання:

- 1. Охарактеризувати та систематизувати основні теорії і концепції у галузі технологічної біоенергетики.*
- 2. Розрахувати параметри сонячної електростанції багатопотужного типу.*
- 3. Розрахувати швидкість та потужність вітрового потоку як альтернативної енергетики у різні пори року*

Теоретичні основи

Джерела енергії – це матеріальні об'єкти, в яких зосереджена енергія, придатна для практичного використання. Джерела енергії (енергетичні ресурси) можна розподілити на **не поновлювані** (торф, вугілля, нафта, природний газ, атомна енергетика) та **поновлювані** (тверда біомаса і тваринні продукти, газ або рідина, одержані з біомаси (біогаз), побутові та промислові відходи як паливо, енергія природних стихій).

Термін «відновлювана енергетика» вживається на протиположність використанню енергоносіїв, таких як видобуток копалин, до яких належать, наприклад, кам'яне вугілля, нафта, природний газ або торф. У широкому розумінні ці джерела енергії теж поновлювані, але не за мірками тривалості життя людини, оскільки процес їхнього утворення вимагає сотень мільйонів років, а їхнє використання проходить набагато швидше.

Застосування відновлюваної енергії людиною потребує наявності технологій використання енергії сонячного світла, вітру, морських хвиль, водних течій, біологічних процесів, таких як анаеробний розклад, біологічне вироблення водню, та геотермальних теплових джерел.

Енергетична проблема – одна із глобальних проблем людства. Необхідність розроблення нових і ефективних способів виробництва енергетичних носіїв і поповнення сировинних ресурсів стали особливо актуальними в останні два десятиліття через гострий дефіцит сировини і енергії в глобальному масштабі і підвищення вимог до екологічної безпеки технологій

Біоенергетика – це наука, з одного боку, про загальні закономірності перетворення енергії в живих системах (клітинах, організмах, екосистемах тощо), а з іншого – напрям промислової енергетики (більш коректним терміном буде технічна біоенергетика), який пов’язаний з використанням нетрадиційних джерел енергії біологічного походження (переробка різноманітної біологічної сировини та органічних відходів у біопаливо – тверде, рідке або газувате).

Навколо виробництва біопалива продовжуються гострі дискусії у всьому світі. Світове виробництво біопалива зростає темпами, які перевищують 10% у рік. Більшість країн світу прийняли біоенергетичні програми. Особливо стрімкий розвиток біоенергетики спостерігається в країнах членах ЄС. Успішний розвиток цієї інноваційної галузі обумовлений в тому числі і завдяки формуванню технологічних платформ (ТП). Значення і роль ТП полягає в наступному: вони об’єднують основні зацікавлені сторони і забезпечують діалог суспільства і бізнесу; сприяють залученню інвестицій в науково-технічний розвиток; мобілізують і направляють існуючі можливості в сектор досліджень і розробок, сприяючи більш ефективному підходу до інновацій, стимулюють координацію європейських і національних дослідних програм; вносять вклад в зростання економіки.

Енергетичні ресурси Землі дають змогу одержувати переважно гідравлічну і теплову енергії. Якщо процеси отримання гідравлічної енергії та її використання можна вважати порівняно нешкідливими для навколишнього середовища, то цього не скажеш про теплову енергію. Більшість методів її добування та перетворення на інші види, зокрема на електричну енергію, неминуче призводять до скидання забруднювальних речовин у водні джерела та виділення теплоти в атмосферу.

У застрахованій від криз й екологічно ощадливій енергетичній політиці необхідно враховувати, як мінімум, чотири основні принципи:

- має використовуватися пріоритетний потенціальний екологічно ощадливий енергоресурс – економія енергії (енергоефективність);

- для енергопостачання слід задіяти технології, які оптимально використовують теплоту спалювання палива і теплоту енергоносіїв;

- потрібно в кілька разів збільшувати темпи залучення нетрадиційних відновлюваних енергоресурсів;
- енергогенеруючі установки необхідно оснащувати сучасного технологічного рівня пристроями для вловлювання та нейтралізації шкідливих викидів.

Використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії підтверджує їх велику перспективність для задоволення енергетичних потреб промисловості. Альтернативна енергетика покликана сприяти вирішенню, перш за все, двох важливих проблем: енергоефективності та екологічної безпеки.

Кінетична енергія вітрового потоку зі швидкістю вітру

$$E = m W_0^2,$$

де m – масова витрата повітря, її можна визначити з рівняння нерозривності потоку (за відсутності турбулентності):

$$m = \rho F_k W_0,$$

де ρ – густини повітря (кг/м^3);

F_k – площа диску (м^2), створеного від обертання вітроколеса, через яку проходить вітровий потік.

Тоді потужність потоку вітру буде:

$$N_0 = \frac{\rho F_k W_0^3}{2}, \text{ Вт}$$

Кінетична енергія вітрового потоку залежить від швидкості вітру W_0 , температури повітря і атмосферного тиску P . Шкала питомої потужності вітрового потоку з поперечним перерізом 1м^2 , для $t=+15^\circ\text{C}$ і $P=101,3\text{кПа}$ показана в табл.1.

Зі зміною температури повітря від $+15^\circ\text{C}$ до 0°C потужність потоку зростає на 6%, а за температури $t=15^\circ\text{C}$ енергія цього потоку, навпаки, зменшується на 5%. Якщо за температури повітря 0°C атмосферний тиск зміниться від 770 до 730 мм рт. ст., то енергія потоку вітру зменшиться приблизно на 6%.

Таблиця 1.

Шкала питомої потужності вітрового потоку

Швидкість вітру, м/с	4	6	8	10	14	18	22
Потужність потоку, кВт / м ²	0,04	0,13	0,31	0,61	1,67	3,6	6,25

Звідси бачимо, потужність вітрового потоку пропорційна до його площі, швидкості вітру в третій степені і густини повітря. Слід зауважити, що технічно складно одержати велику потужність на одній установі від розсіяної енергії повітряного потоку, враховуючи малу його густину $\rho_{\text{пов}}=1,3 \text{ кг/м}^3$ (для порівняння густина води $\rho_{\text{пов}}=1,3 \text{ кг/м}^3$). Потужність, яку розвиває вітроколесо:

$$N_{\text{ex}} = C_p N_0 \frac{C_p \rho F W_0^3}{2}.$$

Параметр C_p визначає ефективність використання вітроколесом енергії вітрового потоку і називається коефіцієнтом потужності. C_p залежить від конструкції вітроколеса і швидкості вітру. Максимальна проектна потужність ВЕУ визначається для стандартної швидкості вітру $W_0=12 \text{ м/с}$. Тоді з 1м^2 площі отримаємо потужність близько 300 Вт для значення $C_p=0,35:0,45$.

З точки зору вітроенергетики важливими характеристиками вітру є: *~ поривчастість, ~ вертикальний профіль, ~ гранична швидкість.*

Пульсації швидкості і енергії повітряного потоку пов'язані із загальним характером формування структури вітру, ландшафтними і рельєфними особливостями місцевості. Нерідко причиною руйнувань вітрового агрегату є динаміка зміни і структура варіацій швидкості за короткі проміжки часу. До них належать прискорення потоку, тривалість поривів і їх співпадіння в різних точках поверхні вітроколеса, котре омивається вітром, а також коефіцієнт поривчастості потоку K_n – це відношення максимально виміряної швидкості до її середнього значення за вибраний проміжок часу (не більше 2-х хвилин):

$$K_n = \frac{W_{\text{max}}}{W_{\text{ср}}}$$

Його величина змінюється від 1 до 3, і чим більша швидкість, тим менше значення K_n . Вертикальний профіль вітру це зміна його

швидкості від висоти в приземній зоні. При адіабатичному градієнті температур в нижніх шарах атмосфери вертикальний профіль вітру $W(h)$ апроксимується залежністю:

$$W = W_1 \left(\frac{H}{h} \right)^{0.2},$$

де h , H – відповідно висоти 10 м і вище; W_1 – середня швидкість вітру на висоті 10 м.

Приклад розв'язку задачі 1.

Визначити потужність вітрового потоку на 1 м^2 площі, $F_k = 1 \text{ м}^2$, перпендикулярної до нього, якщо протягом місяця середня швидкість вітру $W = 3,4:3,7 \text{ м/с}$. Густина повітря $1,2 \text{ кг/м}^3$. Визначити потужність вітрового потоку повітря внаслідок зміни його густини у різні пори року.

Дано: $F_k = 1 \text{ м}^2$, $W = 3,5 \text{ м/с}$, $\rho_{\text{пов}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Знайти: N , Вт/м^2 – ?

Розв'язання:

Потужність вітрового потоку повітря на 1 м^2 площі визначається за формулою:

$$N = \frac{\rho F_k W^3}{2} = \frac{1,2 \cdot 1 \cdot (3,5)^3}{2} = 25,73 \text{ Вт}$$

Відповідь: Потужність вітрового потоку повітря 1 м^2 площі 25,73 Вт.

Приклад розв'язку задачі 2.

Визначити швидкість потоку вітру W , м/с на висоті $H = 22 \text{ м}$, якщо середня швидкість на висоті $h = 10 \text{ м}$ дорівнює $W_1 = 10 \text{ м/с}$.

Дано: $H = 22 \text{ м}$, $h = 10 \text{ м}$, $W_1 = 10 \text{ м/с}$

Знайти: W , м/с – ?

Розв'язання: Швидкість потоку вітру визначається за формулою:

$$W = W_1 \left(\frac{H}{h} \right)^{0.2} = 10 \cdot \left(\frac{22}{10} \right)^{0.2} = 11,71 \text{ м/с}$$

Відповідь: швидкість потоку вітру $W = 11,71 \text{ м/с}$.

Матеріали та обладнання: робочий зошит, ручка, додаткова література.

Хід роботи:

1. Розрахувати потужність вітрового потоку та швидкість потоку вітру за поданими даними у таблиці 2.

2. Сформулювати висновок проведеної лабораторної роботи.

Таблиця 2.

Вихідні дані до виконання роботи

Задача 1		Задача 2		
Варіанти	$W_1, \text{м/с}$	Варіанти	$H, \text{м}$	$W_1, \text{м/с}$
1	4,2 ÷ 4,8	1	15	6
2	4,8 ÷ 5,1	2	16	8
3	3,9 ÷ 4,4	3	17	7
4	3,8 ÷ 4,2	4	18	9
5	3,2 ÷ 3,7	5	19	11
6	3,0 ÷ 3,5	6	20	10
7	3,1 ÷ 3,6	7	21	5
8	3,2 ÷ 3,8	8	22	6,5
9	3,3 ÷ 3,7	9	23	7,5
10	4,1 ÷ 4,7	10	24	8,5
11	4,7 ÷ 5,0	11	15	7
12	3,8 ÷ 4,3	12	16	9
13	3,7 ÷ 4,1	13	17	8
14	3,3 ÷ 3,8	14	18	10
15	3,0 ÷ 3,4	15	19	10,5
16	3,2 ÷ 3,6	16	20	11,5
17	3,3 ÷ 3,9	17	21	9
18	3,4 ÷ 3,7	18	22	10
19	4,3 ÷ 4,8	19	23	11,5
20	4,9 ÷ 5,2	20	24	10,5
21	3,4 ÷ 4,0	21	17	10
22	3,5 ÷ 4,1	22	18	11
23	3,4 ÷ 3,7	23	19	9,5
24	3,5 ÷ 3,9	24	20	8,5
25	3,4 ÷ 4,1	25	21	7,5

3. Розрахувати параметри сонячної електростанції баштанного типу, використовуючи дані таблиці 3.

Енергія, отримана приймачем від сонця через геліостати (Вт) може бути визначена за рівняння:

$$Q = R_e A_{np} F_z H_z n,$$

де H_z – опромінення дзеркала геліостата, Вт/м^2 (для типових умов $H_z = 600 \text{ Вт/м}^2$); F_z – площа поверхні геліостата, м^2 ; n – кількість геліостатів; R_e – коефіцієнт відображення дзеркала концентратора; A_{np} – коефіцієнт поглинання приймача.

Таблиця 3.

Вхідні дані для обрахунку енергії, отриманої через геліостати

Варіанти	n	F_z	H_{np} MBm/m^2	R_z	A_{np}	H_s Bm/m^2
1	263	58	2,5	0,8	0,95	600
2	262	40	2,4	0,8	0,95	600
3	264	25	2,3	0,8	0,95	600
4	256	45	2,2	0,8	0,95	600
5	263	62	2,1	0,8	0,95	600
6	265	87	2,6	0,8	0,95	600
7	258	65	2,5	0,8	0,95	600
8	294	45	2,4	0,8	0,95	600
9	254	85	2,3	0,8	0,95	600
10	278	25	2,2	0,8	0,95	600
11	245	30	2,1	0,8	0,95	600
12	287	50	2,5	0,8	0,95	600
13	262	58	2,4	0,8	0,95	600
14	264	40	2,3	0,8	0,95	600
15	256	25	2,5	0,8	0,95	600
16	263	45	2,4	0,8	0,95	600
17	265	62	2,3	0,8	0,95	600
18	258	87	2,2	0,8	0,95	600
19	294	65	2,1	0,8	0,95	600
20	254	45	2,6	0,8	0,95	600
21	278	85	2,5	0,8	0,95	600
22	245	25	2,4	0,8	0,95	600
23	287	30	2,3	0,8	0,95	600
24	298	50	2,2	0,8	0,95	600
25	291	70	2,1	0,8	0,95	600

4. Сформулюйте висновки щодо проведених лабораторних робіт

Контрольні питання:

1. Що таке джерела енергії та на які види вони поділяються?
2. Наведіть визначення поняття технологічна «біоенергетика».
3. Які особливості світового виробництва біопалива?
4. Що таке не поновлювані і поновлювані джерела енергії?
5. Дайте визначення поняття «джерела енергії».
6. Розкрийте суть концепції «енергетичної проблеми людства».

Лабораторна робота № 3

Тема. Екологічні проблеми вітчизняної та світової енергетики. Енергія живої природи. Біоконверсія сонячної енергії.

Мета роботи. Ознайомитись з принципами і методами організації енергоощадних технологій із сучасними напрямками технологічної біоенергетики, зокрема, біоконверсією сонячної енергії.

Завдання:

- 1. Розглянути які екологічні проблеми державної та світової енергетики?*
- 2. Проаналізувати методи організації енергоощадних технологій на прикладі енергії живої природи.*
- 3. Фотометричне визначення інтенсивності фотосинтезу за накопиченням органічних речовин.*

Теоретичні основи

Нині перед людством особливо гостро стоять три головні взаємозв'язані проблеми: забезпечення харчами, енергією та екологічна безпека. Актуальні вони як для Європи, так й для України зокрема. У розв'язанні цих проблем особливе місце належить енергетиці, від рівня розвитку котрої неабияк залежить доля економіки, а отже, занепад або процвітання суспільства і, з другого боку, – стан довкілля.

Ситуація ускладнюється безперервним зростанням світового енергоспоживання, яке, за оцінками експертів, має збільшитись до 2050 року майже в 1,5 рази. Стає очевидним, що земна цивілізація підійшла до межі, коли її виживання потребує докорінних змін, в першу чергу в енергетичній сфері. На перші ролі виходять безвуглецеві технології, засновані на енергії сонця, вітру та води, а також ядерна енергетика, яка може забезпечити людство енергією протягом декількох тисячоліть.

Важлива роль у вирішенні енергетичних і екологічних проблем не викликає сумнівів, на даний час є у використанні альтернативної, та поновлювальної енергетики, основним джерелом якої виступає **сонячна енергія**. Сонячну енергію потрібно використовувати так, щоб її вартість була мінімальною або взагалі дорівнює нулю. У міру вдосконалення технологій і в

зв'язку з подорожчанням традиційних енергоресурсів ця енергія буде знаходити нові сфери застосування. Лише 3,5% сонячної енергії, що потрапляє на Землю, може забезпечити всі енергетичні потреби людства на необмежений час через продукти фотосинтезу шляхом накопичення біомаси.

Зараз все більш стає зрозумілим, що основне його багатство – рослинна біомаса, тобто органічні ресурси, що відновлюються, яка щорічно утворюється в реакціях фотосинтезу у кількості 2×10^{11} тон за Карбоном або 30×10^{21} Дж за енергетичним запасом. Глобальна продуктивність фотосинтезу і використання енергії людиною характеризують наступні дані:

Біомаса (всього на землі), т	$1,8 \times 10^{12}$
Целюлоза (всього на землі), т	$7,2 \times 10^{11}$
Карбон, що засвоюється щорічно рослинами, т	2×10^{11}
Енергія, що засвоюється рослинами щорічно, Гкал	3×10^{12}
Світове використання енергії щорічно, Гкал	1/10 (від 3×10^{12})
Світове споживання енергії з їжею (за рік), Гкал	1/200 (від 3×10^{12})

Біоконверсія сонячної енергії здатна зробити суттєвий внесок у вирішення енергетичної кризи (потік сонячної енергії на землю на багато порядків перевищує енергетичні потреби людства), а також у вирішення проблем екологічної безпеки народного господарства (зниження викидів токсичних речовин та CO_2 з продуктами згоряння).

Довгострокову акумуляцію дає біоконверсія. Спеціальне вирощування біомаси з подальшим її переробки в спирт або метан дозволяє створити значні кількості екологічно безпечного органічного палива. Недоліком системи біоконверсії є низький (коефіцієнт корисної дії) ККД перетворення сонячної енергії.

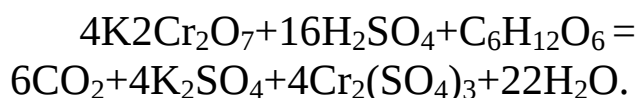
Фотометричне визначення інтенсивності фотосинтезу за накопиченням органічних речовин

Принцип дослідження заснований на фотометричному аналізі поглинутого світла забарвленими розчинами у видимій частині спектру. Розчини багатьох речовин, в тому числі і пігментів рослин, мають характерне забарвлення, яке обумовлене вибіркоvim поглинанням світла йонами та молекулами. Інколи забарвлення проявляється вже після розчинення речовин у воді або іншому розчиннику. Однак найчастіше забарвлення викликають, додаючи

до розчину реактив, який взаємодіє з речовиною, що потрібно визначити, і утворює забарвлений розчин.

Вимірюючи поглинання світла забарвленим розчином або порівнюючи отримане забарвлення з забарвленням розчину з відомою концентрацією, визначають вміст забарвленої речовини у розчині, що аналізують.

Під час спалення рослинного матеріалу у хромовій суміші відбувається окислення вуглеводів за наступною схемою:



У результаті цього процесу йони Cr^{6+} жовтого кольору відновлюються до йонів Cr^{3+} зеленого кольору. Кількість йонів Cr^{3+} знаходиться у лінійній залежності від кількості окисненої глюкози. Аналіз вмісту вуглецю заснований на визначенні змін оптичної густини розчину хромової суміші після спалення у ній рослинного матеріалу.

Вимірювання проводять на фотоелектроколориметрі або спектрофотометрі за довжини хвилі 528-590 нм (жовтий світлофільтр). Для визначення кількості вуглецю у рослинному матеріалі використовують калібрувальний графік.

Хід роботи.

1. Відібрати пробу з половинки листка (вміст вуглецю повинен становити 2-4,5 мг). Перенести у пробірку, прилити 10 мл хромової суміші.

2. Отриману реакційну суміш кип'ятять упродовж 5 хв.

3. Після повного охолодження розчин з пробірки кількісно переносять у мірну колбу на 50 мл і доводять водою до мітки, перемішують.

Оптичну густину хромової суміші визначають за допомогою фотоколориметру або спектрофотометру. В якості контролю використовують чисту хромову суміш, оптичну густину якої вимірюють на фотоколориметрі.

4. Через 2-3 год визначення вмісту вуглецю повторюють, відбираючи проби з другої половинки листка. За оптичною густиною чистої хромової суміші ($D_{\text{контр.}}$) та хромової суміші після спалення листків ($D_{\text{досл.}}$) обчислюють кількість органічної речовини у пробі в перерахунку на глюкозу. Попередньо обчислюється

коефіцієнт K_{2l} за котангенсом кута нахилу калібрувального графіка ($\text{ctg } \alpha$) для отриманої оптичної густини.

$$M_{\text{гл.}} = K_{\text{гл.}} \cdot (D_{\text{досл.}} - D_{\text{контр.}}).$$

Виходячи зі співвідношення атомних (або молекулярних мас), можна перерахувати вміст органічної речовини на вуглець (M_C) або вуглекислий газ (M_{CO_2}):

$$\begin{aligned} M_C &= 0.4 \cdot M_{\text{гл.}} = 0.4 \cdot K_{\text{гл.}} \cdot (D_{\text{досл.}} - D_{\text{контр.}}), \\ M_C &= 1.47 \cdot M_{\text{гл.}} = 1.47 \cdot K_{\text{гл.}} \cdot (D_{\text{досл.}} - D_{\text{контр.}}), \end{aligned}$$

де:

$M_{\text{гл}}$ – кількість глюкози, яка відповідає вмісту органічної речовини у рослинній пробі, мг;

0,4 та 1,47 – коефіцієнти перерахунку відповідно на вуглець та діоксид вуглецю.

Далі проводять перерахунок кількості вуглецю та поглинутого вуглекислого газу (мг) на одиницю сирої маси (1 г) або на одиницю площі листка (1 cm^2 , 1 dm^2). Кількість вуглецю органічної речовини (в мг), яка міститься у одиниці площі листка, розраховують за формулою:

$$X = \frac{0.4 \cdot M_{\text{гл.}}}{S}.$$

Для обчислення інтенсивності фотосинтезу розраховують різницю між вмістом вуглецю до витримки рослини на освітлення (X_1) та після зняття досліду (X_2), віднесення до часу досліду:

$$I = \frac{X_2 - X_1}{t},$$

де:

X_1 – вміст вуглецю до експозиції, мг;

X_2 – вміст вуглецю після експозиції, мг;

T – час експозиції, год.

Побудова калібрувального графіку. Для визначення кількості вуглецю у рослинному матеріалі будують калібрувальний графік. Для цього в одинадцять пробірок наливають 0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 та 1,0 мл стандартного розчину глюкози, 10 мл

хромової суміші. Реакційну суміш кип'ятять упродовж 5 хв на піщаній бані.

Після охолодження розчини з пробірок кількісно переносять у мірні колби на 50 мл, доводять до мітки водою, перемішують і вимірюють оптичну густину на фотоелектроколориметрі (кювети завтовшки 3 см).

За отриманими точками залежності оптичної густини від кількості глюкози будують калібрувальний графік. За котангенсом кута нахилу калібрувального графіка ($\text{ctg } \alpha$) знаходять коефіцієнт (K_{gl}) для глюкози (він дорівнює котангенсу кута α). Цей показник знаходять як відношення a/b .

Приготування розчину біхромату калію. Для приготування 1 л 0,4N розчину біхромату калію ($K_2Cr_2O_7$) наважку (19,614 г) розчиняють в мірній колбі на 1 л приблизно у 500 мл води. В якості каталізатора додають 10 мл 10% розчину сірчаної кислоти міді ($CuSO_4 \times 5H_2O$) об'ємом розчину доводять до мітки водою. Хромову суміш 0,2N концентрації, необхідну для фотоколориметричного визначення вуглецю, отримують розведенням 0,4 розчину $K_2Cr_2O_7$ концентрованою H_2SO_4 у співвідношенні 1:1.

Контрольні питання

1. Яку ви знаєте енергію живої природи. Дайте пояснення кожному виду енергії.
2. Що таке біоконверсія, який її принцип роботи?
3. Що таке трансформація сонячної енергії?
4. Охарактеризуйте напрямки трансформування сонячної енергії біологічними системами.
5. Що включає в себе сировинна база для біоенергетики?
6. Дайте визначення поняття «біомаса». Які форми біомаси придатні для використання її як енергоносія?
7. Як вирішуються питання охорони довкілля за використання біомаси як джерела енергії?
8. Які існують обмеження у використанні біомаси як джерела енергії?

Лабораторна робота № 4

Тема. Технологічні особливості одержання біоетанолу.

Мета роботи. Розглянути новітні конструктивні рішення у галузі одержання біоетанолу. Охарактеризувати продуцентів біоетанолу та методи метаболічна інженерії продуцентів.

Завдання:

- 1. Охарактеризувати принципові технологічні схеми одержання біоетанолу першого та другого покоління.**
- 2. У лабораторних умовах одержати біоетанол.**
- 3. Дослідити фізико-хімічні властивості одержаного біоетанолу (горючість спиртів, виявлення води в спирті, висолювання етилового спирту та утворення алкоголятів натрію і їх гідроліз, окиснення етилового спирту калій перманганатом та оксидом купруму (II), виявлення сивушного масла в спирті) .**

Теоретичні основи

Після декількох нафтових криз світове співтовариство розпочало активні пошуки альтернативних видів палива, в тому числі біопалива на основні відновлювальної сировини. Нестабільність виробництва та поставки енергоносіїв у світі зумовлюють пошук та використання нетрадиційних видів біопалива. Останнє десятиліття широкого попиту на ринку здобули рідкі види біопалива у вигляді біоетанолу, що отримується на основі бродіння крохмалю і цукровмісної сировини – зерно, картопля, цукрова тростина, цукровий буряк, відходи харчової промисловості (меляса, сироп тощо). У меншому масштабі застосовують процеси гідролізу целюлози з геміцелюлози, а також ензиматичний гідроліз целюлози.

Біоетанол – це рідке паливо на спиртовій основі. В більшості випадків використовується не чистий біоетанол, а в суміші з бензином для підвищення його октанового числа і зменшення токсичності відпрацьованих газів. Не дивлячись на те, що такого роду паливо має спиртову основу, спирт, який входить до його складу відрізняється від того, який використовується при виготовленні алкогольних напоїв. У цьому спирті практично немає води і виготовлений він за допомогою спеціальної процедури, яка носить назву скорочена дистиляція.

На відміну від виробництва харчового спирту, де застосовують переважно "сухий" спосіб виробництва у технології біоетанолу використовують "мокрый" спосіб (рис. 1). У "мокрому" процесі спочатку виділяють глютен і крохмаль, який потім спрямовують на виробництво етанолу, у "сухому" глютен не виділяють. Для виробництва біоетанолу, зазвичай, достатньо двох ректифікаційних колон, тоді як на заводі харчового спирту таких колон п'ять.

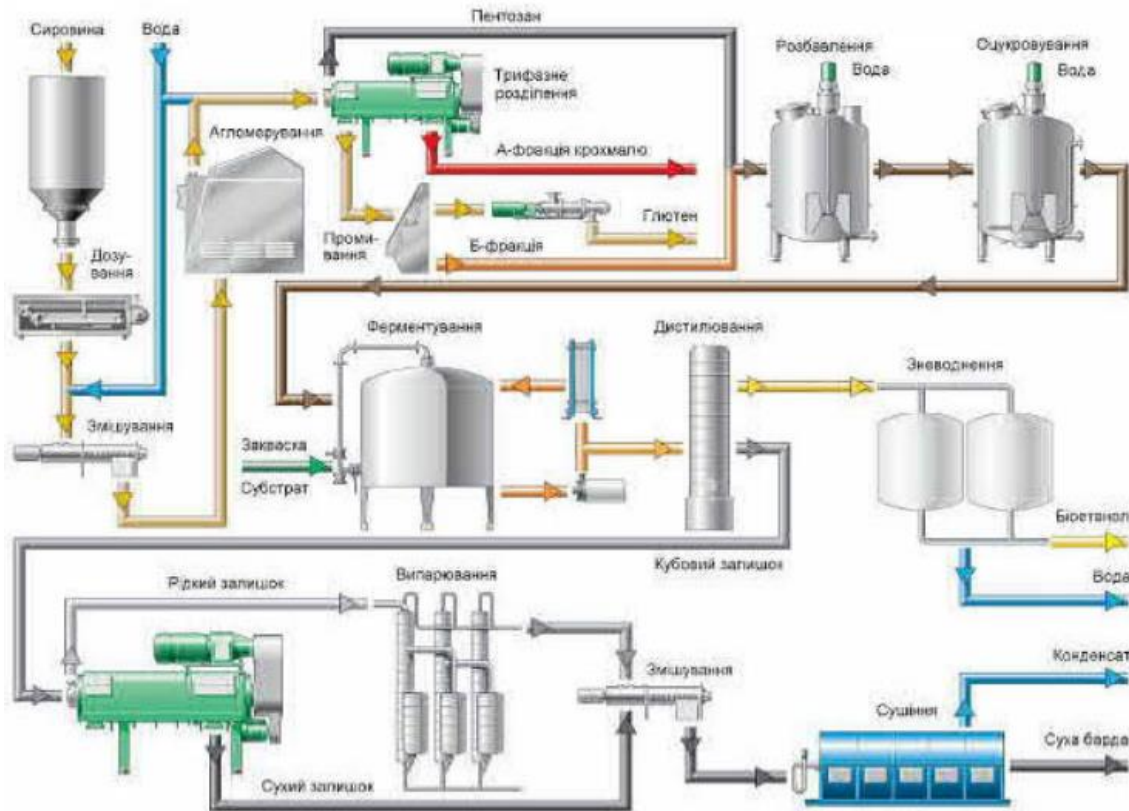


Рис. 1. Принципова технологічна схема одержання біоетанолу

Паливний біоетанол, на відміну від харчового спирту, можна одержувати з целюлози та рослинних відходів сільського господарства (рис.2). Одержання паливного біоетанолу вимагає додаткового зневоднення продукту, оскільки внаслідок присутності 4% води в дистиляті відбуватиметься розшарування спирто-бензинової суміші.

Зазвичай, зневоднення біоетанолу здійснюють на молекулярних ситах – мікропористих тілах, що вибірково поглинають речовини, молекули яких менші, ніж розміри мікропор. Процес зневоднення на молекулярних ситах відбувається таким чином: парова фаза (що складається з води та етанолу) надходить в між трубний простір апарата зневоднення; водяна пара (молекули

якої менше пор селективної мембрани) проходить крізь керамічну трубку з цеолітовим напленням і захоплюється вакуумним насосом, а пара етанолу (молекули якого більше, ніж пори сита) виходить з апарата і прямує до конденсатора зневодненого етанолу.

Спирт етиловий технічний як основа біоетанолу може виготовлятися з нехарчової або вуглеводовмісної сировини різними галузями: гідролізною, нафтохімічною, харчовою.

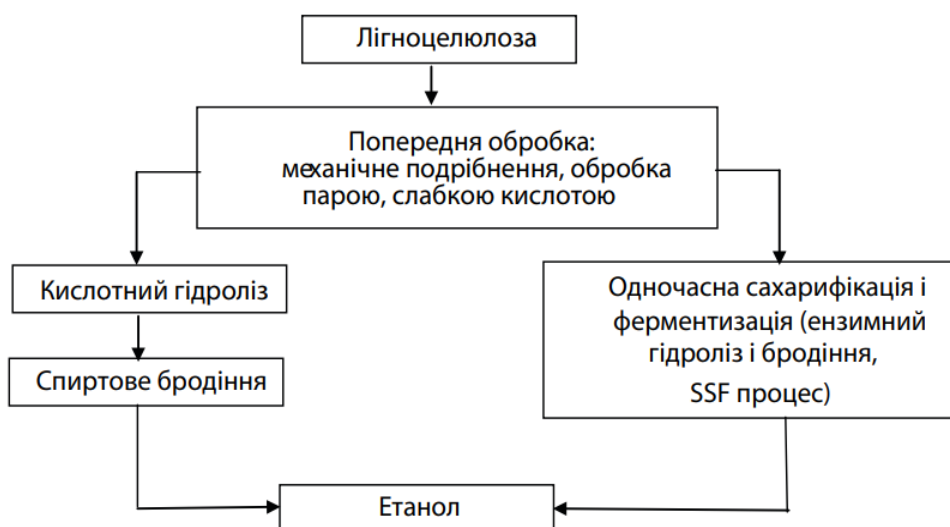


Рис.2. Технологічні етапи перетворення лігноцелюлози в біоетанол

Використання етанолу як палива стало на сьогоднішній день одним із важливих напрямків розвитку світової економіки. І тому науковий пошук у світі наразі проводиться як у напрямку удосконалення технологій отримання біоетанолу першого покоління, так і розвитку науково-технічних основ отримання біоетанолу другого покоління (з біомаси).

До продуцентів біоетанолу відносять:

- дріжджі (*Saccharomyces cerevisiae*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Saccharomyces uvarum*, *Saccharomyces rosei*, *Saccharomyces rosei*, *Kluyveromyces merxianus*, *Candida tropicalis*, *C. shehata*, *Pichia stipitis*, *Pahysolem tannofltus*, *Kluyveromyces fragilis*, *K. Lactis*);
- гриби (*Trichoderma reesei*, *Rhizopus sp.*);
- бактерії (*Zymomonas mobilis*, *Z. anaerobia*, *Sarcina ventriculi*, *Thermoanaerobacter ethanolicus*, *Clostridium thermocellum*, *Cl. Thermohydrosulfaricum*).

Матеріали та обладнання: рослинний субстрат, газовий підігрівач, скляні ємкості, трубки-холодильники, гумові шланги, два скляних спиртоміри (на 20°C) з шкалою від 0 до 50% (об) і від 50 до 100 % (об), спиртові термометри, два мірних циліндри на 500 мл і два на 1000 мл, дві колби місткістю 0,5 і 2 л кожна.

Хід роботи

1. Задля отримання зразків біоетанолу необхідно попередньо підготувати сировину. Рівномірне подрібнення зерна дозволяє прискорити переробку, знизити собівартість та підвищити вихід кінцевого продукту, тому перш за все обраний субстрат треба ретельно подрібнити.

2. Подрібнену рослинну сировину піддати зрідженню і цукруванню (додаванню теплої води з отриманням суспензії). Через деякий час до отриманого субстрату додати дріжджі, завдяки яким глюкоза перетвориться на етиловий спирт та вуглекислий газ за схемою:



3. Отримана брага піддається простій перегонці за допомогою конструкції, зображеною на рисунку 3.

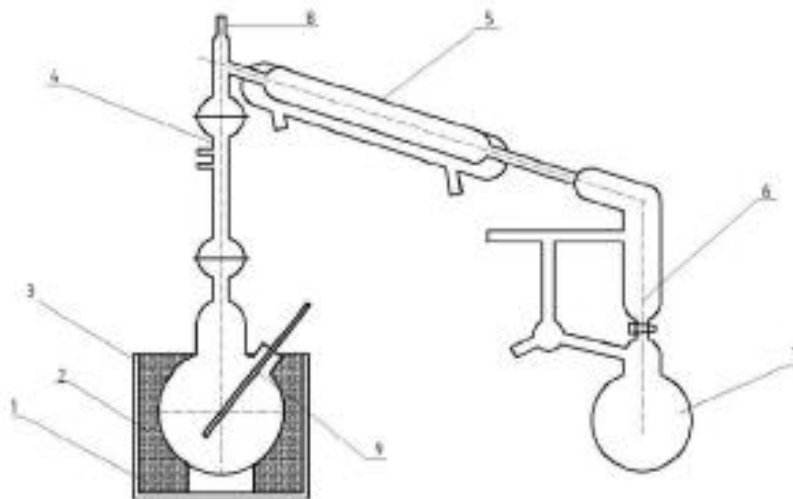


Рис. 3 Схема установки для простої перегонки

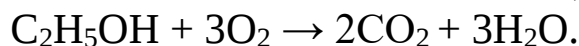
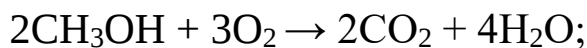
Установка для перегонки складається з перегінного куба (3), який знаходиться в піщаній бані (1), обладнаний електронагрівником (2), пристрою для дефлегмації (4), холодильника (5), кубового-відбірника (6), прийомної колби (7) та термометрів (8, 9).

4. Для того, щоб отримати паливний етанол із спирту-сирця, отриманий продукт треба піддати зневодненню та очистці. Воду можна видаляти за допомогою молекулярних сит, дифузного випаровування через мембрану або азеотропною перегонкою з розділяючим агентом.

5. Провести якісні реакції з отриманим кінцевим продуктом (досліди 1-7) та сформулювати висновок.

Дослід 1. Горючість спиртів

В окремі невеликі фарфорові чашки або тиглі наливають по 2-3 мл різних спиртів, запалюють їх і спостерігають горіння. Зі збільшенням молекулярної маси спиртів, тобто процентного вмісту Карбону, світіння полум'я збільшується. Продуктами горіння є вода і вуглекислий газ:



Дослід 2. Виявлення води в спирті

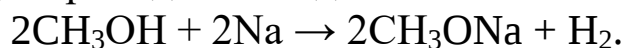
Сині кристали мідного купоросу $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ нагрівають у фарфоровому тиглі до повного знебарвлення кристалів. Після охолодження отриманий білий порошок сульфату купруму CuSO_4 всипають у пробірку або невелику колбу з 10-15 мл звичайного етилового спирту. Посиніння сульфату купруму свідчить про наявність води у спирті (утворюється кристалогідрат $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

Дослід 3. Висолювання етилового спирту

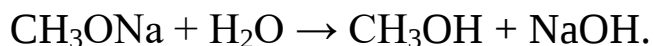
Водний 50%-ний розчин етилового спирту змішують у пробірці з твердим карбонатом калію. За умови достатньої кількості останнього утворюються два шари: верхній – спирт (91,05 %), що за підпалювання горить; нижній – концентрований розчин карбонату калію, що містить лише сліди спирту.

Дослід 4. Утворення алкоголятів натрію та їх гідроліз

У пробірку наливають 2-3 мл метилового або етилового спирту, додають шматочок Натрію, попередньо очищеного й висушеного фільтрувальним папером. При цьому спостерігається взаємодія його із спиртом з утворенням алкоголяту натрію й Гідрогену. Реакція проходить з виділенням тепла за рівнянням:



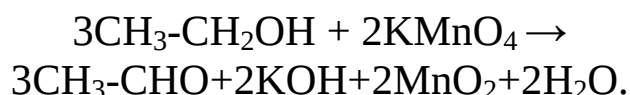
Гідроген, що виділяється під час реакції, збирають у пробірку і підпалюють. Швидкість утворення алкоголятів поступово зменшується у разі збільшення молекулярної маси спиртів. Після повного розчинення Натрію алкоголят, що утворюється, розкладається водою:



Одержаний розчин випробовують фенолфталеїном. Характерне забарвлення в малиновий колір вказує на лужне середовище.

Дослід 5. Окиснення етилового спирту калій перманганатом

У пробірку наливають 1-2 мл етилового спирту, додають 1 мл водного розчину калій перманганату і нагрівають суміш. При цьому утворюється оцтовий альдегід із характерним запахом, калій перманганат знебарвлюється і випадає бурий осад оксиду мангану IV:



За надлишку калій перманганату оцтовий альдегід окиснюється до оцтової кислоти.

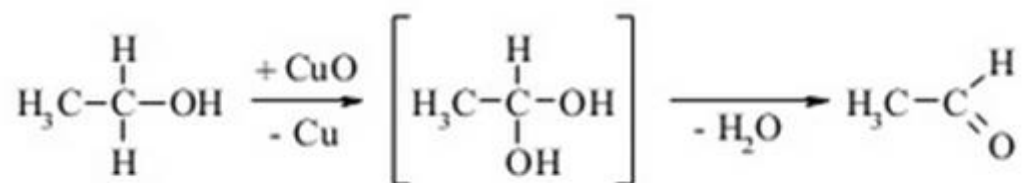
Дуже енергійно проходить реакція окислення етилового спирту твердим калій перманганатом за наявності концентрованої сульфатної кислоти. В фарфорову чашку насипають 2-3 г твердого калій перманганату і приливають 1-2 мл концентрованої сульфатної кислоти до утворення кашоподібної суміші.

До цієї суміші обережно по краплях добавляють 0,5-1,0 мл етилового спирту. Спирт самозапалюється, що свідчить про активне окиснення. Дослід треба проводити дуже обережно, оскільки можливе розбризкування суміші.

Дослід 6. Окиснення спиртів оксидом купруму (II)

У пробірку наливають 3-4 мл одного зі спиртів: метилового, етилового, пропілового або бутилового. З мідного дроту виготовляють спіраль, яку прожарюють у полум'ї пальника до червоного кольору. Купрум окиснюється до оксиду купруму (II). Розжарену спіраль вносять у пробірку зі спиртом. Відбувається

окислення спирту й відновлення оксиду купруму до вільної міді червоного кольору:



Операцію повторюють два-три рази. Мідну спіраль виймають, вміст пробірки охолоджують і додавають кілька краплин фуксинсульфітної кислоти. Червоно-фіолетове забарвлення свідчить про наявність альдегіду.

Дослід 7. Виявлення сивушного масла в спирті

У дві пробірки наливають по одній краплі концентрованої сульфатної кислоти і додають; в першу – 10 крапель спирту-ректифікату, в другу – 10 крапель спирту-сирцю. Потім у кожну пробірку додають по п'ять крапель 0,01%-ного розчину фурфуролу. Залежно від кількості сивушного масла в досліджуваному спирті розчин забарвлюється від рожевого до червоного кольору.

Контрольні питання

1. Які методи застосовують для розділення рідких однорідних сумішей?
2. Що таке проста перегонка і для яких сумішей її застосовують?
3. Які основні вимоги техніки безпеки при проведенні перегонки?
4. Які біологічні агенти можуть бути використані при зброджуванні рослинної органічної маси?
5. Який процес застосовується замість простої перегонки для отримання більш якісного продукту під час промислового виробництва біоетанолу?
6. Що передбачає концепція виробництва біоетанолу в Україні? Яким характеристикам повинен відповідати біоетанол?

Лабораторна робота № 5

Тема. Особливості виробництва дизельного біопалива.

Мета роботи. Розглянути сучасні наукові розробки та конструктивні рішення у галузі одержання біодизельного пального.

Завдання:

1. *Ознайомитися з принциповою схемою технологічного процесу одержання дизельного біопалива.*

2. *Описати технологічну схему лінії виробництва метилових естерів високомолекулярних жирних кислот.*

3. *Дослідити фізико-хімічні властивості ріпакової олії (визначити кислотне та йодне число, число омилення та естерне число зразку ріпакової олії).*

Теоретичні основи

Біодизель (дизельне біопаливо, MEPO, PME, RME, FAME, EMAG, SME, SFME, біонафта тощо) – екологічно чистий вид біопалива (паливна добавка), яке синтезується із рослинних олій чи тваринних жирів і використовується для заміни нафтового дизельного палива. З хімічної точки зору – це суміш метилових або етилових естерів високомолекулярних жирних кислот (насичених і ненасичених).

Біодизель є альтернативним паливом. Біодизель у нашій країні найчастіше виробляють з ріпакової олії (84%), проте залежно від географічного розташування і природно-кліматичних умов використовується соняшникова олія (13%) та інші олії (3%): конопляна, олія ятрофи (пляшкове дерево).

Класична технологія виробництва біодизельного пального доволі проста: одержану після пресування олію, очищають від побічних продуктів, потім за допомогою метилового спирту в присутності каталізатора з триацилгліцеролів олії видаляється гліцерол, і на виході отримується дизельне пальне (рис.1). У ході додаткових заходів (очищення, дистиляції, кондиціонування) отримане паливо звільнюють від надлишків метанолу, каталізатору. Для запобігання мікробному псуванню біодизеля на стадії очищення і стабілізації біопалива використовують паливні присадки (біоциди) та проводять зневоднення готового продукту.

Одержане пальне не тільки біологічно чисте, але й конкурентоспроможне та надійне в роботі. Гліцерол можна

використовувати як сировину в подальших хімічних перетвореннях, наприклад, для одержання гліфталевих смол – сировини для виготовлення гліфталевих розчинів для ґрунтування поверхонь і емалей, а також у хімічній, фармацевтичній, медичній та інших галузях промисловості.

Виробництво біодизельного пального треба розглядати як безвідходну технологію переробки сировини та комплексного використання всіх продуктів переробки.

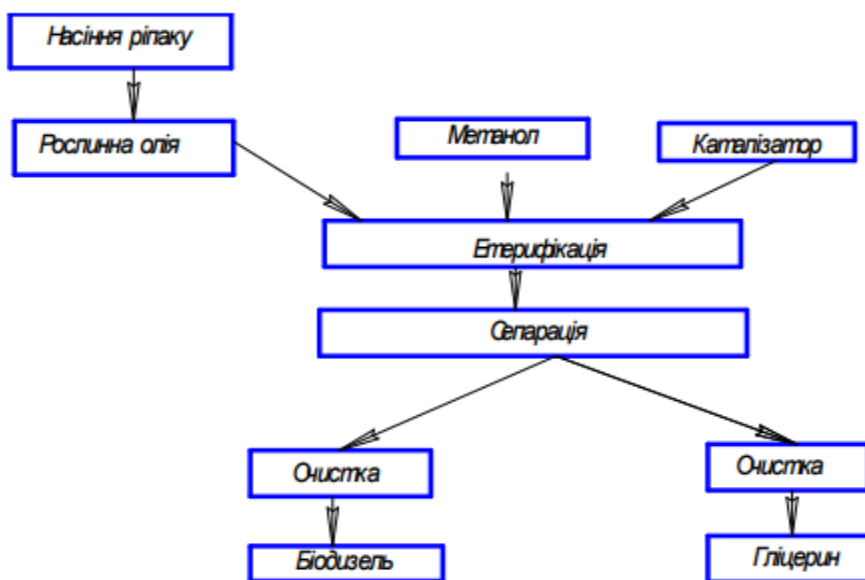


Рис.1. Традиційна технологічна схема виробництва біодизельного пального з насіння ріпаку

Сам технологічний процес одержання біодизелю є нескладним. У процесі естерифікації, насичені та ненасичені високомолекулярні жирні кислоти взаємодіють із метиловим або етиловим спиртом. Реакція відбувається в присутності каталізатора, зазвичай КОН, NaOH чи NaOCH₃, з утворенням естерів та гліцеринової фази у співвідношенні: 10% естерів, 56% гліцеролу, 13% високомолекулярних жирних кислот, 9% неорганічних солей, 8% води та 4% метилового спирту. Якщо отриманий біодизель має низьку температуру спалаху, це свідчить про недостатність очищення від метанолу.

Для ефективного одержання біодизеля необхідно в технологічний процес виробництва біодизельного палива ввести додаткову операцію (алкоголіз, піроліз чи емульгування) (рис. 2). Алкоголіз є одним із ключових та найважливіших процесів виробництва безпечного для навколишнього природного середовища палива з рослинних олій.

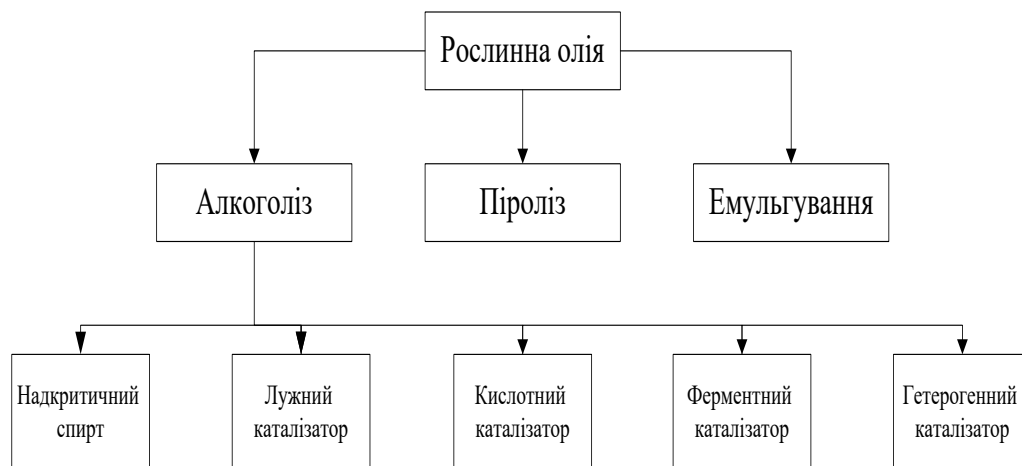
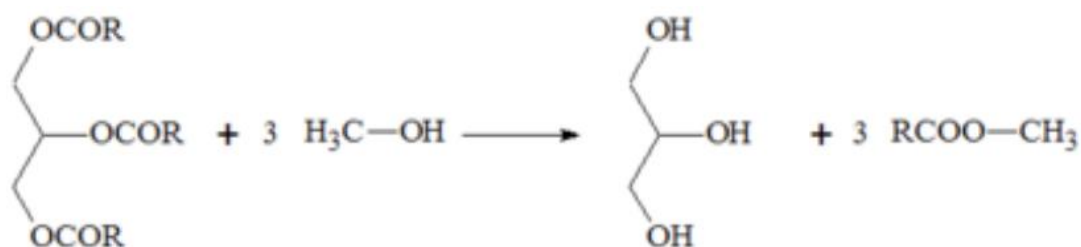


Рис. 2. Класифікація технологій виробництва рідкого біопалива з рослинних олій

Цей процес широко використовується для промислового та лабораторного отримання складних ефірів жирних кислот. Якщо у цьому процесі використовується метанол то ця реакція називається метаноліз.



Алкохоліз найбільш повно (98%) проходить при застосуванні метанолу, а потім зменшується при збільшенні молекулярної маси спирту, алкохоліз за використання етанолу та пентанолу становить всього 35,3 і 11,5% відповідно. Слід зазначити, що із збільшенням молекулярної маси спирту зростає молекулярна маса ефірів, а це негативно впливає на їхні паливні якості. Однак, для виробництва біодизелю використовують також етанолову та ізопропанолову технології, які є складніші (вимагають наявності каталізаторів та апаратури, яка б могла працювати за умов високого тиску).

Умовно технології виробництва дизельного біопалива можна розглядати як **промислові** (багатоступінчаста технологія переробки рослинної олії у дизельне біопалива з використанням метанолу) так й **агропромислові** (скорочений варіант промислових технологій, спеціально адаптованих для задоволення власних потреб сільськогосподарських господарств у паливі).

Розробляються способи одержання біодизелю з використанням твердих гетерогенних каталізаторів, Гетерогенні каталізатори

тверді і тому майже не витрачаються. Після метанолізу з використанням даного виду каталізаторів метилові ефіри жирних кислот не потребують промивок. Це дуже перспективна технологія одержання біодизеля, але її можна реалізувати на заводах із великою потужністю.

Наразі в Україні найефективнішим технологічним процесом виробництва біодизельного палива є алкоголіз олій метанолом у дві стадії: спочатку з кислотним, а потім з лужним каталізаторами. Вимоги до якості ріпакової олії, яких слід дотримуватись у процесі виробництва метилових ефірів жирних кислот для дизельних двигунів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Вимоги до якості ріпакової олії та метилового ефіру.

Найменування показника	Одиниця вимірювання	Ріпакова олія	Метиловий ефір
Густина, 15°C	Кг/м ³	900-930	860-900
Цетанове число			> 51
Вміст сірки	Мг/г	<20	<10
Точка спалаху	°C	220	101
Енергетична цінність	МДж/кг	35	35
Вміст попелу (SO ₄)	% (м/м)	<0,01	<0,02
Вміст води	Мг/кг	750	500
Тверді забруднення	Мг/кг	25	24
В'язкість, 40°C	Мг/кг	<38	3,5-5,0
Кислотне число	Мг КОН/г	<2	0,5
Йодне число	г/100г	100-120	<120
Вміст ефірів	% (м/м)		>96,6
Вміст метилового ефіру	% (м/м)		<12
Вміст метанолу	% (м/м)		<0,2
Вміст моно гліцеридів	% (м/м)		<0,8
Вміст вільного гліцеролу	% (м/м)		<0,25
Вміст фосфору	Мг/кг	<15	<10
Гранична температура фільтрованості	°C		-10

На третьому етапі виробництва біодизеля, залежно від принципу організації процесу виробництва, виділяють дві

технології отримання біопалива:

- періодичну, за якої процес одержання біодизеля проходить у різний час послідовно у декілька окремих стадій, має широку гамму відносно простого та дешевого обладнання для різних масштабів виробництва;

- неперервну (проточну), коли всі окремі стадії виробництва біодизеля відбуваються одночасно та паралельно. Перевага даної технології у менших розмірах обладнання, але воно складне. Контролювати якість біодизеля важче ніж при періодичному процесі.

Одержують метилові ефіри жирних кислот для дизельних двигунів з триацилгліцеролів олій реакцією алкоголізу або її ще називають трансетерифікацією, а з вільних жирних кислот – під час реакції етерифікації. Якщо кислотне число олії менше 2 (табл. 1), то технологічний процес виробництва біодизельного палива спрощується, вимагає тільки реакції трансетерифікації. В іншому випадку, щоб не ускладнювати виробничий процес додатковою операцією, олію нейтралізують. Тому алкоголіз ключова операція виробництва біодизельного палива.

Незаперечна цінність біодизеля в його екологічній чистоті й можливості одержувати з відновлюваної сировини. У природних умовах біодизель та мастила з ріпаку знешкоджуються мікроорганізмами впродовж 7-8 днів на 95%. Однак, якість одержаного біодизеля безпосередньо залежить від фізико-хімічних властивостей олії.

Для характеристики властивостей рослинних олій служать константи, або жирові числа – кислотне число, йодне число, естерне число, число омилення.

Кислотне число показує ступінь розщеплення жиру, тобто характеризує вміст у ньому вільних жирних кислот та інших титруємих лугом речовин (в перерахунку на олеїнову кислоту). Кислотність також є одним з показників якості олій, оскільки вона збільшується в результаті окиснення і гідролітичного розкладання нейтральної молекули триацилгліцеролів до вільних жирних кислот. За кількістю вільних жирних кислот, які містяться в олії, можна судити про його свіжість, тому що в природних жирах їх мало. Під час зберігання і нагрівання жиру кількість вільних жирних кислот зростає.

Для визначення вмісту кислотного числа в оліях та жирах можна використовувати як традиційний титриметричний метод, так й сучасні, більш швидкі способи з використанням фотометрії. Кислотне число характеризує кислотність жиру і вимірюється воно кількістю мг калію гідроксиду, необхідного для нейтралізації вільних жирних кислот, що містяться в 1 г жиру.

Йодне число – кількість грамів йоду, що може приєднатися до 100 г олії. Ця константа дозволяє судити про ступінь насичення олії. Найбільш простий метод визначення йодного числа базується на реакції між йодноватистою кислотою і ненасиченими жирними кислотами, що містяться в жирах як у вільному, так і у зв'язаному стані.

Йодне число характеризує кількість подвійних зв'язків у ненасичених жирах і жирних кислотах. Йодне число визначає загальну не насиченість жирів. Чим вище йодне число, тим більше ненасичених кислот міститься у жирі, і відповідно така сполука може приєднати більше атомів йоду. Цей умовний показник разом з іншими фізичними показниками може служити як додатковий показник, який характеризує ступень не насиченості жиру, наприклад, при оцінці не насиченості різних природних рослинних олій та тваринних жирів. Зокрема, високим йодним числом характеризуються більшість рослинних олій – величина йодного числа більше 100, для тваринних жирів цей показник значно нижчий і становить 30-50.

Число омилення – це кількість (мг) КОН, що йде на нейтралізацію усіх, як вільних, так зв'язаних, жирних кислот в 1 г жиру. Метод заснований на тому, що жир омилюють надлишком титрованого розчину КОН, а потім надлишок КОН відтитровують соляною кислотою. Різниця між об'ємом лугу і кислоти визначатиме число омилення жиру.

Естерним числом називають кількість мг КОН, яка потрібна для нейтралізації жирних кислот, що утворюються при омиленні 1-2 г жиру. Це число визначають за різницею між числом омилення жиру і його кислотним числом.

На рис. 3 показано технологічну схему виробництва біодизеля, і описано всі етапи виробництва біодизеля.

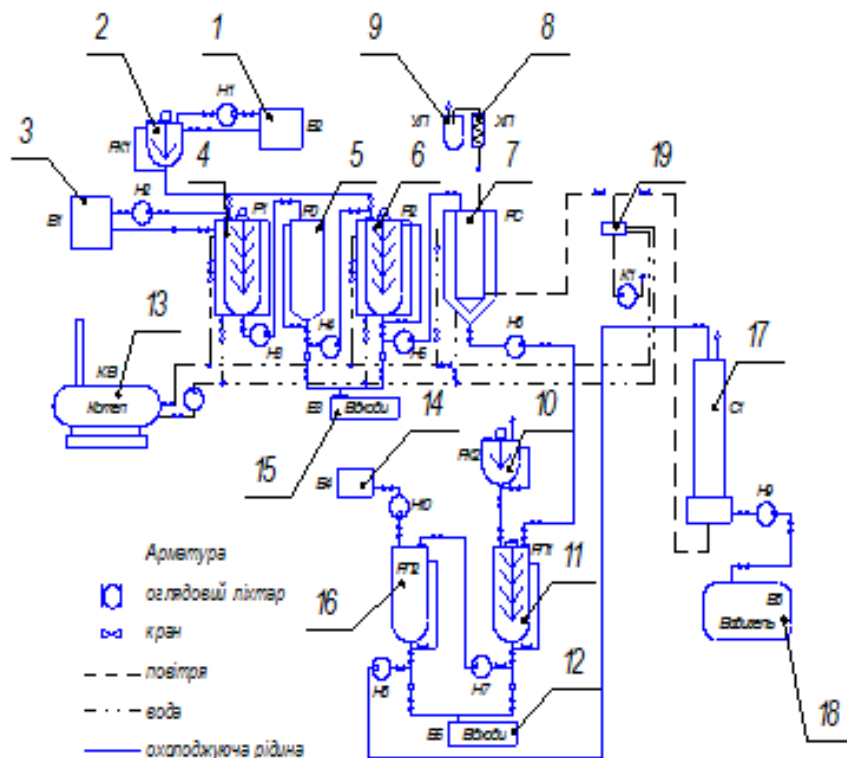


Рис. 3. Технологічна схема лінії виробництва метилових ефірів жирних кислот. Н1-Н10 - насос; К1 - компресор; Б1-Б6 - місткість; РК1-РК2 - реактор змішувач; Р1-Р2 т реактор; РВ - реактор відстійник; РС - реактор відбору метанолу; С1 - сушка; РП1-РП2 - реактор промивання; КВ1 – котел водогрійний; Т1 - теплообмінник; ХЛ - холодильник; УЛ - уловлювач; 1 - містить метанол; 2 – реактор змішувач; 3 - рослинну олію; 12 - відходи; 14 - воду; 15 - гліцерин сирий; 18 – біодизель

Завдання 1. Ознайомитися з принциповою схемою технологічного процесу одержання дизельного біопалива.

Хід роботи

1. Ознайомитися з традиційною технологічною схемою виробництва біодизельного пального з насіння ріпаку.
2. Охарактеризувати відомі технології виробництва рідкого біопалива з рослинних олій

Завдання 2. Описати технологічну схему лінії виробництва метилових естерів високомолекулярних жирних кислот.

1. Описати та прокоментувати технологічна схему лінії виробництва метилових ефірів жирних кислот (рис.3).

3. Дослідити фізико-хімічні властивості ріпакової олії.

Матеріали та обладнання: водяна баня, 5 мл спирту, 2-3 краплі фенолфталеїну, 0,5 н. розчин соляної кислоти, наважки, вода, 4 г жиру, колбочки, 80 мл. спирту, 2,5% спиртового розчину йоду, 0,1н. розчин гіпосульфїту, 1 мл 1% розчину крохмалю, широка пробірка закрита пробкою, 0,5-1 г жиру, 4-5 мл 0,5 н. спиртового розчину КОН,

Хід роботи

1. Визначити кислотне число зразку ріпакової олії.

Хід роботи: Наважку жиру (олії) 0,5 г в конічній колбі 50-100 мл розчиняють 10 мл спирт-етеру (1:1), добре перемішують для максимального розчинення вільних жирних кислот. Вносять 1-2 краплі фенолфталеїну і титрують з бюретки 0,1 н спиртовим розчином КОН до слабо-рожевого забарвлення, яке не зникає на протязі 0,5-1 хв.

Кислотне число вираховують за формулою:

$$C = \frac{V \cdot T}{a}, \text{ де}$$

V – кількість мл 0,1 н розчину КОН, що пішло на титрування проби;

T – титр 0,1 н розчину КОН (1 в мл 0,1 н розчину КОН відповідає 5,6 мг КОН);

a – маса жиру в г.

2. Визначення йодного числа.

Хід роботи:

1. Наважку жиру, приблизно 4 г, поміщають у колбочку і розчиняють в 40 мл спирту (краще безводного) при нагріванні на водяній бані при 50° С.

2. Охолоджують і додають 20 мл 2,5% спиртового розчину йоду і добре перемішують.

3. Вливають 200 мл води, знову перемішують і через 5 хвилин титрують 0,1н. розчином гіпосульфїту.

4. Наприкінці титрування додають 0,5 мл 1% розчину крохмалю і продовжують титрувати до зникнення блакитного забарвлення.

5. Так само проводять контрольний дослід, тільки замість жиру додають воду.

Розрахунок:

$$X = \frac{(a - b) \times 100 \times 0,0127}{l}, \text{ де}$$

а – кількість 0,1 н. розчину гіпосульфїту, що пішла на титрування контрольної проби, мл;

в – кількість 0,1 н. розчину гіпосульфїту, що пішла на титрування дослідної проби, мл;

l – наважка жиру;

0,0127 – кількість йоду, яка є еквівалентною 1 мл 0,1 н. розчину гіпосульфїту, г.

Для приготування розчину йоду 25 г йоду розчиняють в 1 л 96% спирту.

3. Визначення числа омилення

Хід роботи:

1. У колбу зі зворотним холодильником або в широку пробірку, закриту пробкою із вставленою довгою скляною трубкою, поміщають 0,5 г жиру, 4-5 мл 0,5 н. спиртового розчину КОН.

2. Нагрівають протягом 15 хв. на киплячій водяній бані.

3. Через 15 хв. додають 5 мл спирту, 2-3 краплі фенолфталеїну і титрують 0,5 н. розчином соляної кислоти до зникнення рожевого забарвлення.

Розрахунок:

$$X = \frac{(a - b) \times T \times 1000}{n}, \text{ мг КОН}$$

де:

а – кількість мл 0,5н КОН, доданих до проби;

в – кількість мл 0,5н соляної кислоти, що пішла на титрування надлишку КОН;

Т – титр. 0.5 н КОН;

п – наважка жиру, г.

4. Визначення естерного числа

Хід роботи:

1. Для визначення естерного числа спочатку нейтралізують вільні кислоти, що містяться у навазці 1 г досліджуваної ріпакової олії

2. Потім досліджувану ріпакову олію розчиняють у 25 мл спиртового розчину КОН і кип'ятять до завершення омилення. У

присутності індикатору фенолфталеїну надлишкову кількість КОН відтитровують стандартним розчином кислоти (наприклад, хлоридної) до зникнення рожевого забарвлення.

3. Паралельно проводять визначення для холостої проби – із аналогічною кількістю гідроксиду калію та без наважки досліджуваної речовини.

За отриманим об'ємом титранту розраховують естерне число (ЕЧ):

$$\text{ЕЧ} = 56,1 \cdot C_M \cdot (V_0 - V) / m,$$

де 56,1 — молярна маса КОН, г/моль;

C_M — молярна концентрація розчину кислоти, моль/л;

V_0 — об'єм розчину кислоти, що пішов на титрування холостої проби, мл;

V — об'єм розчину кислоти, що пішов на титрування досліджуваної проби, мл;

M — маса наважки досліджуваної речовини, г.

Зробити висновки.

Контрольні питання

1. Розповісти про фізико-хімічні властивості біодизельного палива.

2. Яка технологія виробництва дизельного палива та як вона поділяється?

3. З якої сировини виробляється більша частина біодизельного палива?

4. Що таке переестерифікація?

5. З яких основних вузлів складається біодизельна установка?

6. Які хімічні процеси лежать в основі технології виробництва біодизеля?

7. Як і коли можуть виробляти біодизель сільськогосподарські господарства?

8. Які види рідкого біопалива є нині найперспективнішими? Наведіть характеристики моторних видів палива.

9. Де може бути застосований біодизель?

10. Що таке йодне число та що воно характеризує?

11. Який принцип визначення числа омилення?

Лабораторна робота № 6

Тема. Технологічні особливості виробництва біогазу.

Мета роботи. Розглянути новітні підходи до одержання газуватого біопалива та методи інтенсифікації метанової ферментації одержання біогазу. Особливості організації стадії ферментації й стадій виділення біомаси мікроорганізмів.

Завдання:

- 1. Охарактеризувати принцип роботи експериментальної пілотної біогазової установки (рис.2).**
- 2. Описати методи інтенсифікації метанової ферментації.**
- 3. Дослідити вплив біотичних та абіотичних факторів на інтенсивність утворення біогазу із відходів сільського господарства.**

Теоретичні основи

Анаеробна деградація органічної речовини при метаногенезі здійснюється як багатоступеневий процес, в якому необхідна участь таких груп мікроорганізмів: гідролітиків, зброджувачів, ацетогенів і метаногенів. В анаеробному співтоваристві між мікроорганізмами існують складні взаємозв'язки, оскільки через субстратну специфічність метаногенів їхній розвиток неможливий без трофічних зв'язків з бактеріями попередньої стадії. Процес розкладання органічної речовини, внаслідок перебігу якого утворюється біогаз, можна розділити на чотири етапи (стадії), в кожному з яких беруть участь багато різних груп бактерій.

Стадія 1. Гідроліз. На першому етапі аеробні бактерії перебудовують високомолекулярні органічні субстанції (білок, вуглеводи, жири, целюлозу) за допомогою ензимів на низькомолекулярні сполуки, такі як цукор, амінокислоти, жирні кислоти і воду. Ензими, прикріплюються до зовнішньої стінки бактерій (так звані екзоферменти) і при цьому розщеплюють органічні складові субстрату на малі водорозчинні молекули. Полімери (багатомолекулярні утворення) перетворюються на мономери (окремі молекули). Цей процес має повільну швидкість і залежить від позаклітинних ензимів як наприклад целюлаза, амілази, протеази і ліпази. На процес впливає рівень рН (4,5-6) і час перебування в резервуарі.

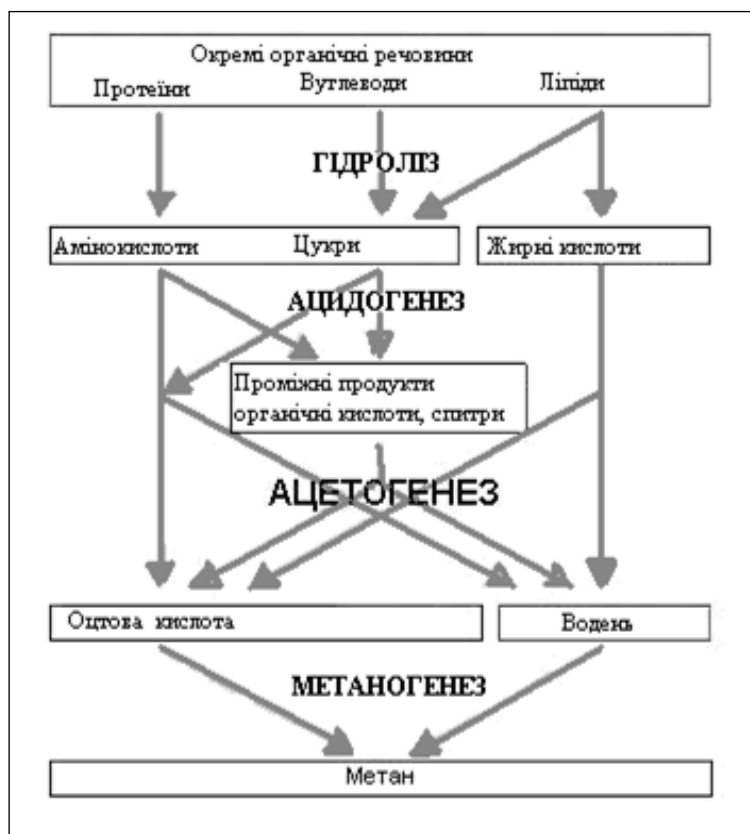


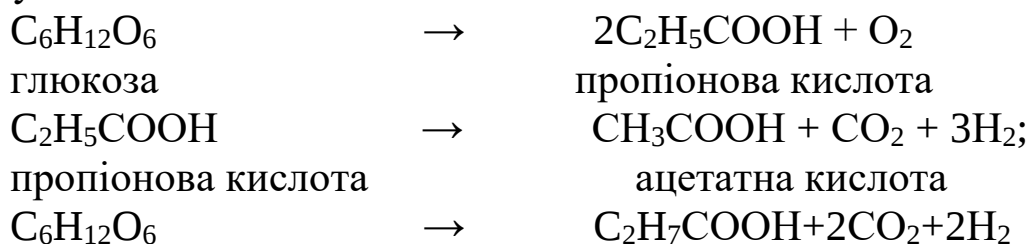
Рис. 1. Етапи анаеробного перетворення органічної речовини при зброджуванні відходів тваринництва з утворенням біопалива

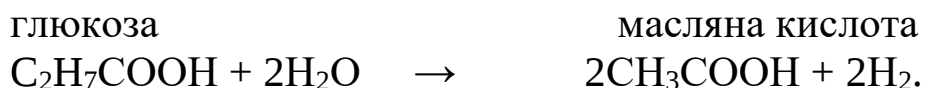
Стадія 2. Кислотоутворення. У цьому процесі частково беруть участь аеробні бактерії, вони використовують залишки кисню і створюють тим самим необхідні для метанових бактерій анаеробні умови. За рН 6-7,5 утворюються в першу чергу нестійкі жирні кислоти, карбонові кислоти (оцтова, мурашина, масляна, пропіонова кислоти), низькомолекулярні алкоголі (етанол) і гази (двоокис вуглецю, вуглець, сірководень і амоніак). Утворення амоніаку є важливим, адже він стабілізує рівень рН, нейтралізуючи дію жирних кислот. Цей етап називають фазою окиснення.

Головним продуктом цього етапу є ацетат. Наприклад, із 1 моль субстрату (глюкози) утворюється 4 моль водню і 2 моль ацетату:



Конверсія низькомолекулярних органічних речовин відбувається таким чином:





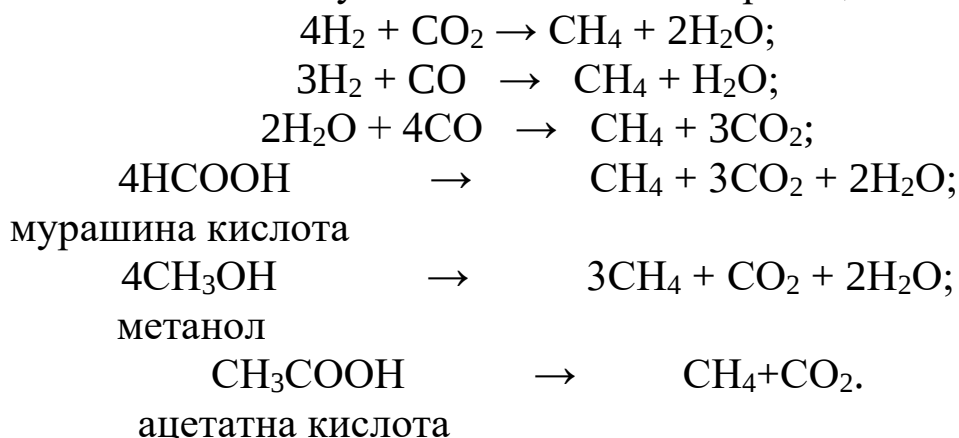
На цьому етапі близько 76% органічних речовин переходить в органічні кислоти (з них 52 % – в ацетатну кислоту) і 24% – у водень. Власне метанове бродіння відбувається на третьому етапі.

Стадія 3. Ацетогенез. На цьому етапі кислотоутворюючі бактерії з органічних кислот створюють початкові продукти для утворення метану, а саме: оцтову кислоту, двоокис вуглецю і водень. Бактерії, що знижують кількість вуглецю, є дуже чутливими до дії температури. Дія ацетатогенних бактерій стримується наявністю в середовищі водню, тому інтенсивність перебігу цього етапу залежить від метаногенезу, який забезпечує видалення утворених молекул водню.

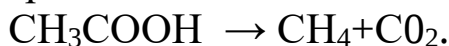
Стадія 4. Метаногенез. На останньому етапі утворюється метан, двоокис вуглецю і вода як продукт життєдіяльності метанових бактерій з оцтової і мурашиної кислоти, вуглецю і водню. 90% всього метану виробляється на цьому етапі; 70% – походить з оцтової кислоти. Таким чином, утворення оцтової кислоти (тобто 3 етап розщеплення) є фактором, що визначає швидкість утворення метану. Метанові бактерії виключно анаеробні. Оптимальний рівень рН становить 7, причому амплітуда коливань може бути в межах 6,6-8.

З біохімічної точки зору метанове бродіння є не що інше, як анаеробне дихання, в ході якого електрони з органічних речовин переносяться на діоксид вуглецю, що відновлюється до метану.

Метаногени синтезують метан за такими реакціями



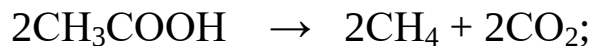
Основним субстратом для метаногенів є ацетатна кислота:



Деякі метаногени використовують як субстрат форміат, який трансформується ними в метан:



Суть процесу біометаногенезу можна виразити наступними реакціями:



Співвідношення проміжних і кінцевих продуктів у процесі метанового бродіння залежить від хімічного складу біомаси, умов ферментації і наявної мікрофлори. Не вся органічна сировина потребує проходження трьох фаз ферментації. Багато відходів, наприклад екскременти тварин, містять велику кількість частково розщепленої речовини, що підлягає проходженню послідовних фаз процесу ферментації. Водночас деякі органічні сполуки (наприклад лігнін) і всі неорганічні складові не піддаються зброджуванню.

Реакції, що відбуваються при зброджуванні органічної речовини, мають екзотермічний характер. У процесі їх проходження виділяється приблизно 1,5 МДж теплоти на 1 кг сухої речовини біомаси, що зброджується, тобто 25 кДж/моль $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ (целюлози). Цієї теплової енергії, як правило, недостатньо для підтримання відповідної температури біомаси, яку зброджують. На практиці зброджування не доводять до кінця, бо це надто збільшує тривалість процесу. Зазвичай зброджують приблизно 60% вихідного продукту.

Основну роль в анаеробній деградації органічних речовин до метану відіграють метанові археї родів *Methanosarcina*, *Methanosaeta* (*Methanothrix*), *Methanomicrobium* та інші. За їхньої відсутності чи нестачі анаеробне розкладання закінчується на стадії кислотогенного і ацетогенного бродіння, що призводить до накопичення летких жирних кислот, зниження рівня рН і зупинки процесу.

Для початку процесу зброджування достатньо забезпечити такі умови:

1. Підтримання анаеробних умов у реакторі. Підтримання оптимальної температури є одним із найважливіших чинників процесу зброджування. У природних умовах утворення біогазу відбувається за температур від 0 до 97°C, але з урахуванням оптимізації процесу перероблення органічних відходів для

отримання біогазу і біодобрих виділяють три температурні режими: психрофільний, мезофільний і термофільний.

2. Доступність поживних речовин. Для зростання і життєдіяльності метанових бактерій потрібна наявність у сировині органічних та мінеральних поживних речовин. На додаток до вуглецю і водню створення біодобрих вимагає достатньої кількості азоту, сірки, фосфору, калію, кальцію, магнію і деякої кількості мікроелементів – заліза, марганцю, молібдену, цинку та ін.

3. Час зброджування. Оптимальний час зброджування залежить від дози завантаження реактора і температури процесу зброджування. Якщо час зброджування вибрано занадто коротким, то під час вивантаження шламу бактерії з реактора вимиваються швидше, ніж можуть розмножуватися, і процес ферментації практично припиняється. Занадто тривала витримка сировини в реакторі не відповідає завданням одержання найбільшої кількості біогазу і біодобрих за певний проміжок часу. При визначенні оптимальної тривалості зброджування користуються терміном «час оборту реактора».

Час оборту реактора – це час, упродовж якого свіжа сировина, завантажена в реактор, переробляється, та її вивантажують із реактора. Для систем із безперервним завантаженням середній час зброджування визначається відношенням об'єму реактора до щоденного об'єму завантажуваної сировини. На практиці час оборту реактора вибирають залежно від температури зброджування і складу сировини в таких інтервалах: – психрофільний температурний режим: від 30 до 40 і більше діб; – мезофільний температурний режим: від 10 до 20 діб; – термофільний температурний режим: від 5 до 10 діб. Добова доза завантаження сировини визначається часом оборту реактора і збільшується (як і вихід біогазу) зі збільшенням температури в реакторі. Вибір часу зброджування залежить також від типу перероблюваної сировини. Для наступних видів перероблюваної сировини в умовах мезофільного температурного режиму час, за який виділяється найбільша частина біогазу, дорівнює приблизно: – рідкий гній КРС: 10-15 днів; – рідкий свинячий гній: 9-12 днів; – рідкий курячий послід: 10-15 днів; – гній, змішаний із рослинними відходами: 40-80 днів.

4. Кислотно-лужний баланс. Метан-синтезуючі бактерії найкраще пристосовані для існування в нейтральних або злегка

лужних умовах. У процесі метанового бродіння другий етап виробництва біогазу є фазою активної дії кислотних бактерій. У цей час рівень рН знижується, тобто середовище стає більш кислим. Проте за нормального ходу процесу життєдіяльність різних груп бактерій у реакторі проходить однаково ефективно, і кислоти переробляються метановими бактеріями. Оптимальне значення рН коливається залежно від сировини від 6,5 до 8,5.

5. Вміст вуглецю й азоту. Одним із найбільш важливих чинників, що впливають на метанове бродіння (виділення біогазу), є співвідношення вуглецю і азоту в сировині, що переробляється. Якщо співвідношення C/N надмірно велике, то недолік азоту є чинником, що обмежує процес метанового бродіння. Якщо ж це співвідношення занадто мале, то утворюється така велика кількість амоніаку, що він стає токсичним для бактерій. Мікроорганізми потребують як азоту, так і вуглецю для асиміляції в їх клітинну структуру. Різні експерименти показали: вихід біогазу найбільший за рівня співвідношення вуглецю й азоту від 10 до 20, де оптимум коливається залежно від типу сировини. Для досягнення високої продукції біогазу практикується змішування сировини для досягнення оптимального співвідношення C/N.

6. Вибір вологості сировини. Безперешкодний обмін речовин у сировині є передумовою для високої активності бактерій. Це можливо лише в тому разі, якщо в'язкість сировини допускає вільний рух бактерій і газових пухирців між рідиною й твердими речовинами, що містяться в ній. У відходах сільськогосподарського виробництва є різні тверді частинки. Тверді частинки, наприклад, пісок, глина та інші, обумовлюють утворення осаду. Більш легкі матеріали піднімаються на поверхню сировини та утворюють кірку. Це призводить до зменшення утворення біогазу. Тому рекомендується ретельно подрібнювати перед завантаженням у реактор рослинні залишки (солому та ін.) і тяжіти до відсутності твердих речовин у сировині.

7. Регулярне перемішування. Для ефективної роботи біогазової установки і підтримання стабільності процесу зброджування сировини всередині реактора потрібне періодичне перемішування. Основними цілями перемішування є: вивільнення одержаного біогазу; перемішування свіжого субстрату і популяції бактерій; запобігання формуванню кірки й осаду; відвернення ділянок різної температури всередині реактора; забезпечення

рівномірного розподілу популяції бактерій; запобігання формуванню порожнеч і скупчень, що зменшують ефективну площу реактора. Після перемішування субстрату може одержати на 50% більше біогазу. Рекомендується повільно перемішувати субстрату через кожні 4-6 годин.

Лабораторна робота. Вплив біотичних та абіотичних факторів на інтенсивність утворення біогазу із відходів сільського господарства.

Експериментальні дослідження проводили з метою визначення параметрів живильного режиму середовища росту, розвитку і ефективного функціонування метаногенних бактерій, які створюється шляхом композиції в різному співвідношенні рослинної сировини, гною сільськогосподарських тварин (великої рогатої худоби) і води та вплив на ці процеси біотичних та абіотичних факторів.

Коров'ячий гній було взято як основний субстрат, оскільки він є найбільш доступним і розповсюдженим різновидом сировини, придатної до виробництва біогазу, містить у значній кількості свої власні метаноутворюючі бактерії, легше від інших подібних субстратів піддається бродінню. Під час анаеробного бродіння коров'ячого гною, на відміну від пташиного посліду чи свинячого гною не треба слідкувати за можливим амонійним пригніченням процесу. В якості іннокуляту було взято зброджену масу після сумісного анаеробного перероблення коров'ячого гною з рослинною сировиною. Відтак мікробні популяції іннокуляту були адаптовані до анаеробного перероблення схожої сировини.

Дослідження проводились на експериментальній пілотній установці, зображеній на рис. 2. Біореактор – резервуар із металу, повністю герметичний та газонепроникний. Всередині реактора знаходиться міксер 4, який використовується для повного перемішування вмісту метантенка, він виконаний у вигляді валу з пластинами і розташований горизонтально у центральній частині резервуара, систему підігрівання 3 виконано у вигляді U-подібної трубки, що знаходиться у робочому об'ємі.

Запропонована схема біореактора забезпечує повне перемішування та ефективне нагрівання сировини за мінімуму енерговитрат. Ця конструкція біогазової установки є безперервної дії, в ній відбувається постійне виділення біогазу, що дає

можливість значно зменшити об'єм біореактора і відповідно мінімізувати тепловтрати.

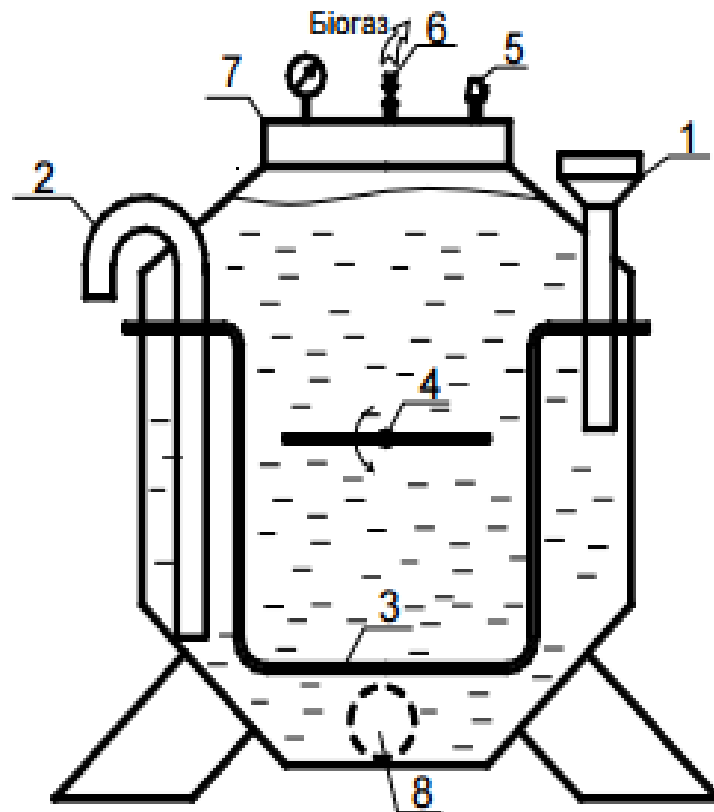


Рис. 2. Схема експериментальної пілотної біогазової установки:

1 – патрубок завантаження; 2 – патрубок розвантаження; 3 – система підігріву; 4 – міксер; 5 – скидний клапан; 6 – патрубок виходу біогазу; 7, 8 – верхній та нижній люки обслуговування

У резервуар невеликими порціями подають органічну сировину через патрубок 1, яку необхідно перемішувати міксером 4, для того, щоб на поверхні не утворювалась кірка, яка перешкоджає виходу біогазу. У холодний період року для забезпечення термостабілізації внутрішнього середовища включають систему підігрівання 3. Отриманий біогаз через патрубок 6 надходить до споживача. Надлишок біогазу скидається в атмосферу за допомогою скидного клапана 5. За необхідності через люки 7, 8 здійснюють ревізію внутрішнього об'єму.

Динаміка та вихід продукції реєструвались об'ємним газовим лічильником. Температурний режим – мезофільний (34-35°C), підтримувався за допомогою автоматичного температурного реле. Вологість субстрату в біореакторі доводили до 90% шляхом додавання води (розрахунковим методом).

Дослідження оптимального співвідношення рослинної сировини та гною великої рогатої худоби проводили згідно зі схеми досліду (табл.1).

Таблиця 1.

Схема досліду I.

Варіанти	Тривалість досліду, днів	Співвідношення рослинної сировини (РС) та гною	Маса сировини при завантаженні, співвідношення	
			РС	гній
1 варіант	40	РС + гній ВРХ	3	1
2 варіант	40	РС + гній ВРХ	1,5	1
3 варіант	40	РС + гній ВРХ	1	1
4 варіант	40	РС + гній ВРХ	0,75	1

Вміст СР (сухої речовини) в субстраті визначали за методикою, наближеною до вимог ДСТУ EN 12048:2005, – використовували шафу сушильну «ШСУ-М» та ваги лабораторні цифрові «НН-100». Вміст золи у сухому залишку вимірювали за методикою, наближеною до вимог ГОСТ 26714-86, – використовували піч муфельну «ГМ-8» та ваги лабораторні цифрові «НН-100».

Вміст СОР (сухої органічної речовини) в субстраті (f_{COP}) обчислювали за залежністю:

$$f_{\text{COP}} = \frac{m_{\text{CP}} - m_{\text{A}}}{m_{\text{S}}} \cdot 100\%,$$

де: m_{CP} – маса сухої речовини, г;

m_{A} – маса золи у сухому залишку, г;

m_{S} – маса свіжого субстрату, г.

Визначення вмісту СОР проводилось у свіжому субстраті безпосередньо перед початком експерименту та у збродженій масі відразу після завершення експерименту.

Об'єм виробленого біогазу визначали за допомогою методу витискання еквівалентного об'єму рідини. Вимірювання об'єму біогазу здійснювали візуально за показами рухомої частини газгольдера.

Температуру, де знаходилась експериментальна пілотна біогазова установка вимірювали ртутним лабораторним

термометром. Значення рН середовища вимірювали рН-метром «РН-009(І)».

Частину СОР свіжого субстрату, яка була розкладена в процесі бродіння обчислювали як різницю між значенням СОР у свіжому та переробленому субстратах:

$$\text{COP}_d = \text{COP}_{\text{св}} - \text{COP}_п,$$

де: $\text{COP}_{\text{св}}$ – значення СОР свіжого субстрату, г;

$\text{COP}_п$ – значення СОР переробленого субстрату, г.

Для метанового бродіння, згідно з опублікованими літературних даними, приріст клітинної біомаси становить 7%. Частину СОР субстрату, яка була конвертована в біогаз, обчислювали за залежністю, що враховує приріст клітинної біомаси:

$$\text{COP}_k = 0,93\text{COP}_d.$$

Ефективність перероблення субстрату характеризували ступенями деструкції та конверсії СОР. Ступінь деструкції СОР субстрату $k_{d,\text{COP}}$ визначали за залежністю:

$$k_{d,\text{COP}} = \frac{\text{COP}_{\text{св}} - \text{COP}_п}{\text{COP}_{\text{св}}} \cdot 100\%.$$

Ступінь конверсії СОР субстрату $k_{k,\text{COP}}$ з урахуванням приросту клітинної біомаси визначали за залежністю:

$$k_{k,\text{COP}} = 0,93 \cdot k_{d,\text{COP}}.$$

Провести розрахунки та зробити висновки.

Контрольні питання

- 1 Поясніть значення терміну «біогаз».
2. Якими біотехнологічними методами можна отримати біогаз?
3. Для чого використовують метанову ферментацію?
4. З яких компонентів складається пілотна біогазова установка?
5. Яким чином можна фіксувати об'єм газу, що виділяється?
6. Який температурний режим є оптимальним для мезофільної метаногенної мікрофлори?
7. Який субстрат можна використовувати для отримання біогазової суміші?

Лабораторна робота № 7

Тема. Технологічні основи одержання біопалива третього покоління з біомаси. Фотобіоніка.

Мета роботи. Ознайомитися з особливостями одержання рідких вуглеводневих палив з рослин, мікроорганізмів та гідробіонтів. Ознайомитися з особливостями створення штучних систем біоводню та питання охорони довкілля за виробництва біоводню. Технологічні основи одержання біопалива третього покоління з біомаси.

Завдання:

- 1. Дати характеристику біотехнологіям отримання біопалива третього покоління з біомаси.*
- 2. Ознайомитися з промисловим отриманням біоводню на прикладі технологічної схеми очищення стічних вод цукрового заводу та зафіксувати її в зошиті.*
- 3. Визначити загальний вміст ліпідів у зібраній культурі водоростей та дослідити їх фізики-хімічні властивості.*

Теоретичні основи

Сьогодні людство є свідком нової революції щодо отримання з нехарчової відновлюваної сировини палив, що практично за своїми властивостями не відрізняються від традиційних палив та здатні в майбутньому замінити їх. Мова йде про створення промисловості традиційного моторного палива на основі нового типу відновлюваної сировини. В якості такої сировини були вибрані водорості. Третє покоління біопалива, як вважають варто виробляти з водоростей, перероблення яких дасть змогу отримати різні види палива з накопиченої біомаси (рис. 1).

Мікрowodорості – одноклітинні «фабрики» з переробки сонячної енергії та вуглекислого газу в біопаливо. Водорості – найбільш швидкоростучі рослини у світі, вони можуть подвоювати свою масу декілька разів на день. Містять рекордну кількість олії (до 80%) та не мають аналогів в рослинному світі за цим показником (табл.1). Від рослин, що вирощуються на твердому ґрунті вони відрізняються рядом переваг: високою врожайністю; здатністю розвиватися у воді, а не на орній землі, що може бути використана під посіви інших продовольчих культур; здатністю

засвоювати промислово значиму кількість вуглекислоти; найменшими затратами води на вирощування.

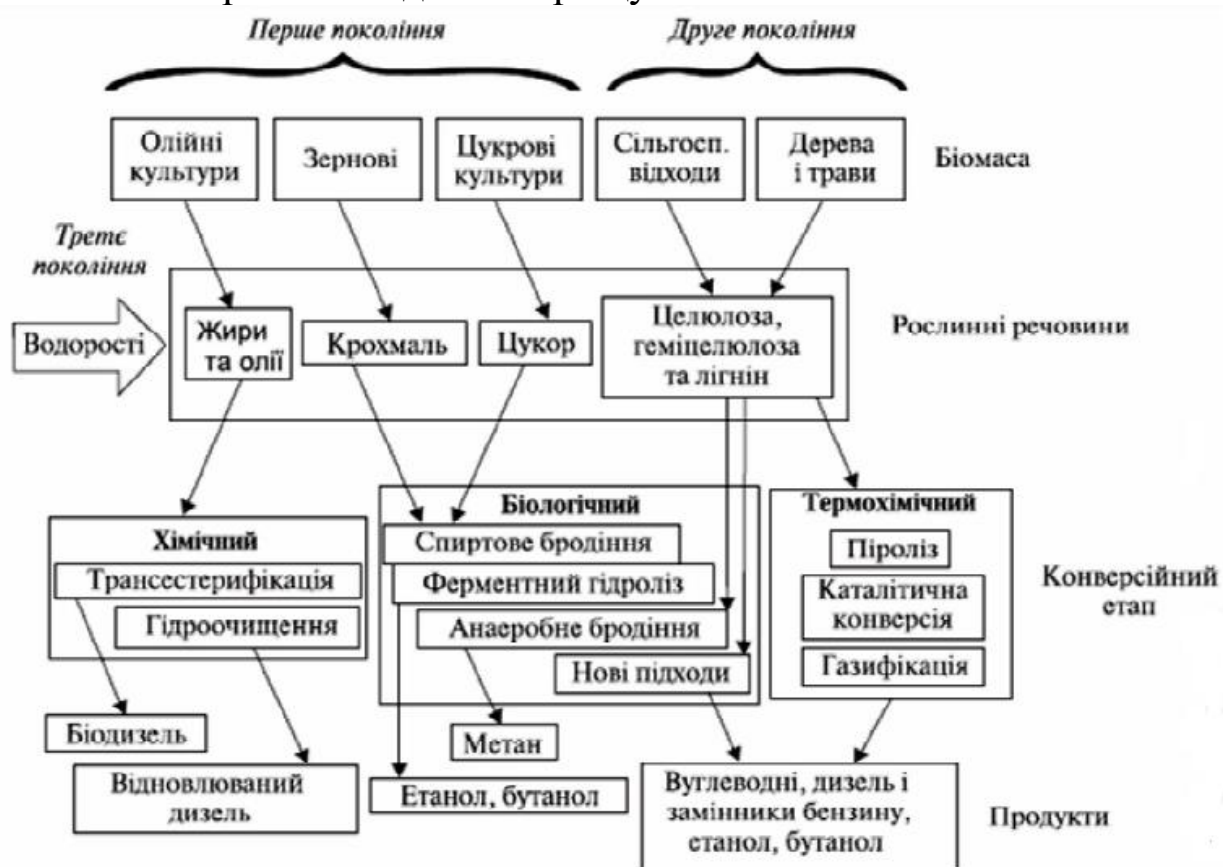


Рис. 1. Шляхи конверсії біомаси біопалива першого, другого і третього поколінь

Таблиця 1.
Вміст ліпідів у біомасі представників різних родів мікрроводоростей

№ пор.	Організм	Ліпіди, % від сухої маси.
1.	<i>Chlorella</i> sp.	23...63
2.	<i>Nannochloris</i> sp.	20...35
3.	<i>Nannochloropsis</i> sp.	31...68
4.	<i>Nitzschia</i> sp.	45...47
5.	<i>Neochloris oleoabundans</i>	35...54
6.	<i>Schizochytrium</i> sp.	50...77
7.	<i>Haematococcus pluvialis</i>	25...45
8.	<i>Dunaliella salina</i>	16...44
9.	<i>Botryococcus braunii</i>	до 80

Технологічний процес виробництва моторних палив з водоростей практично безвідходний (рис.2). Після отримання

дизельного палива сухі відходи біомаси водоростей зберігають усі необхідні вітаміни і цінні речовини, тому можуть бути використані, як кормові добавки в рибних господарствах та тваринницьких фермах. Крім того є можливим перетворення відходів ще в один з видів енергоносіїв – паливні брикети.



Рис.2 Біореактори для вирощування мікроскопічних водоростей: а – відкритого типу; б – трубчастий біореактор

Вичерпність традиційного палива та пов'язані з його масштабним використанням природоохоронні проблеми приводять до усвідомлення людством необхідності переходу до екологічно толерантних видів енергоносіїв. Ключове місце в розв'язанні цієї проблеми, на думку багатьох фахівців, займе воднева енергетика — виробництво біоводню і його використання на основі паливних елементів у промисловості, будівництві, енергетиці, транспорті, житлово-комунальному господарстві й інших сферах економіки.

Біоводень — це різновид біопалива, сировиною для його виробництва виступає біомаса. Продукувати біоводень здатні як автотрофні, так і гетеротрофні мікроорганізми. Біохімічний шлях утворення молекули водню, ефективність та необхідні умови процесу в першу чергу залежать від мікроорганізмів-продуцентів. За джерелами енергії, які використовуються організмами під час продукування біоводню, мікробіологічні процеси можна поділити на такі:

- темнове анаеробне виділення біоводню, в процесі якого енергія хімічних зв'язків молекул субстрату перетворюється в енергію хімічних зв'язків водню;

- світлозалежне виділення водню, при якому мікроорганізми конвертують світлову енергію в енергію хімічних зв'язків молекул водню;

- біоелектрохімічне продукування водню за використання модифікованих мікробних паливних елементів, в яких електрична енергія, а також енергія хімічних зв'язків органічного субстрату акумулюється в молекулах водню.

Біофотоліз – біологічне утворення газоподібного водню внаслідок фоторозкладу води біохімічними системами, що здатні здійснювати фотоліз води на водень та кисень в однофазному та двофазному режимах. Загальна схема перенесення електронів фотосинтезуючих механізмів передбачає одержання вуглеводнів, водню, вуглекислоти, амоніаку з неорганічних та органічних донорів.

Загальна схема фотолізу води: поглинання кванта світла водою; робота електронно-транспортної системи; утворення та накопичення водню; виділення кисню в довкілля. Виробництво водню може ґрунтуватися на процесах фотосинтезу та фотолізу. Гідрогенсинтезуючі фотобактерії та рослини продукують водень, використовуючи різні фотосистеми, для яких водень є побічним продуктом.

Біотехнологічне продукування водню має ряд переваг порівняно з іншими способами отримання водню. Одна з них – це низькі енергетичні витрати, особливо при виробництві з водоростей і бактерій, які використовують сонячне світло як джерело енергії. Технологія отримання водню, яка ґрунтується на використанні сонячної енергії, може бути впроваджена в практику, якщо знайти шлях ефективного споживання сонячного світла водоростями та бактеріями.

Потенційно фотосинтезуючі водорості та бактерії можуть перетворювати сонячну енергію в енергію водню з 30-40% ефективністю. Проте донині максимальна ефективність конверсії сонячної енергії у водень водоростями сягає лише 24%. Тим не менше це набагато більше, ніж ефективність конверсії сонячної енергії в інші біологічні палива, такі як біоетанол і біодизель (на сьогодні менше 4%).

Парова термokatалітична конверсія біомаси (паровий риформінг з подальшою реакцією водяного газу) теоретично забезпечує масовий вихід водню близько 20%, більше половини якого отримується з води, що потребує підводу значної кількості тепла ззовні чи парціального окиснення сировини. Прикладом

промислового отримання біоводню може слугувати технологічний процес очищення стічних вод на цукровому заводі (рис.3).

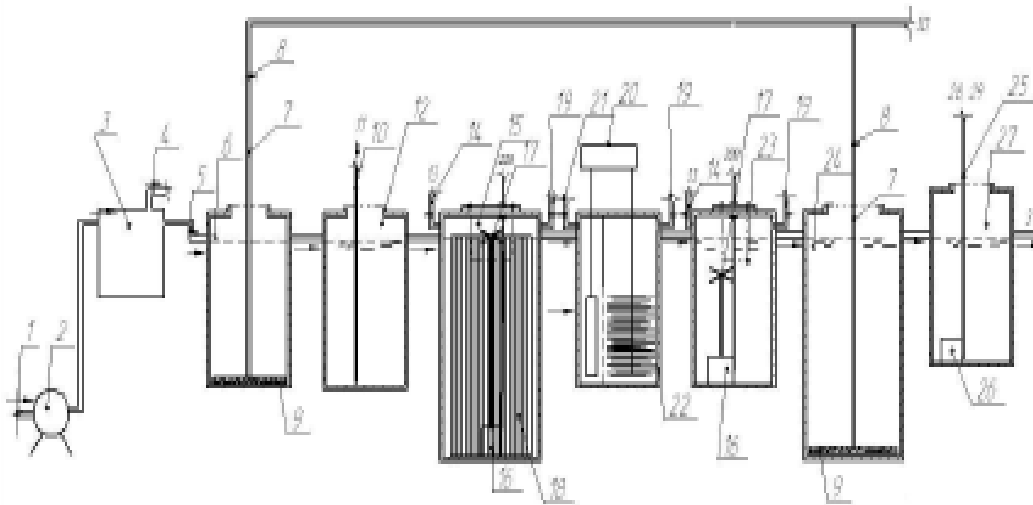


Рис.3. Принципова технологічна схема промислової парової термокаталітичної конверсії біомаси з отримання біоводню:

1 – стічні води; 2 – насос; 3 – накопичувальна ємність; 4 – аварійний перелив; 5 – вентиль для регулювання витрати; 6 – біокоагулятор; 7 – повітропровід; 8 – вентиль регулювання витрати повітря; 9 – дрібнобульбашковий аератор; 10 – трубопровід для видалення осаду; 11 – осад (на мулові майданчики); 12 – відстійник; 13 – газ (збір у накопичувачі); 14 – трубопровід відведення біогазу; 15 – анаеробний біореактор; 16 – насос; 17 – система розподілення стічної води; 18 – волокнистий носій типу «ВІЯ»; 19 – пробовідбірник; 20 – джерело живлення, 21 – трубопровід для відбору біоводню, 22 – біоелектрохімічна система; 23 – анаеробний біореактор; 24 – аеробний біореактор; 25 – трубопровід відведення мулу; 26 – насос; 27 – відстійник; 28 – зворотній мул; 29 – надлишковий мул; 30 – повітря; 31 – очищена вода.

У напрацьованій технологічній схемі стічна вода насосом подається в накопичувальну ємність, на вихідному трубопроводі з якої встановлено вентиль для регулювання витрати. Далі стічна вода подається на біокоагуляцію для вилучення завислих речовин та грубодисперсних часточок. Після біокоагулятора суміш стічної води та мулу подається на розділення у відстійник та надалі у біореактор з іммобілізованими мікроорганізмами для розкладення складних органічних речовин.

Після вказаних біореакторів значення ХСК (хімічне споживання кисню) частково очищеної стічної води становить близько 500-800 мг O_2 /дм³. Такий вміст органічних речовин є прийнятним для продукування водню в біоелектрохімічній системі. Це двокамерна система, анод та катод якої розділені протонобмінною мембраною. Анод виконано у вигляді йоржів з вуглецевих матеріалів на титановому струмовідводі, на якому іммобілізовано мікроорганізми-екзоелектрогени.

Після біоелектрохімічної системи стічна вода подається до системи анаеробно-аеробних біореакторів, де відбувається вилучення надлишкової концентрації фосфатів та остаточне видалення органічних речовин із стічної води.

Хід роботи завдання №1:

1. Ознайомитися з промисловим отриманням біоводню на прикладі технологічної лінії очищення стічних вод солодового заводу.
2. Розглянути технологічну схему очищення стічних вод та зафіксувати її в зошиті.
3. Підписати основні технологічні вузли лінії очистки.
4. Зробити висновки щодо перспектив широкого впровадження біоводневої енергетичної технології.

Хід роботи Завдання №2:

Для того, щоб визначити загальний вміст ліпідів у зібраній культурі, водорості висушувались за 80⁰С та перемелювались у ступці. Подрібнені розчину водоростей поміщали у ділильну лійку, додавали 50 мл гексану та інтенсивно перемішували впродовж 10 хв. Після відстоювання виділялись дві фази: нижня, яка складалась із суміші водоростей з водою та високов'язка верхня, яка складалась з гексану, екстрагованих органічних речовин, бульбашок повітря та механічних домішок.

Верхню фазу промивають та кількісно переносять у випарну чашку. Після просушування на водяній бані на поверхні чашки залишались ліпіди та сіро-зелений осад. Ліпіди повторно екстрагували гексаном та переносять у іншу випарну чашку. Після випаровування гексану з неї, на поверхні залишався шар ліпідів, кількість яких визначали гравіметрично.

Дослідження фізико-хімічні властивостей одержаної олії з мікроскопічних водоростей будемо досліджувати аналогічно як у лабораторній роботі №4 (ст. 29-31). Середнє значення фізико-хімічних характеристик олії з мікроскопічних водоростей наведено нижче (табл.2).

Таблиця 2.

Фізико-хімічні характеристики олії з мікроводоростей.

Показники	Одиниці виміру	Значення
Щільність, при $t=25^{\circ}\text{C}$	кг/л	0,9153
Кінематична в'язкість, при $t=25^{\circ}\text{C}$	мм ² /с	57,02
Вільні жирні кислоти (за олеїноювою кислотою – $M=282$)	—	1,21
Вміст фосфору	мг/кг	13
Показник йоду (час реакції 1 година)	г(I)/100	123
Пероксидне число (час реакції 1 година)	мг-екв/кг	11,9
Число омилення	мг КОН/г	202
Температура	°C	
помутніння		- 9
спалаху		325

Провести розрахунки та зробити висновки.

Контрольні питання

1. Що відносять до перспективних джерел біомаси?
2. Яких типів бувають біореактори для вирощування водоростей.
3. Пояснити що таке біоводень.
4. Чим біоводень відрізняється від водню, отриманого за допомогою інших методів?
5. З якої сировини можна отримувати біоводень?
6. Що є біологічним агентом у виробництві біоводню?
7. В чому полягає екологічність подібної технології?

Лабораторна робота № 8

Тема. Сучасні біотехнологічні виробництва біопрепаратів для охорони навколишнього середовища і використання у біоенергетиці.

Мета роботи. Ознайомитися з особливостями організації стадії ферментації й стадій виділення біомаси мікроорганізмів

Завдання:

1. *Описати продуцентів та технологічні особливості виробництва біопрепаратів.*
2. *Дослідити ефективність стерилізації поживного середовища залежно від методів стерилізації.*
3. *Вивчити кінетику росту дріжджів за глибинної ферментації.*

Теоретичні основи

Пошук екологічно безпечних та ефективних засобів збереження врожаїв сільськогосподарських культур зумовив формування альтернативних захисних методів. Синтетичні препарати можна замінити ефективними біопрепаратами мікробного походження, але розробка, створення і виробництво їх в Україні і навіть у світі тільки починається. Нині вони, як самостійний захід, характеризуються невисокою ефективністю і стабільністю дії, але разом з тим в інтегрованій системі захисту рослин є позитивним доповненням, що дозволяє досягти бажаного результату зменшення пестицидного навантаження на рослини і навколишнє середовище.

Серед них – використання біологічних препаратів, синтезовані на основі гормонів комах, феромонів (біологічно активних речовин, які виявляють внутрішньовидову популяційну дію); біопрепарати, діючим агентом у яких виступають мікроорганізми (бактерії, гриби, віруси) та продукти їх життєдіяльності.

Бактеріальні препарати використовуються для захисту культурних рослин від яблуневої плодожерки, бавовняної совки тощо. Біооб'єктами для виробництва цих препаратів слугують споротвірні бактерії *Bacillus thuringiensis* (Bt), які виділяють із хворих комах, що населяють різні географічні зони, а також деякі штами бактерій роду *Pseudomonas*. Діючою речовиною біопрепаратів виступають бактеріальні спори та кристали білоквмісних ендотоксинів (Bt-токсинів). Потрапляючи в травну

систему шкідників, спори препарату, що містяться в рослинному кормі, проростають у вегетативні клітини з утворенням ендотоксичних кристалів.

Грибні препарати. Ці засоби виготовляють за допомогою біотехнологічних методів (генетичної інженерії) на основі ентомопатогенних грибів класів *Phycomycetes*, *Ascomycetes*, *Basidiomycetes*, *Fungiimperfekti*. Ураження грибними препаратами виникає через травний канал та зовнішні покривні тканини шкідника (там спори грибів проростають і міцелій швидко поширюється на весь організм комахи, руйнуючи його).

Вірусні препарати виготовляються на основі ентомопатогенних вірусів із групи – бакуловіруси, які не проявляють патогенності до хребетних. Висока специфічність цієї групи обумовлює їх дію переважно на одного шкідника.

Біопрепарати, що містять штами азотфіксуючих мікроорганізмів, при використанні у агротехнологічному процесі вирощування культур здатні забезпечувати рослини азотом у кількості, що відповідає внесенню 20-50 кг/га мінеральної форми даного елемента, а також сприяють трансформації важкорозчинних сполук ґрунту, в тому числі фосфорних у форми, що легко засвоюються рослинами.

Таким чином, застосування мікробіологічних препаратів при вирощуванні сільськогосподарських культур сприяє підвищенню урожайності, в тому числі технічних (енергетичних) культур за рахунок їх позитивного впливу на розвиток кореневої системи та надземної частини рослин, підвищення стійкості рослини до інфікування патогенними мікроорганізмами, та пошкодження шкідливими організмами.

Технологія виробництва бакпрепарату інсектицидної дії

Технологія виробництва включає всі стадії, типові для будь-якого мікробіологічного виробництва, ґрунтованого на глибинному способі отримання мікроорганізмів: вирощування посівного матеріалу в лабораторії й в посівному апараті, промислового культивування у ферментері, концентруванні культуральної рідини, сушінні, стандартизації і фасуванні готового продукту.

В умовах виробництва штам *Bacillus Thuringiensis* спершу пересівають на м'ясо-пептонний агар і перевіряють його на відсутність сторонньої мікрофлори, продуктивність і вірулентність. Посівний матеріал отримують по стадійно: спершу вирощують

культуру в конічних колбах на 3 л; отриманий посівний матеріал, який має титр при об'ємній аерації 0,2 л повітря на 1 л середовища за 1 хвилину. Посівний матеріал з тим же титром спор в кількості 0,0012% від об'єму середовища основного апарату переносять у ферментер. Температуру культивування на всіх стадіях вирощування підтримують постійною (28-30°C).

Тривалість ферментації у посівному та головному ферментері триває 35-40 год. Якщо посівний матеріал отримують у вигляді спор, то на всіх стадіях культивування використовують середовище одного і того ж складу. Як правило, це дріжджі-полісахаридне середовище, яке містить (в %): кормові дріжджі 2-3%; кукурудзяне борошно 1-1,5%; кашалотовий жир 1%.

Процес культивування закінчується при ступені спороутворення культури 90-95% і титрі спор не менше 10^9 в 1 мл. Готову культуральну рідину перекачують в окремий збірник, підкислюють до рН 6,0-6,2 і передають на стадію сепарації. У результаті сепарації отримують пасту з вологістю 85% з виходом продукту 100 кг з 1 м³ культуральної рідини і титром 20×10^9 спор у 1 г.

Існує два способи культивування популяції мікроорганізмів у глибині рідкого середовища: періодичний і безперервний. Вид кривої росту дріжджів змінюється в залежності від умов культивування, але послідовність фаз залишається незмінною.

Для кількісної характеристики культивування мікроорганізмів користуються двома показниками – середньою та питомою швидкістю росту. Середня швидкість росту V характеризується приростом біомаси за одиницю часу

$$V = \frac{x - x_0}{t - t_0},$$

де x_0 – кількість біомаси на початку культивування, кг/м³;

x – біомаса за час культивування, кг/м³;

t_0 , t – початковий та кінцевий час відліку, год.

Для вивчення кінетики росту мікробної популяції в умовах глибинної ферментації використовують дріжджі роду *Saccharomyces*.

Експериментальні дані для визначення технологічних показників процесу культивування отримують на лабораторній установці (рис. 1)

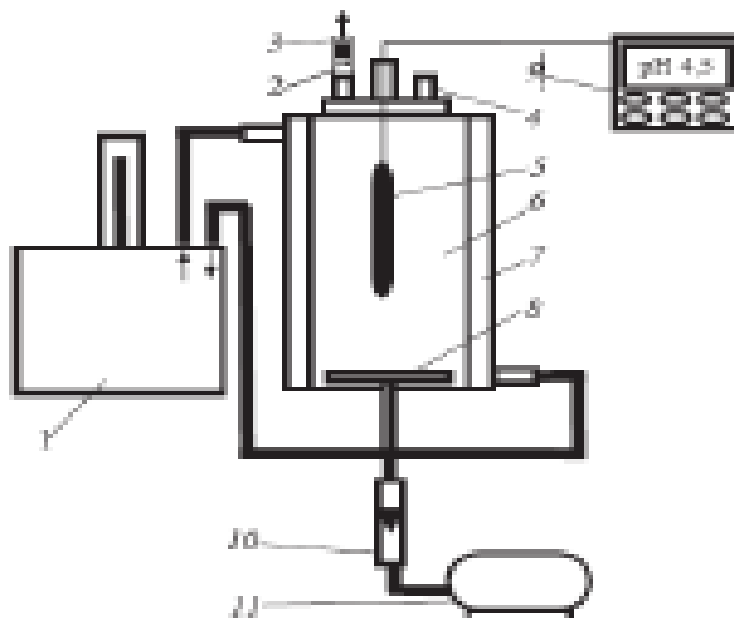


Рис. 1. Схема лабораторної установки для вирощування дріжджів:

1 – ультрагерметична ванна, 2 – фільтр очищення повітря; 3 – штуцер виходу повітря, 4 – штуцер введення середовища та відбирання проб, 5 – електрод рН-метра, 6 – ємність культиватора, 7 – водяна сорочка, 8 – барботер, 9 – йономер, 10 – ротаметр, 11 – компресор.

Матеріали та обладнання: термостат; сушильна шафа; піпетки об'ємом 1 мл, 2 мл та 5 мл (по дві на кожного студента), чашки Петрі (по дві на кожного студента), колби різних розмірів, скляні палички (по дві на кожного студента), бактеріологічні пробірки (по дві на кожного студента), металеві пінцети, бинти або марля, вата гігроскопічна, папір, нитки, сірники, ножиці.

Хід роботи завдання №1:

М'ясо-пептонний бульйон (МПБ) розлити у 12 стерильних пробірок.

Чотири пробірки кип'ятити 30 хв. Інші чотири – простерилізувати в автоклаві 15 хв. при 1 атмосфері. Останні чотири пробірки залишити без обробки. Після цього всі пробірки помістити у термостат при температурі 28-30⁰С і спостерігати за

ними протягом 4-5 діб, відмічаючи зміни, які відбуваються в пробірках.

Таблиця 1

Оцінка ефективності стерилізації поживного середовища в залежності від методів стерилізації

Тип стерилізації	Наявність мікробного росту
Автоклавування (1 атм., 15 хв)	
Кип'ятіння (30 хв)	
Контроль (без обробки)	

Сформулювати висновок проведеної лабораторної роботи.

Хід роботи завдання №2:

Приготувати 1 л живильного середовища, наступного складу: цукор – 9%; діамоній фосфат – 0,3%; амоній сірчаноокислий – 0,16%; хлористий калій – 0,06%; магній сірчаноокислий – 0,02%. Заміряти величину рН розчину на йонометрі та довести за необхідності до рН 4,5 70% ортофосфорною кислотою або амоніачною водою.

Провести асептичну обробку ємності культиватора етанолом. Після чого заповнити його живильним середовищем, відібравши в пробірку 15 мл вихідної суміші для визначення в ній вмісту цукру.

Включити ультратермостат і нагріти живильний розчин до температури 30-31°C. Після чого через штуцер (8) ввести через лійку засівну суспензію: дріжджів (посівного матеріалу) в кількості 12% до об'єму живильного середовища. Температура середовища впродовж процесу, також як й рН середовища контролюється за допомогою йонометра, електрод якого та термометр постійно знаходяться в рідині.

Включити компресор і встановити витрати повітря з розрахунку 5-10 м³/м³год за допомогою ротаметра (10). Відпрацьоване повітря видаляється через штуцер (3), забезпечений фільтром (2) з активованого вугілля і скловати для затримки крапель середовища і клітин дріжджів.

Відлік часу культивування слід починати з моменту внесення в живильне середовище дріжджів. Першу пробу для визначення початкової концентрації дріжджових клітин x_0 відбирають у кількості 1 мл стерильної піпеткою через штуцер (4) через 1-3 хв.

після початку процесу. Потім відбір проб проводять через кожну годину для визначення x_n – кількості вирослої біомаси.

Провести підрахунок кількості дріжджових клітин, використовуючи камеру Горяєва, результати вносять у табл.2.

Таблиця 2

Результати розрахунку дріжджових клітин

Час росту	Кількість клітин в одному квадраті сітки, шт.						

Для підрахунку дріжджів невелику краплю живильного середовища з біомасою клітин відібрати піпеткою або скляною паличкою, нанести її на поверхню лічильної камери і накрити шліфувальним склом, потім притерти покривне скло до сторін камери до появи кілець веселки.

Камеру помістити на предметний столик і з об'єктивом 8х, знайти зображення сітки, а потім замінити об'єктив на 40х. Вести підрахунок через 3-5 хв. від моменту заповнення. Підрахувати кількість клітин в 10 великих або 20 малих квадратах сітки, розташованих по діагоналі. Врахувати всі клітини, що лежать в квадратику сітки і перетинають верхню і праву сторони квадрата. Визначити середнє число $n_{\text{ср}}$ дріжджів в квадраті (табл.2).

Число дріжджів в одному квадраті не повинно бути більше 20, в іншому випадку вихідну суспензію розбавляють і повторюють розрахунок. Кількість клітин в 1 мл суспензії обчислити за формулою:

$$x = \frac{N_{\text{ср}} \cdot 1000}{hS},$$

де $N_{\text{ср}}$ – середнє число дріжджів у квадраті, шт.;

h – глибина камери;

S – площа квадрата сітки, мм (площа великого квадрату 1/25 мм²; малого – 1/400 мм²).

В кожній пробі, починаючи з вихідного моменту культивування, визначити вміст цукру в середовищі, як основного вуглеводневого субстрату, а також вимірюють кількість розчиненого азоту. Одночасно зафіксувати в табл. 3 значення рН

середовища та температур за показниками шкали йонометра та термометра.

Побудувати графічну залежність концентрації біомаси дріжджових клітин у часі, а також зміни концентрації цукру і засвоюваного азоту.

Таблиця 3

Технологічна характеристика росту дріжджів в умовах глибинної ферментації при періодичному культивуванні

Час відбору проб	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Концентрація дріжджових клітин, x , млн. кл/мл										
pH середовища										
Температура середовища, °C										
Концентрація цукру, S_c , %										
Кількість розчиненого азоту										

Сформулювати висновок проведеної лабораторної роботи.

Контрольні питання

1. Назвати основні біотехнологічні методи виробництва біопрепаратів.
2. На які етапи поділяються біохімічне перетворення рослинної маси? Охарактеризуйте їх.
3. Що таке ферментація?
4. Які типи культивування мікроорганізмів ви знаєте?
5. З яких основних частин складається лабораторна установка для вирощування дріжджів?
6. Які основні вимоги до організації періодичного культивування мікроорганізмів?
7. Яка будова автоклава?
8. Які методи стерилізації лабораторного посуду вам відомі?
9. У чому полягає суть хімічних методів стерилізації?

Лабораторна робота № 9

Тема. Новітні розробки у галузі створення безвідходних або маловідходних біоенерготехнологій.

Мета роботи. На основі отриманих знань скласти технологічні схеми одержання біопалива.

Завдання:

1. Ознайомитись з новітніми розробками у галузі створення безвідходних або маловідходних біоенерготехнологій.

2. Пошук та використання нових технологічних рішень та біологічних агентів для подолання проблем біоенергетики

3. Розрахувати енергетичний потенціал відходів виробництва досліджуваної сільськогосподарської культури.

Теоретичні основи

Безвідхідна і маловідходна технологія являють собою один із сучасних напрямків розвитку промислового виробництва. Виникнення цього напрямку обумовлено необхідністю запобігти шкідливому впливу відходів промисловості на навколишнє середовище.

Безвідхідні виробництва мають на увазі розробку таких технологічних процесів, які забезпечують максимально можливу комплексну переробку сировини. Це дозволяє, з одного боку, найефективніше використати природні ресурси, повністю переробляти відходи, що утворюються, у товарну продукцію, а з іншого боку - знижувати кількість відходів і тим самим зменшувати їхній негативний вплив на екологічні системи.

Безвідхідну й маловідходну технологію застосовують у всіх галузях промисловості, у тому числі у біоенергетиці. Їхній розвиток іде по наступних напрямках: розробка й впровадження принципово нових технологічних процесів, що зменшують кількість відходів; розробка й впровадження методів і встаткування для переробки відходів у товарну продукцію; створення безстічних водооборотних систем, у яких здійснюється очищення води. Є інший шлях: територіально зв'язати підприємства так, щоб відходи одного підприємства служили сировиною для іншого підприємства.

Динамічне підвищення цін на паливні ресурси у світі, зростаючі потреби України у забезпеченні енергоносіями власного виробництва гостро ставить проблему пошуку альтернативних видів палива. Вирощування сільськогосподарських культур для

переробки на біопаливо – етанол, біодизель слід розглядати як важливий інноваційний напрям аграрного виробництва в контексті сталого розвитку, оскільки він здатний вирішувати ряд економічних, екологічних і соціальних проблем. Біопаливо важливе, насамперед, для енергозабезпечення, збереження ресурсів і поліпшення екології.

Перед біоенергетичною галуззю стоїть ряд проблем економічного, екологічного та технічного характеру, які потребують негайного або поступового розв'язання. Деякі з проблем, окреслені у табл. 1. нині вже вирішені у промисловому або лабораторному масштабі.

Таблиця 1

Проблеми виробництва рідкого біопалива

Проблема	Опис	Шляхи вирішення
1	2	3
Утворення відходів у процесі виробництва	Проблема повної раціональної переробки відходів спиртзаводів ще не вирішена - виробництво кожного літра спирту супроводжується продукуванням 12-14 літрів стічних вод, небезпечних для природи.	Створення безвідходних (маловідходних) технологій, переробка відходів на корисні продукти (див. п. 4.7)
Перевитрати сировини внаслідок недоліків дріжджів продуцентів етанолу як	Проблема анаеробності процесу в тому, що при споживанні цукру дріжджами у присутності кисню йдуть одночасно процеси дихання й бродіння. При диханні цукор переробляється на нову біомасу дріжджів і CO ₂ , а при бродінні – на етанол і CO ₂ .	Проблема вирішується 1) технологічними методами: процес ведуть у строго анаеробних умовах; 2) використовують генетично модифіковані дріжджі, не здатні до дихання, тобто такі, які втратили мітохондрії.
Необхідність введення додаткових стадій попередньої обробки сировини, зумовлює утворення додаткової кількості відходів що	Проблема прямого зброджування крохмальних субстратів у тому, що у дріжджів відсутні ферменти, які здатні розщеплювати крохмаль зернових до цукру, що вимагає проведення попереднього гідролізу крохмалевмісного субстрата, пшениці.	Проблема експериментально вирішена використанням генетично змінених дріжджів, в які внесені рекомбінантні ДНК для виробництва амілолітичних ферментів. Знайдені також термофільні культури, здатні перетворювати цукор, крохмаль і целюлозу на спирт. Швидкість процесу бродіння при цьому в декілька разів більша, ніж бродіння за участі звичайних дріжджів.

1	2	3
Проблема агресивності етанолу до мікроорганізмів	Дріжджі недостатньо стійкі до етанолу, і при підвищенні концентрації спирту до 9-12 об. % в них припиняються метаболічні процеси, а при штучному введенні спирту до 14 об. % вони гинуть. Така сама репресивна дія цукру спостерігається при підвищенні його концентрації понад 15 % внаслідок підвищення в середовищі осмотичного тиску. Тому при синтезі спирту потрібні низькі концентрації цукру у вихідному поживному середовищі, що вимагає використання великих виробничих бродильних чанів.	Стійкість до етанолу можна підвищити додаванням деяких речовин, наприклад, солей магнію. Проблему виходу біоетанолу спробували вирішити заміною дріжджів бактеріями <i>Zimomonas mobilis</i> , що дає можливість отримати біоетанол з достатнім виходом.

Вирощування сільськогосподарських культур для переробки на біопаливо – етанол, біодизель слід розглядати як важливий інноваційний напрям аграрного виробництва в контексті сталого розвитку, оскільки він здатний вирішувати ряд економічних, екологічних і соціальних проблем. Біопаливо важливе, насамперед, для енергозабезпечення, збереження ресурсів і поліпшення екології.

Динамічне подорожчання паливних ресурсів у світі, зростаючі потреби України у забезпеченні енергоносіями власного виробництва гостро ставить проблему пошуку альтернативних видів палива.

Матеріали та обладнання: плакат з зображенням усіх видів біопалив, ручка, зошит, олівець, аналізуючі матеріали.

Хід роботи:

1. Пригадати джерела отримання біопалива.
2. Розглянути технологічні схеми та зафіксувати їх в зошиті.
3. Зробити висновки щодо перспектив використання таких джерел енергії.
4. Користуючись табл. 2 визначити за формулою оцінку економічного потенціалу відходів виробництва певної сільськогосподарської культури

Таблиця 2.

Енергетичний потенціал відходів сільського господарства

С/г культура	Валовий збір, тис. т	КВ	Теоретичний потенціал, тис. т	КУП	Теоретичний потенціал, тис. т у. п.	КТД	Технічний потенціал, тис. т у. п.	КЕВ	Економічний потенціал, тис. т у. п.
Пшениця	38,9	1	38,9	0,6	22,9	0,8	18,3	0,8	14,5
Ячмінь	7,3	0,8	5,8	0,5	3,2	0,8	2,5	0,8	2,0
Інші зернові	5,3	1	5,29	0,5	2,7	0,8	2,2	0,8	1,7
Ріпак	4,4	2	8,79	0,6	5,3	0,8	4,2	1	4,2
Кукурудза на зерно	189,7	1,3	246,6	0,5	115,3	0,8	92,3	0,7	64,9
Соняшник	21,4	1,9	40,7	0,5	19,1	0,8	15,2	1	15,2
Усього	267,1		346,2		169,4		135,7		102,3

$$P_e = c_r \cdot K_r \cdot K_t \cdot K_e \cdot K_{ce},$$

де:

P_e – економічно доцільний потенціал, тис. т умовного палива;

c_r – валовий збір сільськогосподарської культури, тис. т;

K_r – коефіцієнт відходів, що є різним для кожного виду рослин;

K_t – коефіцієнт технічної доступності відходів сільськогосподарських рослин, який характеризує кількість соломи, що може бути отримана при наявній технології збирання. Коефіцієнт технічної досяжності для всіх видів сільськогосподарських рослин прийнятий рівним 0,8;

K_e – коефіцієнт енергетичного використання відходів, що характеризує частину відходів (соломи), яку можна використати з метою отримання енергії;

K_{ce} – коефіцієнт перерахунку в умовне паливо.

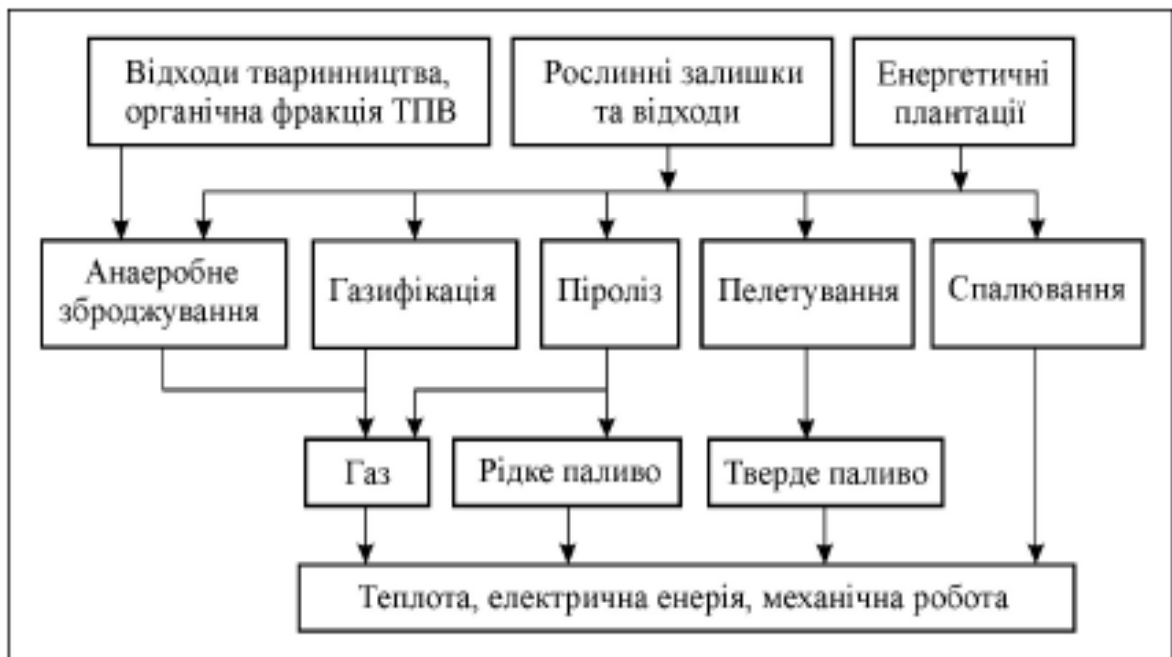


Рис.1. Технологічна схема одержання біопалива

Зробити висновки

Контрольні питання

1. Чим зумовлені проблеми безпеки біоенерготехнологій?
2. Дайте визначення понять: «безвідходні технології» та «маловідходні технології».
3. Назвіть основні характеристики твердої біомаси та біопалива.
4. Охарактеризуйте основні проблеми безпеки біопалива.
5. Охарактеризуйте найважливішу та найціннішу особливість біопалива.
6. Які нові технологічні рішення та методи роботи з біологічними агентами використовуються нині для подолання проблем біоенергетики?

Питання, які виносяться на підсумковий контроль

1. Дайте визначення поняття «джерела енергії».
2. Що таке не поновлювані і поновлювані джерела енергії?
3. Наведіть визначення поняття «біоенергетика».
4. Дайте характеристику паливно-енергетичного комплексу України. Зазначте місце біоенергетики у ПЕК України.
5. Охарактеризуйте нетрадиційні та відновлювані джерела енергії.
6. Запропонуйте заходи щодо забезпечення енергозбереження.
7. Запропонуйте шляхи вирішення енергетичних та екологічних проблем.
8. Зазначте напрями розвитку технологічної біоенергетики.
9. Охарактеризуйте напрями трансформування сонячної енергії біологічними системами.
10. Що включає в себе сировинна база для біоенергетики?
11. Дайте визначення поняття «біомаса». Які форми біомаси придатні для використання її як енергоносія?
12. Як вирішуються питання охорони довкілля за використання біомаси як джерела енергії?
13. Які існують обмеження у використанні біомаси як джерела енергії?
14. Дайте визначення поняття «альтернативні види палива».
15. Які види палива належать до альтернативних видів газового палива, альтернативних видів рідкого палива, альтернативних видів твердого палива?
16. Які види біопалива використовуються нині?
17. Які нормативно-правові документи, прийняті в Україні, регулюють відносини у сфері використання біопалива?
18. Охарактеризуйте тверде біопаливо та способи одержання енергії з твердої біомаси.
19. Які види рідкого біопалива є нині найперспективнішими? Наведіть характеристики моторних видів палива.
20. Що передбачає концепція виробництва біоетанолу в Україні? Яким характеристикам повинен відповідати біоетанол?
21. Дайте характеристику джерел сировини для виробництва біоетанолу.
22. Охарактеризуйте етапи виробництва біоетанолу на крохмалевмісній сировині.
23. Охарактеризуйте етапи виробництва біоетанолу на мелясі.

24. Охарактеризуйте етапи виробництва біоетанолу на гідролізатах деревини.

25. Зазначте сучасні підходи до одержання біоетанолу на основі рослинної біомаси.

26. Зазначте галузі використання етанолу.

27. Які біологічні агенти використовуються як продуценти біоетанолу? Охарактеризуйте підходи до селекції продуцентів біоетанолу.

28. Охарактеризуйте екологічні аспекти одержання біоетанолу.

29. Дайте визначення поняття «біодизель».

30. Охарактеризуйте сировинну базу для одержання біодизелю.

31. Зазначте технологічні особливості виробництва чистого та модифікованого біодизелю з ріпаку.

32. Дайте характеристику потенціалу України у виробництві біодизелю.

33. Зазначте переваги та недоліки біодизелю як пального.

34. Охарактеризуйте питання охорони довкілля, які виникають за виробництва біодизелю та запропонуйте заходи щодо їх вирішення.

35. Охарактеризуйте біосистеми та процеси фотосинтезу і біосинтезу.

36. Охарактеризуйте можливості застосування та переваги використання мікроводоростей для виробництва біопалива.

37. Зазначте технологічні особливості процесу виробництва біодизелю з використанням мікроводоростей.

38. Охарактеризуйте мікроводорості як біологічні агенти біоенергетики.

39. Дайте визначення поняття «біоводень» як біопалива третього покоління.

40. Охарактеризуйте біотехнологічні способи одержання водню.

41. Що таке фотобіоніка?

42. Охарактеризуйте типи модельних біосистем одержання водню.

43. Дайте характеристику продуцентів біоводню. Зазначте особливості воденьтвірних бактерій.

44. Зазначте компоненти біосистем водню.

45. Охарактеризуйте питання охорони довкілля за виробництва біоводню та запропонуйте шляхи їх вирішення.

46. Назвіть характерні риси біотехнологічних процесів, які використовуються у біоенерготехнологіях.

47. Наведіть приклади використання біокаталітичних процесів у біоенерготехнологіях.

48. Охарактеризуйте продукти мікробного синтезу, які одержали найбільш широке застосування у біоенергетиці.

49. Дайте характеристику біотехнологічних особливостей одержання целюлаз: особливості організації процесу ферментації, стадій виділення та очищення кінцевих продуктів.

50. Охарактеризуйте технологічні особливості застосування целюлаз у процесах біоконверсії целюлози.

51. Дайте визначення поняття «біогаз».

52. Охарактеризуйте типи метанової ферментації.

53. Дайте характеристику асоціації мікроорганізмів – продуцентів біогазу.

54. Охарактеризуйте джерела сировини для виробництва біогазу.

55. Дайте характеристику основних структурних елементів схеми типової біогазової установки.

56. Охарактеризуйте промислові апарати для одержання біогазу.

57. Зазначте переваги та недоліки біогазових технологій.

58. Чим зумовлені проблеми безпеки біоенерготехнологій?

59. Дайте визначення понять: «безвідходні технології» та «маловідходні технології».

60. Охарактеризуйте основні проблеми безпеки біопалива.

61. Які нові технологічні рішення та методи роботи з біологічними агентами використовуються нині для подолання проблем біоенергетики?

Рекомендована література

Базова

1. Голуб Г. А. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2016. 226 с.
2. Відновлювані джерела енергії: монографія / за ред. С.О. Кудрі. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с
3. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 20 лютого 2003 р. №555IV.
4. Постанова національної комісії регулювання електроенергетики України від 22 січня 2009 р. №32 «Про затвердження Порядку встановлення, перегляду і припинення дії «зеленого» тарифу для суб'єктів господарської діяльності»
5. Сухенко Ю.Г., Серьогін О.О., Сухенко В.Ю., Рябоконь Н.В. Ресурсозберігаючі технології в харчових і переробних виробництвах : навч. посіб. Київ : ЦП «КОМПРИНТ», 2016. 338 с.
6. Bathaei A, Štreimikienė D. Renewable Energy and Sustainable Agriculture: Review of Indicators. Sustainability. 2023; 15(19):14307. <https://doi.org/10.3390/su151914307>
7. Rakshit A. et al. (eds.), Handbook of Energy Management in Agriculture, http://dx.doi.org/10.1007/978-981-19-7736-7_10-1
8. FAO. 2020. A handbook on a methodology for estimating green jobs in bioenergy. Tools for investigating the effects of bioenergy production on employment at provincial level. Buenos Aires. 124 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. file:///D:/Downloads/wcms_743406.pdf

Допоміжна

1. Указ Президента України №134/2012 від 22.02.2012
2. Закон України «Про енергозбереження» від 01 липня 1994 р. №74/94- ВР.
3. Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г., Кощєєв І. А. Біогазові установки з відновлюваними джерелами енергії термостабілізації процесу ферментації біомаси. Вінниця : ВНТУ, 2017. 84 с.
4. Методичні вказівки по виконанню практичної роботи з дисципліни «Альтернативні джерела енергії» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти по спеціальності – 144

Теплоенергетика за освітньою програмою – Теплоенергетика та менеджмент енергозбереження./ Укл: Лужанська Г.В. Климчук О.А., Одеса, Державний університет «Одеська політехніка», 2021- 37 с.

5. Building a resilient biomass supply. A Plan to Enable the Bioeconomy in America. US Department of Agriculture, March 2024. <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/biomass-supply-chain-report.pdf>
6. Reid WV, Ali MK, Field CB. The future of bioenergy. Glob Chang Biol. 2020 Jan;26(1):274-286. doi: <https://doi.org/10.1111%2Fgcb.14883>

Зміст

Правила роботи і техніка безпеки в лабораторії	1
Лабораторна робота № 1. Тема. Сучасні підходи до використання альтернативної енергетики.	3
Лабораторна робота № 2. Тема. Розвиток нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії.	
Лабораторна робота № 3. Тема. Екологічні проблеми вітчизняної та світової енергетики. Енергія живої природи. Біоконверсія сонячної енергії.	10
Лабораторна робота № 4. Тема. Технологічні особливості одержання біоетанолу.	15
Лабораторна робота № 5. Тема. Технології перетворення біомаси на паливо. Біодизель.	22
Лабораторна робота № 6. Тема. Біотехнологія біогазового палива.	32
Лабораторна робота № 7. Тема. Технологічні основи одержання біопалива третього покоління з біомаси. Фотобіоніка.	42
Лабораторна робота № 8. Тема. Сучасні біотехнологічні виробництва біопрепаратів для охорони навколишнього середовища і використання у біоенергетиці.	49
Лабораторна робота № 9. Тема. Новітні розробки у галузі створення безвідходних або маловідходних біоенерготехнологій. Пошук нових технологічних рішень та біологічних агентів.	56
Питання, які виносяться на підсумковий контроль	64
Рекомендована література	67

Штапенко Оксана Всеволоодівнаа
Кіт Наталія Петрівна

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

АЛЬТЕРНАТИВНА ПОНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА ТА БІОКОНВЕРСІЯ

Методичні вказівки для лабораторних робіт
здобувачів другого (магістерського) рівня вищої
освіти
спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія
ОП «Біотехнології та біоенергетика»

Підписано до друку 26.11.2024 р. Формат 60x84 ^{1/16}

Папір офсетний. Тираж 100 прим.

Видавництво “Папірсу”