

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«БІОЕНЕРГЕТИКА»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ
ЗА НАПРЯМОМ 6.051401– «БІОТЕХНОЛОГІЯ»

КРЕМЕНЧУК 2017

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Біоенергетика» для студентів денної форми навчання за напрямом 6.051401 – «Біотехнологія»

Укладачі: старш. викл. С. В. Дігтяр

Рецензент д.б.н., проф. В. В. Никифоров

Кафедра біотехнологій та біоінженерії

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол №__ від_____2017 р.

Голова методичної ради

проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 Перелік лабораторних робіт.....	6
Лабораторна робота № 1 Аналіз твердого біопалива другого покоління.....	6
Лабораторна робота № 2 Технологічна схема та принцип роботи установки для отримання біогазу.....	11
Лабораторна робота № 3 Отримання біодизелю.....	14
Лабораторна робота № 4 Отримання біоетанолу.....	18
Лабораторна робота № 5 Отримання біоводню.....	22
2 Критерії оцінювання знань студентів.....	26
Список літератури.....	29

ВСТУП

Метою вивчення навчальної дисципліни є розкриття змісту, історичних традицій та перспектив розвитку біоенергетики як галузі енергетичної промисловості і на основі цього – висвітлення теоретичних положень та практичних рекомендацій щодо зміни в оцінці потенціалу альтернативної енергетики зокрема та енергетичної галузі в цілому, бережливого ставлення до біо- та енергоресурсів., висвітлення проблем енергетичних біотехнологій з погляду біобезпеки.

«Біоенергетика» як навчальна дисципліна:

– ґрунтується на висвітленні біофізичних та біохімічних аспектів енергетичної галузі, пов'язаних з розвитком технологічних наук, біології, екології, економіки тощо;

– закладає основи теоретичних положень та практичних рекомендацій щодо зміни оцінці енергетичного потенціалу регіону і держави в цілому, ставлення навколишнього середовища;

– закладає основи економного ставлення до біоресурсів.

У результаті вивчення дисципліни **студенти повинні**

знати:

- Основні поняття, теорії та закони біоенергетики;
- Види біопалива та до якого покоління вони відносяться;
- Властивості біофізичних систем;
- Біохімічні та біофізичні основи процесів, що протікають у системах, які піддаються біоконверсійному перетворенню;
- Теоретичні концепції сучасної альтернативної енергетики;
- Основи перетворення енергії в живому організмі;
- Сутність технологічних процесів енергетичної біоконверсії;
- Фундаментальну і сучасну літературу з даного напрямку.

вміти:

- Застосовувати знання у практичній діяльності;
- Вирішувати тестові завдання;
- Володіти основами системного підходу до аналізу складних явищ;
- Синтезувати знання в нових ситуаціях;
- Орієнтуватися у сучасних напрямках в біоенергетиці;
- Проводити енергетичний аналіз деяких біологічних процесів;
- Оцінювати енергетичний потенціал органічної речовини;
- Здобувати нові знання, використовуючи сучасні інформаційні освітні технології.

Міждисциплінарні зв'язки: дана дисципліна спирається на знання, здобуті студентами при вивченні біології, фізики, хімії, загальної мікробіології та вірусології, загальної біотехнології і є необхідною при формуванні природничого світогляду у майбутніх науковців при виконанні науково-дослідної роботи та для успішного виконання своїх професійних завдань.

ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота № 1

Тема. Аналіз твердого біопалива другого покоління

Мета: ознайомитися з сучасними видами твердого біопалива та отримання навичок аналізу твердого палива, закріплення теоретичних знань на практиці.

Матеріали та обладнання: проби деревного вугілля та паливні пелети, аналітичні ваги, сушильна шафа, бюкси, мірний циліндр, муфельна піч, штангенциркуль.

Навчальні елементи: біопаливо, пелети.

Короткі теоретичні відомості

В наш час традиційне тверде біопаливо у вигляді дров витісняється сучасними видами, більш зручними в експлуатації й більш доступними. Наприклад, таким як деревне вугілля, що отримують з низькосортної деревини, а також пелети – з відходів рослинних матеріалів.

На даний момент державні стандарти на пелети ще не вироблені, тому в основному виробники та споживачі спираються на німецький стандарт на гранули DIN 51731 та його наступні редакції. В 2010 році введені редакції стандарту для Європи, EN plus-A2 для пелет побутового призначення й EN-B для «індустріальних» пелет, які використовуються на промислових підприємствах і в комунальних котельнях.

Німецькі стандарти вважаються найрозвинутішими й суворими. В таблиці 1.1 наведені показники якості гранул за стандартом EN plus-A2.

Вимірювання геометричних розмірів пеллет здійснюється за допомогою штангенциркуля з точністю 0,01 мм. На аналіз беруть не менше 5 гранул, взятих з різних місць товарної упаковки. Обидва розміри (діаметр і довжина) для кожної гранули заміряються три рази. Діаметр вимірюється посередині довжини і на обох кінцях (приблизно на 1 мм від кінця), довжина – з обертом гранули навколо осі приблизно на 120 градусів. При повороті гранули

вимірювальні губки штангенциркуля розсуваються. Виміри зводяться до таблиці 1.1 та 1.2, потім статистично обробляються з розрахунком середнього значення і стандартного відхилення. Рекомендується одразу вводити дані в таблицю, створену в програмі Excel з автоматичною статобробкою.

Таблиця 1.1 Показники якості паливних гранул за EN plus-A2

Показник	Нормоване значення
Діаметр, мм	6±1
Довжина, мм	Від 3,15 до 40
Насипна маса, кг/м ³	Не менше 600
Теплота згоряння, МДж/кг	Не менше 16,5
Вологість, %	Не більше 10
Стирання/пил, %	Не більше 1
Твердість, %	Не менше 97,5
Зольність, %	Не більше 1,0
Температура плавлення золи, °С	Не менше 1100
Вміст хімічних елементів, мг/кг, не більше	
Хлор	0,03
Сульфур	0,05
Нітроген	0,5
Свинець	10
Хром	10
Арсен	1
Кадмій	0,5
Меркурій	0,1
Мідь	10
Нікол	10
Цинк	100

Таблиця 1.2 Геометричні розміри пелет

гранула	замір	Діаметр, мм	Довжина, мм
1	1		
1	2		
1	3		
...	...		
5	1		
5	2		
5	3		

Хід роботи

1. Пробу вугілля в об'ємі приблизно 10 см^3 зважити на аналітичних вагах у бюксі з відомою вагою і висушити в сушильній шафі за температури $+105$ $+110^\circ\text{C}$ протягом трьох годин. Потім бюкс з вугіллям розмістити в ексікаторі й через 30 хв. зважити.

2. Масову долю води визначити за формулою:

$$W = (m_1 - m_2)/(m_2 - m_3),$$

де m_1 – маса бюксу з вугіллям до висушування, г; m_2 – маса бюксу з вугіллям після висушування, г; m_3 – маса висушеного бюкса, г.

3. Задля визначення масової частки нелетючого вуглецю пробу вугілля в об'ємі приблизно 10 см^3 зважити на аналітичних вагах у тиглі з кришкою з відомою вагою.

4. Закрити кришку і розмістити тигель з вугіллям у муфельній печі, яка повинна бути розігріта до $+800^\circ\text{C}$, на 4 – 6 хвилин.

5. Масову частку нелетючого вуглецю (FC) визначити за формулою:

$$FC = (m_1 - m_2) \times 10000 / (m_3 - m_2) W,$$

де m_1 – маса тигля з кришкою після витримування в печі, г; m_2 – маса тигля з кришкою, г; m_3 – маса тигля з вугіллям з кришкою, г; W – вологість наважки вугілля.

За результат аналізу прийняти середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, абсолютне розходження між якими не перевищує допустиму розбіжність, яка дорівнює 3%.

6. Задля визначення масової долі золи, після визначення вмісту нелетючого вуглецю озолення продовжують. Тигель з наважкою з визначеним вмістом вуглецю розташовують в муфельній печі розігрітій до +800°C до зникнення чорних шматочків в тиглі.

Зольність визначають за формулою, %:

$$Z = (m_4 - m_2 - m_5) * 10000 / (m_3 - m_2) W,$$

де m_4 – маса тигля з золою, г; m_2 – маса тигля з кришкою, г; m_5 – маса кришки, г; m_3 – маса тигля з вугіллям з кришкою, г; W – вологість наважки вугілля.

За результат аналізу прийняти середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, абсолютне розходження між якими не перевищує допустиму розбіжність, яка дорівнює 0,5%.

7. Задля визначення частки дрібної фракції (пилу) зважують близько 20 г вугілля, просіваючи вручну через сито з сіткою 0,1 К з легким постукуванням сита по поверхні стола до припинення випадіння дрібної фракції. Залишок на сітці зважують. Результат зважування в грамах записують до другого десятинного знаку.

Ступінь подрібнення вугілля (X_2) у відсотках визначають за формулою:

$$X_2 = 100 m_1 / m,$$

де m_1 – маса залишку вугілля на сітці, г; m – маса наважки вугілля, г.

За результат аналізу прийняти середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, абсолютне розходження між якими не перевищує допустиму розбіжність, яка дорівнює 0,2%.

8. Задля визначення уявної щільності вугілля розміщують у попередньо зваженому циліндрі на 20 см³, струшуючи протягом однієї хвилини. Відмітити об'єм, що займає вугілля, і зважити циліндр з вугіллям.

Уявну щільність ($UЩ$) визначають за формулою, г/см³:

$$УЩ = (m_1 - m_2) \times 1000 / V,$$

де m_1 – маса циліндру з вугіллям, г; m_2 – маса порожнього циліндру, г; V – об’єм, що займає вугілля, см³.

9. Задля визначення насипної маси гранул їх треба покласти до попередньо зваженого на технічних вагах циліндра діаметром не менше трьох довжин гранул і висотою не менше десяти довжин. В циліндр засипати гранули на дві третини висоти циліндра, верхній отвір закрити полімерною плівкою і закріпити плівку на циліндрі гумовим кільцем. Циліндр взяти в руки: однією за дно циліндра, а іншою притиснути закриваючу циліндр згори плівку. Потім циліндр перевернути 6 разів, чергуючи перевертання за годинниковою стрілкою і проти її ходу. У вертикальних положеннях циліндру треба робити невеликі паузи. Відзначити об’єм, який займуть гранули, і зважити циліндр з ними.

Насипну щільність визначити за формулою, кг/м³:

$$НЩ = (m_1 - m_2) \times 1000 / V,$$

де m_1 – маса циліндру з гранулами, г; m_2 – маса порожнього циліндру, г; V – об’єм, що займають гранули, см³.

10. Обчислити інші показники для пелет (вологість, вміст дрібних фракцій, зольність) аналогічно до таких параметрів деревного вугілля.

11. Зробити висновки. Та записати їх до зошита.

Контрольні питання

1. До якого покоління біопалива відносять пелети?
2. Які хімічні елементи і в яких кількостях можуть входити до складу пелет згідно загальнозживаного стандарту?
3. За якої температури відбувається спалення дослідних зразків у муфельній печі?
4. З якого субстрату переважно виробляється деревне вугілля?
5. З якого субстрату переважно виробляються пелети?

Література: [3; 4; 26; 34].

Лабораторна робота № 2

Тема. Технологічна схема та принцип роботи установки для отримання біогазу

Мета: ознайомитися з будовою та принципом дії метаногенної установки.

Матеріали та обладнання: наочна схема лабораторної установки для отримання біогазу, органічний субстрат, скляні ємкості, штатив, мірний циліндр, скляні та гумові трубки, термостат

Навчальні елементи: біогаз, метаногенез.

Короткі теоретичні відомості

Лабораторна установка з отримання біогазу призначена для проведення лабораторно-практичних занять з дисциплін «Біоенергетика», «Загальна біотехнологія» та «Біофізика», студентів денної форми навчання за напрямом 6.051401 – «Біотехнологія», відноситься до лабораторного обладнання (випробувальної техніки).

Найбільш близьким технічним рішенням, взятим за прототип, є лабораторна установка з отримання біогазу (див. Федорова В.Г., Микільська О.М. Практикум з екології та охорони навколишнього середовища. – М: Владос, 2003, с.288, робота №25 «Отримання біогазу з органічних відходів», с.91-94), що включає колбу, яка щільно закривається гумовою пробкою з відвідною скляною трубкою, кінець якої в колбі розташовується над відводами (для виходу газу). До скляної трубки приєднують гумову трубку, яка через скляний перехідник з'єднується з м'яким балоном для приймання газу або через водяний затвор з мірним циліндром. Герметичність всіх з'єднань та пробки з колбою забезпечується пластмасовою стрічкою.

Технічним результатом є розширення функціональних можливостей лабораторної установки, підвищення достовірності результатів випробувань за утворення біогазу, виявлення ступеня впливу факторів на процес утворення біогазу, а саме: температури, вологості і елементного складу відходів на вихід біогазу, а також зменшення вологовмісту в біогазі, що утворюється.

Для досягнення зазначеного технічного результату відома лабораторна установка з отримання біогазу включає колбу, яка щільно закривається гумовою пробкою з відповідною скляною трубкою і м'яким балоном для приймання газу, згідно винаходу колба виконана у вигляді біореактора, що представляє собою скляний циліндр із притертою кришкою, в нижній частині якого є скляний фільтр і патрубок для відводу біогазу, що утворюється, який послідовно з'єднаний з адсорбером, ротаметром і пробовідбірником для відбору проб біогазу для аналізу.

На малюнку 1.1 показана принципова схема лабораторної установки.

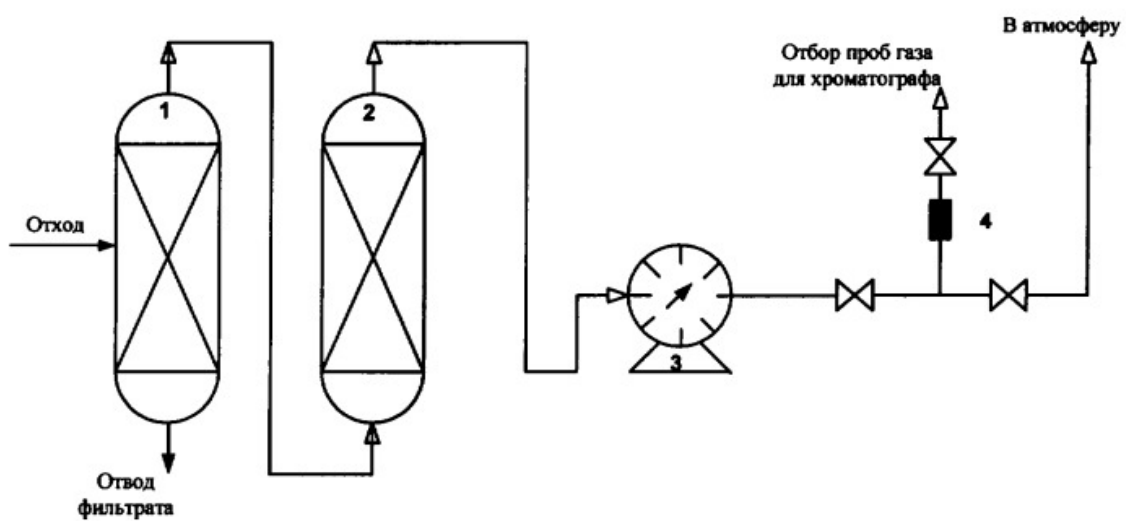


Рис. 1.1 Принципова схема лабораторної метаногенної установки

В лабораторній установці газ, що утворюється в біореакторі, осушується в адсорбері 2. за допомогою осушувача – хлориду кальцію. Вихід (об'єм) газу визначається за допомогою ротаметра 3. Відбір проб біогазу для хроматографічного аналізу здійснюється пробовідбірником 4. Система (в силу своєї компактності) поміщається в термостат, що дозволяє варіювати температуру. Герметичність системи забезпечується вакуум-мастилом, притертими кришками реактора 1, адсорбера 2.

Відмінність запропонованої конструкції від відомої полягає в розміщенні на дні біореактора 1 патрубка для відводу фільтрату, що може утворюватися, та використанні адсорбера 2, який підвищує якість біогазу, що утворюється, і спеціального приладу для вимірювання об'єму біогазу, – ротаметра 3, а також

пробовідбірника 4, що дозволяє проводити відбір біогазу на хроматографічні аналізи.

Установка працює наступним чином: в біореактор 1 завантажують біомасу певної вологості. Протягом певного часу в біореакторі створюються анаеробні умови. По мірі розкладання відбувається утворення біогазу та фільтрату. Надлишок фільтрату відводиться через патрубок, а біогаз, що утворюється, проходить через адсорбер 2, де осушується і очищається від супутніх домішок. Об'єм виділеного біогазу заміряється ротаметром 3, що дозволяє контролювати його через відбірник 4. Система ставиться в термостат (в силу своєї компактності), що дозволяє варіювати температуру. Герметичність системи забезпечується вакуум-мастилом і притертими кришками біореактора 1, адсорбера 2.

Хід роботи

1. Замалювати схему метаногенної установки в зошит.
2. Зібрати згідно зі схемою лабораторну модель установки для виробництва біогазу.
3. Підвести трубки від ємкостей з субстратом через водяний затвор до мірного циліндру та розташувати дослідну модель у термостаті.
4. Встановити температурний режим на показник $+38\text{ }^{\circ}\text{C}$.
5. Щодоби перевіряти об'єм газу, що виділився, та заносити показники до відповідної таблиці.
6. В кінці досліду перевірити отриманий газ на горючість.
7. Зробити висновки.

Контрольні питання

- 1 З яких компонентів складається лабораторна біогазова установка?
- 2 Яким чином можна фіксувати об'єм газу, що виділяється?
- 3 Який температурний режим є оптимальним для мезофільної метаногенної мікрофлори?
- 4 Який субстрат можна використовувати для отримання біогазової суміші?

5. Яким чином забезпечується герметичність установки?

Література: [3; 4; 26; 34].

Лабораторна робота № 3

Тема. Отримання біодизелю.

Мета: Розібрати процес отримання біодизельного палива за допомогою дослідної лабораторної моделі.

Матеріали та обладнання: Принципова схема біодизельної установки, органічний субстрат на основі рослинної олії, пластикові трубки, гумові шланги, кавітатор, насос, крани.

Навчальні елементи: біодизель, переетерифікація.

Короткі теоретичні відомості

Біодизель (дизельне біопаливо, MEPO, PME, RME, FAME, EMAG, SME, SFME, біонафта й ін.) – екологічно чистий вид біопалива, а також паливна добавка, яке синтезується із рослинних олій чи тваринних жирів і використовується для заміни нафтового дизельного палива. З хімічної точки зору це пальне являє собою суміш метилових та/або етилових моноалкілових ефірів довголанцюжкових жирних кислот (насичених і ненасичених). Біодизель є альтернативним автомобільним паливом.

Біодизель це рідина жовтого кольору (може бути різних відтінків). Майже не змішується з водою, має високу температуру кипіння та низьку пружність пари. Виготовлений з незабрудненої сировини біодизель є нетоксичним.

Відносно висока температура займання біодизелю 150°C робить паливо досить безпечним у питанні протипожежної безпеки. Густина біодизелю 0,86 г/см³. В'язкість біодизелю та звичайного дизельного пального однакова. Вміст сірки у вихлопі 0,001% проти 0,05% в мінеральному дизельному паливі.

Біодизель найчастіше виробляють з ріпакової олії (84%), проте в залежності від географічного розташування і природно-кліматичних умов виробників використовується соняшникова олія (13%), конопляна, олія ятрофи (пляшкове дерево). Процес одержання біодизельного палива є досить простим.

Рослинна олія є сумішшю тригліцеридів, ефірів, сполучених з молекулою гліцерину. Основне завдання при одержанні біодизелю полягає в тому, щоб видалити гліцерин, замінивши його на спирт. Цей процес називають переетерифікацією. Переетерифікація є найпоширенішим способом отримання біодизелю з рослинної олії та тваринних жирів спиртами (етиловим, метиловим, ізопропіловим, бутанол). В результаті етерифікації утворюються ефіри жирних кислот (біодизель) та побічний продукт переетерифікації – триатомний спирт гліцерин в складі гліцеролової фази (в неочищеному стані його називають гліцерилем, а саму гліцеролову фазу – так званим «чорним» гліцерином).

Отже, під час реакції етерифікації рослинного жиру нижчим жирним спиртом (найчастіше – метиловим) утворюються складні ефіри, а також гліцеролова фаза, хімічний склад якої такий: гліцерин – 56 %, метанол (етанол) – 4 %, жирні кислоти – 13 %, вода – 8 %, неорганічні солі – 9 %, складні ефіри – 10 %. З 1 тонни олії та 0,1 тонни метанолу виробляють орієнтовно 1 тонну біодизелю то 0,1 тонну гліцерилу.

Якщо отриманий біодизель має низьку температуру спалаху, це свідчить про недостатність очищення від метанолу. Для запобігання мікробному псуванню біодизеля на стадії очищення і стабілізації біопалива використовують паливні присадки (біоциди), та проводять докладне зневоднення готового продукту, обробку ультразвуком.

При використанні етанолу буде отримано етилові ефіри біодизелю. Етанолова та ізопропанолова технології складніші (вимагають наявності каталізаторів та апаратури, яка б могла працювати при високому тиску).

Найпоширенішим для виробництва метилових ефірів є використання метанолу, оскільки він є найдешевшим зі спиртів. Під час реакції переетерифікації олії та жири вступають у реакцію з метиловим (етиловим) спиртом у присутності каталізатора (лугу), внаслідок чого утворюються складні ефіри (біодизель), а також гліцеролова фаза, що містить 45-56% гліцерину, 4% метанолу, що не прореагував, 13% жирних кислот, 8% води, 9% неорганічних

солей, 10% ефірів. Одержану в результаті реакції суміш розділяють в сепараторах або ємностях-відстійниках. Очищений гліцерин використовується для виробництва миючих засобів, а після глибокої очистки використовується в фармацевції. Проте для проведення очистки гліцерину та утилізації відходів необхідні додаткові капіталовкладення на етапі проектування та будівництва переробного заводу.

Ці технології є дещо багатостадійними і пов'язані з нагромадженням відходів, зокрема гліцерилу, який не піддається етерифікації в цих умовах. Розробляються способи одержання біодизелю з використанням твердих гетерогенних каталізаторів, які відкривають перспективу створення одностадійних енергозберігаючих процесів переетерифікації олій та жирів та етерифікацію гліцерину навіть із застосуванням етанолу. Найбільше практичне застосування серед твердих кислот знаходять цеоліти, індивідуальні та змішані оксиди, активовані глини, органічні сульфокатіоніти.

Задля дослідження процесу в лабораторних умовах може слугувати демонстраційна дослідна біодизельна установка рис. 2.1



Рис. 2.1 Лабораторна демонстраційна модель для виробництва біодизель
Основні технологічні вузли і агрегати установки вказані на рис. 2.2

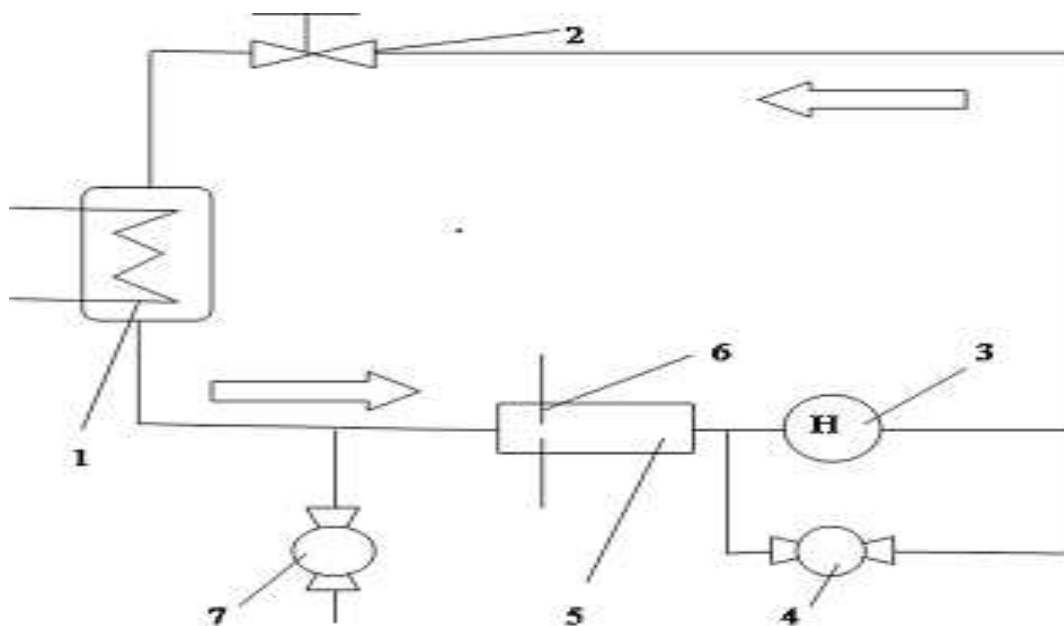


Рис. 2.2 Схема установки, використовуваної для виробництва дизельного біопалива: 1 – реактор; 2 – кран; 3 – насос; 4 – кран; 5 – прозорий корпус кавітатора; 6 – діафрагма; 7 – кран

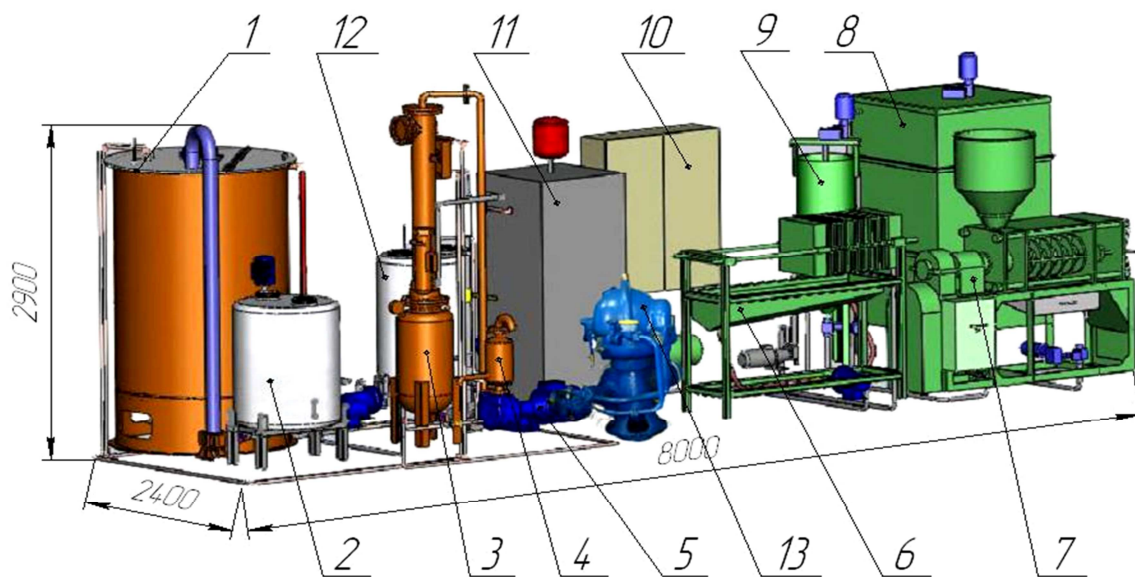


Рис. 2.3 Загальна схема обладнання міні-заводу МЗДП-1 для виробництва дизельного біопалива: 1 – реактор; 2 – місткість для суміші метанолу та КОН; 3 – апарат ректифікації; 4 – адсорбер; 5 – вакуум-насос; 6 – фільтр-прес; 7 – відтискний прес; 8 – місткість для накопичення олії; 9 – відстійник; 10 – шафа керування; 11 – водонагрівач; 12 – місткість для води; 13 – сепаратор.

Хід роботи

1. Ознайомитися з принциповою схемою лабораторного реактору для отримання дизельного біопалива.

2. Зібрати згідно зі схемою лабораторну модель установки для виробництва біодизельного палива.

3. Дослідити процес виробництва дизельного біопалива з рослинних олій з застосуванням гідродинамічної кавітації (інтенсивність процесу, вихід палива, витрати енергії на процес).

4. На основі лабораторної моделі розробити технологічну схему виробництва дизельного біопалива з рослинних олій.

5. Зробити висновки.

Контрольні питання

1. Розповісти про фізико-хімічні властивості біодизельного палива.

2. З якої сировини виробляється більша частина біодизельного палива?

3. З яких основних вузлів складається біодизельна установка?

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

5. Де може бути застосований біодизель?.

Література: [11; 20; 25]

Лабораторна робота № 4

Тема. Отримання біоетанолу

Мета: опрацювати методику отримання біоетанолу.

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.

Навчальні елементи: біоетанол, ферментація.

Короткі теоретичні відомості

Етанол виробляється методом зброджування цукрів у безкисневому середовищі спиртовими дріжджами.

Раніше майже весь етилови й спирт, виготовлений таким шляхом, використовувався для виробництва алкогольних напоїв, і лише невеликі обсяги, отримані хімічними методами, застосовувалися у промисловості. За останні 25 років ситуація докорінно змінилася. Нині більше половини виробленого у світі етанолу використовується як добавка до пального для двигунів внутрішнього згоряння і лише 15% – для виготовлення алкогольних напоїв. Етанол із біомаси, що застосовується як паливо, називають паливним етанолом, або біоетанолом (європейський термін). По суті, він є абсолютизованим етиловим спиртом. Світове виробництво етанолу у 1998 р. становило близько 32 млрд. л, з них 4 млрд. л – харчового етанолу, 8 млрд. л – для хімічної промисловості, 20 млрд. л – паливного. Лише 7% загальної кількості етанолу було отримано методом хімічного синтезу, а 93% – дріжджовою ферментацією цукру і зерна. Обсяги виробництва харчового спирту залишаються незмінними від 1975 р., тоді як паливного етанолу – зросли від 2 до 20 млрд. л у 1998 р. і до 51 млн. м³ у 2006р.

Україна має обнадійливий прогноз щодо формування ринку біоетанолу. Сировиною для паливного етанолу може бути меляса (цукрові буряки), зернові культури, картопля, фрукти, спеціальні технічні культури.

Найбільш розповсюдженим методом виробництва біоетанолу є метод гідролізу полісахаридів до простих цукрів (мальтози – з крохмалю зернових і картоплі, сахарози – з меляси і буряків, а також целюлози з деревини). У меншому масштабі застосовують процеси гідролізу целюлози з геміцелюлози, а також ензиматичний гідроліз целюлози з використанням лігніну як твердого палива для виробництва тепла під час процесу.

Процес спиртової ферментації полягає у перетворенні простих цукрів (глюкоза, фруктоза) під впливом ферментів в етанол і CO₂.

Теоретично процес цієї ферментації відбувається таким чином:



(180 кг глюкози → 92 кг біоетанолу + 88 кг CO₂).

У загальному вигляді технологія одержання біоетанолу складається з двох основних етапів, а саме: виробництва спирту-сирцю та зневоднення етанолу.

Технологія виробництва спирту-сирцю передбачає відокремлення етанолу від домішок методом дистиляції. Отриманий таким чином спирт містить у собі близько 4% об'єму води. Склад цієї суміші змінюється залежно від тиску. Проте методом простої ректифікації неможливо отримати зневоднений етиловий спирт, а саме такий потрібен як домішка до палива. Теоретично зневоднений спирт можна одержувати з використанням БРУ, що працюють під вакуумом, але їх конструювання, а також виробництво дорого коштують. Для зневоднення спирту можна застосовувати вапно, гіпс та інші сполуки, що приєднують воду, проте великі втрати етанолу під час регенерації зневоднюючих засобів унеможливають застосування цих методів на практиці. Розроблено способи отримання зневодненого спирту за допомогою молекулярних сит, напівпроникних плівок та інші методи. Спирт етиловий технічний як основа біоетанолу може виготовлятися з нехарчової сировини або вуглеводовмісної різними галузями: гідролізною, нафтохімічною, харчовою.

Хід роботи

1. Задля отримання зразків біоетанол 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 етанол та вуглекислий газ.

3. Отримана брага піддається простій перегонці за допомогою конструкції, зображеною на малюнку 3.1

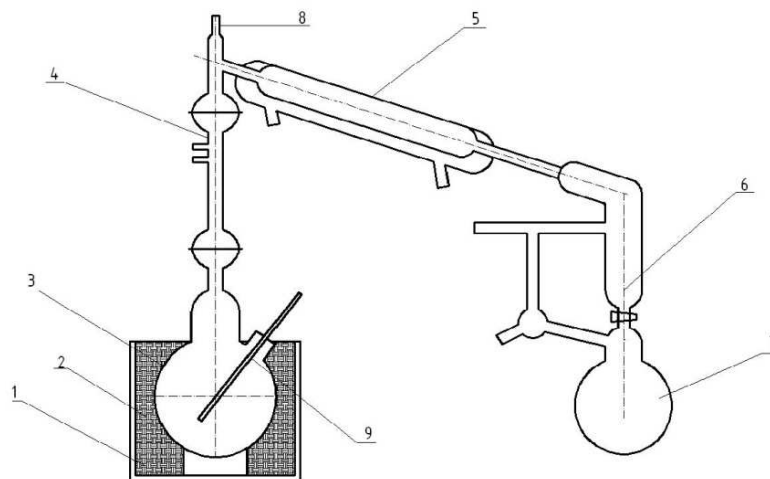


Рис. 3.1 Схема установки для простої перегонки

Вона складається з перегонного куба 3, який знаходиться в піщаній бані 1, обладнаній 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 та сформулювати висновок.

Контрольні питання

1. Які методи застосовують для розділення рідких однорідних сумішей?
2. Що таке проста перегонка і для яких сумішей її застосовують?
3. Які речовини крім етанолу ще можуть бути отримані при такому способі біоконверсії?
4. Які основні вимоги техніки безпеки при проведенні перегонки?
5. Які біологічні агенти можуть бути використані при зброджуванні рослинної органічної маси?
6. Який процес застосовується замість простої перегонки для отримання більш якісного продукту під час промислового виробництва біоетанолу?

Література: [1; 13; 17; 27]

Лабораторна робота № 5

Тема. Отримання біоводню

Мета: ознайомлення з технологією виробництва біоводню.

Матеріали та обладнання: плакат із зображенням технологічної схеми очищення стічних вод солодового заводу; *піпетка на 1 мл; активний мул (або настій сіна 5-, 15-, 20-, 25-, 30-, 35-денної витримки в склянках на 250 мл); формалін 40 %-й, вата, спирт.*

Навчальні елементи: біоводень, *фіксатори*

Короткі теоретичні відомості

Біоводень – водень, отриманий з біомаси.

На даний час у всьому світі щорічно виробляється близько 50 млн. тонн водню. З них приблизно 48% виробляється з природного газу, 30% з нафти, і 18% з вугілля. При виробництві водню з вуглеводнів утворюється велика кількість CO₂, який є однією з причин глобального потепління. До того ж не всі країни мають власні вуглеводні. Рішенням цих проблем може стати виробництво водню з біомаси.

Водень з біомаси отримують термохімічним або біохімічним способом.

В біохімічному процесі водень утворюють різні бактерії, наприклад, *Rhodobacter sphaeroides*, *Enterobacter cloacae*.

Можливе застосування різних ензимів для прискорення виробництва водню з полісахаридів (крохмаль, целюлоза), що містяться в біомасі. Процес проходить при температурі 30°C і нормальному тиску. Собівартість водню близько \$ 2 за кг.

Вчені Каліфорнійського університету в Берклі в 1999 році виявили, що якщо водоростям не вистачає кисню і сірки, то процеси фотосинтезу у них різко слабшають і починається бурхливе утворення водню.

Водень може виробляти група зелених водоростей, наприклад, *Chlamydomonas reinhardtii*. Водорості можуть виробляти водень із морської води, або каналізаційних стоків.

Водень також може вироблятися риформінгом біогазу або лендфілл-газу.

Використання біомаси в якості джерела водню пов'язано з рядом проблем: відсутністю допрацьованих демонстраційних проектів, низьким вмістом водню – 6% в порівнянні з 25% в метані, низькою теплотворною здатністю, високою ціною заготівлі и транспортування деревини в розвинених країнах. В наш час за кордоном активно розробляються наступні технології отримання водню з біомаси: 1) пряме отримання водню шляхом термохімічної конверсії; 2) отримання проміжної сировини (біонафти, метану, метанолу й етанолу); 3) конверсія водних суспензій біомаси за надкритичних параметрів; 4) біологічна конверсія біомаси. Методи 3 і 4 знаходяться поки на стадії лабораторних досліджень і розраховані на далеку перспективу. Технічна можливість впровадження методів 1 і 2 опосередковано обґрунтована досвідом конверсії вугілля, але потребує подальших досліджень з урахуванням більш високого вмісту летючих сполук і невисокою калорійністю біомас. Парова термокаталітична 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 окислення сировини. Реальний вихід водню в лабораторних умовах досягає 60 – 70 % від теоретичного при термічній ефективності процесу близько 40 – 56 %.

Прикладом промислового отримання біоводню може слугувати технологічний процес очищення стічних вод на солодовому заводі. В напрацьованій технологічній схемі (рис. 4.1) 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 частково очищеної стічної води становить близько 800 – 500 мг $O_2/дм^3$. Такий вміст органічних речовин є прийнятним для продукування водню

в біоелектрохімічній системі. БЕХС представляє собою двокамерну систему, анод та катод якої розділені протонобмінною мембраною.

Анод виконано у вигляді йоржів з вуглецевих матеріалів на титановому струмовідводі. На аноді БЕХС 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.

Рис.4.1. Технологічна схема очищення стічних вод солодового заводу з одержанням 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 з ФАО; 24 – аеробний біореактор з ФАО; 25 – трубопровід відведення мулу; 26 – насос; 27 – відстійник; 28 – зворотній мул ; 29 – надлишковий мул; 30 – повітря; 31 – очищена вод.

Хід роботи

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.

Контрольні питання

1. Пояснити що таке біоводень.
2. Чим біоводень відрізняється від водню, отриманого за допомогою інших методів?
3. З якої сировини можна отримувати біоводень?
4. Що є біологічним агентом у виробництві біоводню?
5. В чому полягає екологічність подібної технології?

Література: [8; 18; 24; 31]

2 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Контроль з дисципліни «Біоенергетика»

Поточний контроль здійснюється на кожному лабораторному занятті відповідно до конкретних цілей теми, на практичних підсумкових заняттях – відповідно до конкретних цілей змістових модулів. Рекомендується застосовувати на всіх лабораторних заняттях види об'єктивного контролю, контроль засвоєння практичних навичок.

Підсумковий контроль засвоєння модуля здійснюється після закінчення вивчення блоку відповідних змістових модулів за допомогою контрольного опитування.

Модульний підсумковий контроль

Модульний підсумковий контроль здійснюють після завершення вивчення модуля. До підсумкового контролю допускаються студенти, які виконали всі види робіт, передбачені навчальною програмою, та при вивченні модуля набрали кількість балів, не меншу за мінімальну.

Оцінювання дисципліни «Біоенергетика»

Оцінювання поточної навчальної діяльності

При засвоєнні кожної теми модуля за поточну навчальну діяльність студента виставляють оцінки за 4-бальною традиційною шкалою, які потім конвертують у бали залежно від кількості тем у модулі.

Максимальну кількість балів, яку може набрати студент при вивченні модуля, визначають множенням кількості балів, що відповідають оцінці «5», на кількість тем у модулі з додаванням балів за індивідуальну самостійну роботу.

Мінімальна кількість балів, яку може набрати студент при вивченні модуля, визначають множенням кількості балів, що відповідають оцінці «3», на кількість тем у модулі з додаванням балів за індивідуальну самостійну роботу.

Оцінювання індивідуальної самостійної роботи

Кількість балів за індивідуальну самостійну роботу студента (СРС) визначають як різницю між максимальною кількістю балів за поточну

навчальну діяльність і максимальною кількістю балів за поточну успішність студента при засвоєнні тем модуля. Бали за індивідуальну СРС нараховуються при успішному її захисті.

Оцінку з дисципліни «Біоенергетика» виставляють лише студентам, яким зарахований модуль з дисципліни.

Кількість балів, яку студент набирає з дисципліни, відповідає кількості балів за модуль.

Об'єктивність оцінювання навчальної діяльності студентів перевіряють статистичними методами (коефіцієнт кореляції між поточною успішністю та результатами підсумкового модульного контролю).

Конвертація кількості балів з дисципліни в оцінки за шкалами *ECTS* та 4-бальною (традиційною) шкалою

Кількість балів з дисципліни, яка нарахована студентам, конвертують у шкалу *ECTS* таким чином:

Оцінка <i>ECTS</i>	Оцінка за 4-бальною шкалою
A	«відмінно»
B, C	«добре»
D, E	«задовільно»
FX, F	«незадовільно»

Статистичний показник визначають вибірково для студентів даного курсу в межах відповідної спеціальності.

Кількість балів з дисципліни, яка нарахована студентам, конвертують у 4-бальну шкалу таким чином:

Оцінка <i>ECTS</i>	Статистичний показник
A	Найкращі 10 % студентів
B	Наступні 25 % студентів
C	Наступні 30 % студентів
D	Наступні 25 % студентів
E	Останні 10 % студентів

Оцінку з дисципліни *FX, F* («2») виставляють студентам, яким не зараховано хоча б один модуль з дисципліни після завершення її вивчення.

Оцінку *FX* («2») виставляють студентам, які набрали мінімальну кількість балів за поточну навчальну діяльність, але не склали модульний підсумковий контроль. Вони мають право на повторне складання підсумкового модульного контролю не більш ніж два рази під час зимових канікул та впродовж двох (додаткових) тижнів після закінчення весняного семестру за графіком, затвердженим ректором.

Студенти, які одержали оцінку *F* («2») після завершення вивчення дисципліни (не виконали навчальну програму хоча б з одного модуля або не набрали за поточну навчальну діяльність з модуля мінімальну кількість балів), повинні пройти повторне навчання за індивідуальним навчальним планом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Основна

1. Быстрицкий Г. Ф. Основы энергетики. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 278 с.
2. Дігтяр С.В., Козловська Т.Ф., Никифорова О.О., Новохатько О.В., Пасенко А.В. Основні підходи до математичного моделювання біологічної продуктивності ціаней як сировинної бази біоконверсії // Екологічна безпека, Кременчук, 2016, – № 2 (22). С. 118 – 127
3. Єлізаров О.І., Луговой А.В., Никифоров В.В. Про можливість використання гідробіонтів для отримання біогазу.//Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, Кременчук, 2006. – № 6(41).С. 43–44
4. Клименко А. В., Реутов Б.Ф. Биомасса – важнейший источник энергии для России // Энергетика России: проблемы и перспективы. Тр. науч сессии РАН. – М.: Наука, 2006. С. 336–340.
5. Ларин В., Ларин И., Кокорин А. Производство топливных пеллет как экологически чистый бизнес // Энергия: экономика, техника, экология, №12. 2005. С. 45–51.
6. Никифоров В.В., Козловская Т.Ф., Дегтярь С.В. Химическая біологія метаногенеза синезелёных водоростей и положительные эффекты их утилизации. // Екологічна безпека, Кременчук, 2008,– № 2 (2). С. 83 – 91
7. Панова Т.М., Гиндулин И.К., Таланкин В.С, Юрьев В.Л. Технология биотопливо. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. – 54 с.
8. Панцхава Е. С., Кошкин Н.Л. Биоэнергетические установки по конверсии органических отходов в топливо и органические удобрения // Теплоэнергетика. 1993. №4. С. 20–23.
9. Панцхава Е. С., Пожарнов В.А. Биотопливо и энергетика, Возможности России // Теплоэнергетика. 2006. №3. С. 65–72.
10. Панцхава Е. С., Шипилов М.М. Биоэнергетика в агропромышленном комплексе России//Энергия: экономика, техника, экология. 2007.№8.С.30–34.

11. Попель О. С., Фрид С. Е., Шпильрайн Э. Э. и др. Автономные водородные энергоустановки с возобновляемыми источниками энергии // Теплоэнергетика. 2006. №3. С. 42–50.

12. Шпильрайн Э. Э., Малышенко С.П., Кулешов Г. Г. Введение в водородную энергетику. — М.: Энергоатомиздат, 1984.

13.Додаткова

14. Alferov V.P.,Pronin V.M., Shmandiy V.M., Nikiforov V.V., Degtyar S.V., Kharlamova E.V. Some ways for using of pollution biomass. // Екологічна безпека, Кременчук, 2010,— № 1 (9). С. 9 – 13

15. Digtar S. Qualitative and quantitative characteristics of biogas of cyanea organic mass. // Environmental Problems. Lviv Polytechnic Publishing House, 2016, – V. 1 № 2 (2) – P. 149 – 153

16. Malovanyu M., Nykyforov V., Kharlamova O., Synelnikov O. Mathematical model of the process of synthesis of biogas from blue-green algae. // Ecological Safety – Kremenchuk: KrNU, 2015. – № 1 (19). – P. 58–63.

17. Sasson A. Biotechnologies: Challenges and Promises. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, 1984. – 315 p.

Методичні вказівки щодо лабораторних робіт з навчальної дисципліни
«Біоенергетика» для студентів денної форми навчання за напрямом 6.051401 –
«Біотехнологія»

Укладачі: старш. викл. С. В. Дігтяр

Відповідальний за випуск заст. зав. кафедри к.х.н., доц. О. В. Новохатько

Підп. до др. _____ 2017 р. Формат 60x84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.

Ум. друк. арк. 31 . Наклад _____ прим. Зам. № _____. Безкоштовно.

Видавничий відділ
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева 20, м. Кременчук, 39600