

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Кафедра фізіології, біохімії рослин та біоенергетики**

**ОБ'ЄКТИ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ВИРОБНИЦТВ**

**Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
для студентів ОС «Бакалавр» денної форми навчання аграрних вузів  
III - IV рівня акредитації  
спеціальності 162 «Біотехнологія та біоінженерія»**

**Київ-2017**

## **УДК 581.1**

Наведено методичні вказівки щодо підготовки та проведення лабораторних занять із курсу «Об'єкти біотехнологічних виробництв». Вказані методики розрахунків та проектування апаратів, що мають найбільше значення в біотехнологічних процесах. Для студентів ОС «Бакалавр» денної форми навчання аграрних вузів III – IV рівня акредитації.

Рекомендовано вченою радою факультету захисту рослин, біотехнологій та екології Національного університету біоресурсів і природокористування України протокол № 2 від 21 вересня 2017 р.

### **Укладачі:**

Старший викладач кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики, кандидат біологічних наук Бабицький Андрій Ігорович

Старший викладач кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики, кандидат історичних наук Дрозд Петро Юрійович

### **Рецензенти:**

Професор кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент НАН України Григорюк Іван Панасович

Професор кафедри молекулярної біології, мікробіології та біобезпеки доктор сільськогосподарських наук, професор Лісовий Микола Михайлович

## **Навчальне видання**

### **ОБ'ЄКТИ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт студентів ОС «Бакалавр» денної форми навчання аграрних вузів III – IV рівня акредитації спеціальності 162 «Біотехнологія та біоінженерія»

**Укладачі:** БАБИЦЬКИЙ Андрій Ігорович, ДРОЗД Петро Юрійович

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	4
Лабораторна робота №1 «Класифікація реакційних апаратів» .....	6
Лабораторна робота №2 «Методика визначення теплових балансів теплообмінних апаратів» .....	7
Лабораторна робота №3 «Методика розрахунків матеріального балансу реакційних апаратів» .....	11
Лабораторна робота №4 «Методика технологічного розрахунку реакційних апаратів» .....	16
Лабораторна робота №5 «Класифікація та шляхи інтенсифікації випарних апаратів» .....	20
Лабораторна робота №6 «Методика розрахунків при проектуванні центрифуг» .....	23
Лабораторна робота №7 «Установка для отримання біогазу» .....	27
Лабораторна робота №8 «Установка для отримання дизельного пального» .....	34
Лабораторна робота №9 «Установка для отримання біоводню з водоростей» .....	37

## ПЕРЕДМОВА

В епоху перетворення науки в безпосередню продуктивну силу, біотехнологія є найбільш перспективною сферою діяльності, розвиток її тісно пов'язаний з вирішенням соціальних, енергетичних, сировинних, продовольчих, агроекологічних завдань. Цей напрямок сформувався за останні два десятиліття і вже зараз отримав потужний розвиток. В біотехнології використовуються біологічні системи, живі організми чи їх похідні виробництва енергоносіїв, промислових продуктів та продуктів харчування, переробки відходів тощо. Особливо актуальним в останні десятиліття стало питання забезпечення держави енергоресурсами, адже за прогнозами вчених, розвіданих світових запасів нафти вистачить на 50-100 років добування, природного газу - 150-200 років. В той же час, Україна не може повністю забезпечити себе власними мінеральними енергоносіями. Доля нафти і газу власного видобутку в загальній структурі їх споживання становить приблизно 20%. Тому гостро стоїть питання про впровадження альтернативних джерел енергії. Одним із таких джерел може слугувати біоенергетика.

Для впровадження біотехнологій в практику будуються сучасні підприємства, які оснащені сучасною технічною базою. Виробництво якісної продукції на них забезпечується новітніми технологіями біотехнологічних виробництв.

Сучасна біотехнологія нараховує безліч різноманітних підприємств, які дуже відрізняються хімічною природою і фізичними якість початкових речовин, проміжних та кінцевих продуктів, а також характером і умовами протікання процесів. Не дивлячись на перераховані різноманітності, рахунок елементарних процесів, які повторюються в різних співвідношеннях у всіх біотехнологічних підприємствах досягає лише двадцяти. Із цього числа елементарних процесів, чи з деякої їх частини, тільки в різній послідовності і при різних робочих умовах, будується технологія будь-якого біотехнологічного підприємства.

Вивчення закономірностей, вказаних елементарних процесів, методів їх раціонального апаратурно-технічного оформлення та інженерних розрахунків складає предмет курсу «Процеси та апарати біотехнологічних виробництв». В цьому курсі складаються теоретичні та практичні обґрунтування технологічних процесів, методи їх розрахунків.

Знання курсу дають можливість раціонально вибрати або розробити конструкцію апарата для виконання даного процесу, розрахувати даний процес та знайти оптимальний режим його проведення, тобто забезпечує максимальну продуктивність.

## Лабораторна робота №1

### Тема: «Класифікація реакційних апаратів».

**Мета роботи:** ознайомитись з класифікацією реакційних апаратів.

#### Загальні відомості.

Реакційними апаратами називають закриті сосуди, що призначені для проведення різноманітних хімічних реакцій. Реакційні апарати, які використовуються для проведення хімічних процесів, за своїм конструктивним оформленням дуже різноманітні, що пояснюється великим обсягом умов проведення процесів.

Конструкцію реакційного апарату визнане цілий ряд факторів: температура, тиск, інтенсивність теплообміну, консистенція оброблювальних матеріалів, агрегатний стан матеріалів, наявність або відсутність каталізаторів, задана продуктивність апарату та інші специфічні умови виробництва.

Розрізняють наступні групи реакційних апаратів:

1. реакційні апарати, які працюють під тиском більше  $1 \cdot 10^7$  н/м<sup>2</sup>, і які прийнято називати сосудами високого тиску;
2. апарати з важким режимом роботи, тобто сосуди які працюють з агресивними, отруйними середовищами при температурі вище самовозгоряння речовин, або сосуди, які обігріваються теплоносієм при температурі вище  $200$  °С та робочому тиску вище  $1 \cdot 10^6$  н/м<sup>2</sup>.
3. апарати з середнім режимом роботи - сосуди з хімічними речовинами корозійної дії, які працюють при робочому тиску  $1 \cdot 10^6$  н/м<sup>2</sup> і температурі  $150$ -  $200$  °С
4. апарати з легким режимом - сосуди, які працюють на нейтральному середовищі під тиском  $1 \cdot 10^5$  н/м<sup>2</sup> і температурі до  $150$  °С.
5. апарати, які працюють під вакуумом.

Конструктивно реакційні апарати поділяють на апарати ємнісного типу та реакційні апарати з мішалками.

Апарати, які оснащені теплообмінними елементами, розподіляють-на апарати зі змішувиком, апарати з «кожухом», апарати з трубчатими елементами та апарати з вогневим обігрівом. В залежності від матеріалів вони поділяються на чавунні, сталеві, з нержавіючої сталі, мідні, алюмінієві, керамічні, фарфорові, дерев'яні, апарати з пластмас та ін.

Апарати футеровані всередині різноманітними хімічно стійкими матеріалами для захисту сталевого корпусу та внутрішніх деталей від корозії, поділяються на емальовані, гумові та футеровані плитками з

кераміки, діабазу і пластмас.

Класифікацію реакційних апаратів можна представити наступним чином:

1. За призначенням: а) ємності; б) реакційні апарати.
2. За конструктивним матеріалом: а) сталеві; б) чавунні; в) мідні; г) пластмасові та ін.
3. За способом виготовлення: а) сварні; б) литі; в) клепані; г) паяні; д) ковани та ін.
4. За формою: а) циліндричні; б) сферичні; в) конічні; г) торові; д) комбіновані.
5. За схемою завантаження: а) працюючі під атмосферним тиском; б) завантажені внутрішнім тиском; в) завантажені зовнішнім тиском.
6. За температурою стінок: а) без обігріву; б) з обігрівом.
7. За умовами корозійної дії: а) працюючі в умовах інтенсивної корозії; б) працюючі в умовах помірної корозії.
8. За розташуванням у просторі: а) вертикальні; б) горизонтальні; в) наклонні.
9. За способом збирання: а) розбірні; б) нерозбірні.
10. За товщиною стінки: а) тонкостінні; б) товстостінні (з цільною стінкою, або багат шаровою стінкою); в) футеровані.

У великому різноманітті біотехнологічних виробництв для більш повної характеристики реакційного апарату є спеціальні назви: метантенк, сульфуратор, нітратор тощо. В залежності від характеру виробничого процесу реакційні апарати можуть працювати періодично та неперервно.

#### **Методика виконання роботи.**

Вивчити класифікацію реакційних апаратів. Знайти в літературі та замалювати реакційні апарати за пунктами вище наведеної класифікації №4 та №8.

#### **Зміст звіту.**

1. Назва та мета роботи.
2. Теоретичні відомості про різні види реакційних апаратів.
3. Навести приклади (5-10) найпоширеніших типів реакційних апаратів біотехнологічного призначення.

#### **Контрольні запитання.**

1. Що таке реакційні апарати?
2. Які типи реакційних апаратів Вам відомі?
3. На яких показниках базується класифікація реакційних апаратів?

## Лабораторна робота №2

### Тема: «Методика визначення теплових балансів теплообмінних апаратів».

**Мета роботи:** ознайомитись з методикою визначення теплових балансів теплообмінних апаратів.

#### Загальні відомості.

Процеси теплообміну відіграють важливу роль у сучасній техніці. Особливо широко процеси теплообміну використовуються в хімічній, харчовій, біотехнологічній та фармакологічній промисловості.

Теплообмінними апаратами називають пристрої, які слугують для передачі тепла від одного теплоносія до іншого при здійсненні різних теплових процесів: нагрівання, охолодження, кип'ятіння, конденсації та ін.

Конструкції теплообмінних апаратів досить різноманітні, однак існує загальна методика теплотехнічних розрахунків, яку можливо використовувати для окремих розрахунків в залежності від вихідних даних.

Для таких розрахунків задаються наступні показники:

1. тип теплообмінного апарату (зм'євиковий, кожухотрубчатий, труба в трубі, спіральний або ін.);
2. вид нагріваючого та охолоджуваного теплоносія (рідина, пар або газ);
3. продуктивність теплообмінного апарату (кількість одного з теплоносіїв, кг/год);
4. початкові та кінцеві температури теплоносіїв;

Необхідно також визначити:

1. фізичні параметри та швидкість руху теплоносіїв;
2. витрати нагріваючого або охолоджуючого теплоносія на основі теплового балансу;
3. рухову силу процесу, тобто середню різницю температур;
4. коефіцієнти тепловидалення та теплопередачі;
5. поверхню теплопередачі;
6. конструктивні розміри апарату (довжину, діаметр та число витків

змійовику, число труб та довжину, а також діаметр кожуха в кожухотрубчастому апараті, кількість витків та діаметр корпусу в спіральному теплообміннику);

7. діаметри штуцерів для входу та виходу теплоносіїв.

Тепловий розрахунок починається з визначення теплової навантаженості апарату та витрат гріючого або охолоджуючого

теплоносія. Тепловою навантаженістю називається кількість тепла, переданого від гарячого теплоносія до холодного. Тепловою навантаженістю визначається за рівнянням теплового балансу:  $Q = Q_{\text{гор}} = Q_{\text{хол}}$

В залежності від заданого процесу теплові баланси мають різний вид. Загальний вид рівняння теплового балансу (прихід тепла в апарат дорівнює його витратам за законом збереження енергії М.В. Ломоносова):  $Q_{\text{прих}} = Q_{\text{втрат}}$ .

**Для холодильників.**

$$Q_{\text{прих}} = G_{\text{гор}} \cdot C \cdot (t_1 - t_2);$$

$Q_{\text{втрат}} = W_{\text{хол}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t'' - t')$ , де  $G_{\text{гор}}$  - кількість гарячого теплоносія,  $t_1$  - початкова температура гарячого теплоносія,  $t_2$  - кінцева температура гарячого теплоносія,  $W_{\text{хол}}$  - кількість охолоджуючої води,  $C_{\text{в}}$  - середня теплоємність охолоджуючої води,  $t''$  - температура охолоджуючої води на виході з апарату,  $t'$  - температура охолоджуючої води на вході в апарат.

Рівняння теплового балансу:

$$G_{\text{гор}} \cdot C \cdot (t_1 - t_2) = W_{\text{хол}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t'' - t')$$

З рівняння теплового балансу визначається витрата охолоджуючої води (в кг):

$$W_{\text{хол}} = G_{\text{гор}} \cdot C \cdot (t_1 - t_2) / C_{\text{в}} \cdot (t'' - t')$$

**Для нагрівачів.** Підігрів одного з теплоносіїв відбувається за рахунок конденсації грійоючої водяної насиченої пари:

$$Q_{\text{прих}} = D \cdot (i_1 - i_2);$$

$Q_{\text{втрат}} = G \cdot C \cdot (t_1 - t_2)$ , де  $D$  - кількість грійоючої пари,  $i_1$  - тепловміст (або ентальпія) грійоючої пари (знаходиться з таблиць насиченої водяної пари),  $i_2$  - тепловміст конденсату ( $i_2 = C_{\text{в}} \cdot t_{\text{конт}}$ ),  $G$  - вага нагріваємої речовини,  $C$  - теплоємність нагріваємої речовини,  $t_2$  - початкова температура речовини,  $t_1$  - кінцева температура речовини,

Рівняння теплового балансу:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{втрат}} + Q_{\text{втрат}}$$

де  $Q_{\text{втрат}}$  - втрати тепла від стінок апаратів у навколишнє середовище.

З виробничої практики відомо, що тепловтрати складають близько 1-2 % від підведеного тепла. Теплові втрати можна вирахувати коефіцієнтом  $\eta = 0,97 \sim 0,98$  від приходу тепла.

$$D \cdot (i_1 - i_2) \cdot \eta = G \cdot C \cdot (t_1 - t_2).$$

Відповідно витрати грійоючої пари складають:  $D = G \cdot C \cdot (t_1 - t_2) / (i_1 - i_2) \cdot \eta$ .

**Для випарувачів.** Підігрів холодного теплоносія відбувається зі зміною його агрегатного стану, тобто рідина переходить у пару, в той же час гарячий теплоносіє (наприклад, насичений пар), віддаючи тепло, також змінює агрегатний стан - конденсується:



$$Q_{\text{прих}} = D \cdot (i_1 - i_2);$$

$Q_{\text{витрат}} = Q_1 + Q_2 + Q_{\text{витрат}}$ , де  $Q_1$  – тепло, що пішло для обігріву холодного теплоносія до температури кипіння,  $Q_2$  – тепло, витрачене на випаровування киплячої рідини:

$$Q_1 = G \cdot C \cdot (t_s - t_1)$$

$Q_2 = G \cdot r$ , де  $G$  – кількість холодного теплоносія,  $C$  – середня теплоємність теплоносія,  $t_s$  – температура кипіння холодного теплоносія,  $t_1$  – початкова температура холодного теплоносія,  $r$  – прихована теплота пароутворення теплоносія.

$$\text{Рівняння теплового балансу: } D \cdot (i_1 - i_2) \cdot \eta = G \cdot C \cdot (t_s - t_1) + G \cdot r.$$

Відповідно витрати грюючої пари складають:  $D = G \cdot C \cdot (t_s - t_1) + G \cdot r / (i_1 - i_2) \cdot \eta$ .

**Для конденсаторів.** В цих апаратах відбувається процес охолодження гарячого теплоносія зі зміною його агрегатного стану. В цих апаратах відбувається процес охолодження гарячого теплоносія зі зміною його агрегатного стану. Наприклад, технологічна речовина (пари етилового спирту), охолоджуючись, конденсуються, і рідкий етиловий спирт виходить з заданою температурою. Тепло від гарячого теплоносія у більшості випадків відводиться холодною водою.

$$Q_{\text{прих}} = Q_1 + Q_2 + Q_3;$$

$Q_{\text{витрат}} = W \cdot C_v \cdot (t'' - t')$ , де  $Q_1$  – тепло, що виділяється при охолодженні підігрітих парів до насиченого стану,  $Q_2$  – тепло, що виділяється при конденсації насиченого пару,  $Q_3$  – тепло, що виділяється при охолодженні гарячої рідини до заданої температури,  $W$  – витрати охолоджуючої води.

$$Q_1 = G \cdot C_p \cdot (t_{\text{п.п.}} - t_{\text{н.п.}});$$

$$Q_2 = G \cdot r;$$

$Q_3 = G \cdot C \cdot (t_s - t_1)$ , де  $G$  – кількість гарячого теплоносія,  $C_p$  – теплоємність при постійному тиску для підігрітої пари,  $t_{\text{п.п.}}$  – температура підігрітої пари,  $t_{\text{н.п.}}$  – температура насиченої пари,  $r$  – прихована теплота конденсації гарячого теплоносія,  $C$  – теплоємність рідкого гарячого теплоносія,  $t_s$  – температура кипіння гарячого теплоносія,  $t_1$  – кінцева температура гарячого теплоносія.

Рівняння теплового балансу:

$$G \cdot C_p \cdot (t_{\text{п.п.}} - t_{\text{н.п.}}) + G \cdot r + G \cdot C \cdot (t_s - t_1) = W \cdot C_v \cdot (t'' - t'),$$

Якщо охолоджуюча вода подається в міжтрубний простір і зовнішні стінки апарата мають температуру, що мало відрізняється від температури навколишнього середовища, то теплові втрати не враховують (вони дуже малі).

Виходячи з рівняння теплового балансу визначаємо витрати охолоджуючої води:

$$W = G \cdot C_p \cdot (t_{н.п.} - t_{п.п.}) + G \cdot r + G \cdot C \cdot (t_s - t_2) / C_v \cdot (t'' - t')$$

### **Методика виконання роботи.**

Ознайомитись з методикою визначення теплових балансів теплообмінних апаратів. Розбитись на підгрупи та обчислити витрати води і водяної пари для різних типів теплообмінних апаратів (холодильників, нагрівачів, випаровувачів, конденсаторів).

### **Зміст звіту.**

1. Назва та мета роботи.
2. Теоретичні відомості про теплообмінні апарати.
3. Теоретичні відомості про методику теплотехнічних розрахунків різних типів теплообмінних апаратів.
4. Обчислення витрат води або водяної пари для одного з типів теплообмінних апаратів (холодильників, нагрівачів, випаровувачів, конденсаторів).

### **Контрольні запитання.**

1. Що таке теплообмінні апарати?
2. Які основні показники входять до загальної методики теплотехнічних розрахунків?
3. Які основні параметри використовуються для обчислення витрат води або водяної пари різних типів теплообмінних апаратів.

## Лабораторна робота №3

### Тема: «Методика розрахунків матеріального балансу реакційних апаратів».

**Мета роботи:** ознайомитись з методикою розрахунків матеріального балансу реакційних апаратів.

#### Загальні відомості.

При виконанні проекту з технології виробництва якого-небудь біотехнологічного продукту виникає необхідність вибору ємнісних апаратів. Для вибору ємнісних апаратів необхідно знати його об'єм. Об'єм ємнісного апарату визначається з матеріального розрахунку виробництва. Якщо ємнісний апарат використовується для зберігання сировини, то загальний об'єм сировини рівень полуторадобовому його запасу. Обирають максимально можливий об'єм посудини і підраховують кількість ємностей. Потім визначаються конструктивні розміри ємності. Найбільше поширення отримали відношення висоти до діаметру ємності:  $H/D=1/1$

Якщо посудини використовуються для зберігання проміжних продуктів, то їх об'єм визначається з умов підтримання безперебійної роботи апаратів та їх зручності. Якщо ємнісний апарат використовується для вимірювання певних кількостей реагуючих речовин, то ємність апаратів обирається в залежності від кількості рідини, що завантажується на одну операцію реактора. Всі ємнісні апарати мають коефіцієнт заповнення 0,85-0,9.

Для розрахунку та вибору ємнісного апарату задаються: 1) термін зберігання рідини; 2) фізичні властивості рідини.

Необхідно визначити:

1. Об'єм завантажуваної рідини за рівнянням:  $V_p = G_p/\gamma$ , де  $G_p$  - маса рідини,  $\gamma$  - питома вага рідини;
2. Умовний об'єм апарату:  $V_y = V_p/\gamma$ , де  $\gamma$  - коефіцієнт заповнення при спокійному стані рідині ( $\gamma=0,8-0,9$ );
3. Розміри апарату, тобто тип та основні конструктивні розміри.

Розрахунок реакційних апаратів з обігрівачими або охолоджуючими приладами і мішалками складається з:

1. матеріального балансу;
2. технологічного розрахунку;
3. теплового балансу;
4. визначення коефіцієнту тепловіддачі та теплопередачі;
5. визначення поверхні теплообміну та розмірів рубашки, змійовику або трубчатки;

б. механічного розрахунку (перевірки корпусу апарату та рубашки на міцність; розрахунок мішалки).

Матеріальний баланс. Якщо у реакторі протікає який-небудь хімічний процес, то необхідно написати рівняння хімічної реакції, підрахувати вагу вихідних речовин та готових продуктів з урахуванням виходу, зробити перерахунок на технічний продукт, а потім скласти таблицю матеріального балансу.

Нехай задана стадія уявного процесу протікає за рівнянням:

$na+mb=vc+ud$ , де  $a$  і  $b$  - вихідні речовини;  $n$  і  $m$  - кількість молей цих речовин, що приймають участь у реакції;  $c$  і  $d$  - продукти, що утворюються в результаті реакції;  $v$  і  $u$  - кількість молей готових продуктів.

Означимо молекулярну вагу всіх речовин, що приймають участь та утворюються при взаємодії, через  $M_a$ ,  $M_b$ ,  $M_c$  і  $M_d$ .

Підрахуємо вагу речовин у кілограмах:

речовини  $b$  витрачається:

$$G_a = \frac{mM_b}{nM_a} = G_b;$$

утворюється продукт  $c$ :

$$G_a = \frac{vM_c}{nM_a} = G_c$$

утворюється продукт  $d$ :

$$G_a = \frac{uM_d}{nM_a} = G_d$$

де,  $G_a$  - 100-% продукт  $a$ , що завантажується на переробку на даній стадії виробництва.

При проведенні виробничого процесу кількість отримуваних речовин відхиляється від теоретично підрахованих. Пояснюється це тим, що реакції можуть протікати не до кінця, утворюються побічні продукти, є також і механічні втрати тощо. Саме тому вагова кількість готового продукту менше теоретичної. Відношення фактично отриманого готового продукту до теоретичного називається виходом:  $\gamma = G_{\text{факт}}/G_{\text{теор}}$

Вихід  $\gamma$  завжди менший за одиницю.

Якщо виробничий процес складається з декількох стадій і на кожній із них є певний вихід, то вихід готового продукту за цілим виробничим процесом визначається:  $\gamma_{\text{загальне}} = \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 \dots \gamma_n$

де  $\gamma_{\text{загальне}}$  - загальний вихід продукту за цілим виробничим процесом,  $\gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 \dots \gamma_n$  - виходи по стадіям.

З урахуванням виходу кількості отримуваних продуктів  $c$  і  $d$ :

$$G_c = G_a = \frac{vM_c}{nM_a} = \gamma_1$$

$$G_d = G_a = \frac{vM_d}{nM_a} = \gamma_2$$

Якщо речовини *b* взято з надлишком, то частина її залишається не прореагованою. Цю частину визначають з рівняння:

$$G_{bk} = G_b - G_a = \frac{mM_b}{nM_a};$$

де  $G_b$  – 100 -% продукт *b*, що завантажений на даній стадії.

Витрати речовини *a* підраховуються виходячи з даного рівняння:

$$G_d = \frac{G_n M_a}{\gamma_{\text{загальне}} v M_c};$$

де  $G_n$ ,- добовий видобуток продукту *c*, кг:

$$G = \frac{1000 P X_c}{330 \cdot 100};$$

де  $P$  - річна потужність виробництва, т/рік;  $X_c$  - концентрація технічного готового продукту, %; 330 - кількість робочих днів на рік.

В перерахунку на технічний продукт витрати речовини *a* складають:

$$G_{a \text{ техн}} = \frac{G_a 100}{X_a};$$

де  $X_a$  - концентрація речовини *a*, %.

Аналогічно підраховують витрати речовини *b*.

Матеріальний баланс представлений у таблиці:

<b>Завантажено</b>				
Назва речовин	Маса технічного продукту, кг	Концентрація речовини, %	100% речовини, кг	Об'єм, м <sup>3</sup>
Речовина <i>a</i>	$G_{a \text{ техн}}$	$X_a$	$G_a$	$V_a$
Речовина <i>b</i>	$G_{b \text{ техн}}$	$X_b$	$G_b$	$V_b$
<b>Всього</b>	$G_{\text{загальне}}$	100		$V_a + V_b$

Отримано			
Назва продукту	100% речовини, кг	Концентрація речовини, %	Об'єм, м <sup>3</sup>
Продукт с	$G_c = G_a = \frac{vM_c}{nM_a}$ $= \gamma_1$	$X_c$	$V_c$
Продукт d	$G_d = G_a = \frac{vM_d}{nM_a}$ $= \gamma_2$	$X_d$	$V_d$
Домішки продукту а	$G_{a \text{ техніч}}$ $= \frac{100 - X_a}{100};$	$X_1$	$V_1$
Домішки продукту b	$G_{b \text{ техніч}}$ $= \frac{100 - X_b}{100};$	$X_2$	$V_2$
Непрореагувавший продукт b	$G_b - G_a = \frac{mM_b}{nM_a};$	$X_3$	$V_3$
Домішки та втрати по різності	$G_n$	$X_4$	$V_4$
<b>Всього</b>	$G_{\text{загальне}}$	100	$V_c + V_d + V_1 + V_2 +$ $V_3 + V_4$

### Методика виконання роботи.

Дослідити методику розрахунку матеріального балансу реакційних апаратів. Знайти в літературі найпоширеніші біотехнологічні реакції та розрахувати і скласти таблицю для однієї з них за пунктами вище наведеного матеріального балансу.

### Зміст звіту.

1. Назва та мета роботи.
2. Теоретичні відомості про матеріальний баланс та методику його розрахунку.
3. Скласти таблицю матеріального балансу однієї (на вибір студента) з найпоширеніших біотехнологічних реакцій (наприклад, утворення біоетанолу).

### **Контрольні запитання.**

1. Що таке вихід готового продукту і як його підрахувати?
2. Які характеристики задаються для розрахунку та вибору ємнісного апарату?
3. Що таке матеріальний баланс і як його розрахувати?

## Лабораторна робота №4

**Тема: «Методика технологічного розрахунку реакційних апаратів».**

**Мета роботи:** ознайомитись з методикою технологічного розрахунку реакційних апаратів.

### Загальні відомості.

Завданням технологічного розрахунку реакційних апаратів є визначення кількості, ємності та продуктивності всіх апаратів, що складають технологічну схему даного виробництва. Методика технологічного розрахунку апарату залежить від того, як він працює; періодично або безперервно. При періодичному процесі кінцевий продукт вивантажується з апарату через певні проміжки часу в кількості, яка дорівнює вмісту апарату. При безперервному процесі завантаження та вивантаження матеріалу здійснюється безперервно. Для розрахунку кількості та ємності періодичних апаратів повинні бути задані: об'єм матеріалів, що перероблюються на даній стадії протягом доби, та тривалість процесів.

Якщо в технологічній карті тривалість процесу розподілена на складові елементи, наприклад завантаження 30 хв, нагрів 2 год, експозиція 4 год, охолодження 2 год, вивантаження 30 хв, то тривалість даної стадії виробництва дорівнює сумі тривалості окремих операцій, тобто  $\tau=9$  год.

Означимо:  $V_c$  - добовий об'єм матеріалів, що перероблюються на даній стадії технологічного процесу;  $V_a$  - об'єм обираемого апарату;  $\tau$  - тривалість процесу;  $V_p$  - робочий об'єм апарату;  $\varphi = V_p/V_a$  - ступінь заповнення апарату;  $\alpha$  - кількість операцій, які проводяться на даній стадії протягом доби;  $\beta$  - кількість операцій, які можна здійснити в одному апараті протягом доби;  $m_n$  - кількість необхідних апаратів;  $m_b$  - кількість встановлюваних апаратів;  $\sigma$  - резерв потужності виробництва на даній стадії, %.

Визначаємо робочу ємність апарату:  $V_p=V_a \cdot \varphi$ .

Кількість операцій, що проводяться на даній стадії протягом доби, знайдемо, поділивши добовий об'єм перероблюваних матеріалів на робочу ємність апарату:  $\alpha=V_c/V_p=V_c/V_a \cdot \varphi$ .

Кількість операцій, яку можна здійснити протягом доби:  $\beta = 24/\tau$ .

Знаючи загальну кількість операцій, які необхідно провести за добу на даній стадії виробництва  $\alpha$ , та кількість операцій, які можуть бути проведені в даному апараті протягом доби  $\beta$ , підраховуємо кількість апаратів:

$$m_n=\alpha/\beta=\alpha \cdot \tau/24=V_c \cdot \tau/V_a \cdot \varphi \cdot 24$$

З урахуванням резерву потужності, величина якого приймається за



практичними даними до 15%, кількості встановлених апаратів:

$$m_y = m_n \cdot (1 + \sigma/100) \text{ або}$$

$$m_y = \frac{V_c \tau \cdot (1 + \sigma/100)}{V_a \cdot \varphi \cdot 24};$$

Ємність апарату при заданій кількості апаратів:

$$M_a = \frac{V_c \tau \cdot (1 + \sigma/100)}{m_y \cdot \varphi \cdot 24};$$

У більшості випадків задаються, обравши за каталогом, ємність апарату  $V_a$  та визначають необхідну кількість встановлюваних апаратів.

Числові значення ступеню заповнення апаратів приведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Характер процесу, який протікає в апараті	Ступінь заповнення
Процес без ціноутворення	0,75- 0,8
Процес з піноутворенням	0,4-0,6
Вимірювання рідин (мірники)	0,8 - 0,85
Зберігання рідин	0,8 - 0,9

Оптимальна кількість однотипних апаратів для однієї і тієї ж стадії повинно бути рівне 2, но не більше 5 - 6. В тих випадках, коли за розрахунками виходить більша кількість апаратів, даний метод визнається не діючим і тому необхідно шукати більш сучасні методи виробництва, наприклад безперервні.

При розрахунку апаратів безперервної дії повинні бути визначені добова потужність виробництва  $V_{\text{доб}}$ , час перебування перероблюваних матеріалів у реакційному об'ємі  $\tau$ , швидкість переміщення матеріалів  $\omega$  (м/сек) або режим переміщення матеріалу в реакційній зоні, поверхня теплообміну  $F_T$  ( $\text{м}^2$ ) або поверхня контакту фаз  $F_K$  ( $\text{м}^2$ ) тощо.

Якщо задані добова потужність  $V_{\text{доб}}$  та час  $\tau$ , то робочу ємність апарату визначають за рівнянням секундного об'єму матеріалів ( $\text{м}^3/\text{сек}$ ), що протікають крізь апарат:  $V_{\text{сек}} = V_{\text{доб}}/24 \cdot 3600 = V_{\text{доб}}/86400$

$$\text{Робоча ємність апарату (м}^3\text{): } V_p = V_{\text{сек}} \cdot \tau$$

Габаритні розміри апарату для обраховуваної ємності беруть, керуючись конструктивними можливостями. Якщо знайдені розміри виявляться дуже громіздкими, то встановлюють  $t_y$  апаратів. При цьому ємність одного апарату:

$$V = V_p/m_y$$

Якщо задані:  $V_{сек}$  - секундний об'єм перероблюваних матеріалів ( $m^3/сек$ ),  $\tau$  - час перебування матеріалів у реакційній зоні (сек),  $\omega$  - швидкість переміщення матеріалів ( $m/сек$ ) то за секундним об'ємом перероблюваних матеріалів визначають площу поперечного зрізу апарату ( $m^2$ ):

$$f = V_{сек} / \omega = V_{сек} / 86400 - \omega$$

Потім визначається висота реакційного об'єму:  $H = \omega \cdot \tau$

Якщо задані  $V_{сек}$ ,  $\tau$  та режим протікання матеріалів у реакційній зоні апарату, то, написавши рівняння для підрахунку критерію Рейнольдса, отримуємо:

$$Re = \frac{\omega \cdot 4 \cdot r_2 \cdot \gamma}{\mu \cdot g}$$

де  $\omega$  - швидкість протікання речовин ( $\omega = V_{сек}/t$ ),  $r_r$  - гідравлічний радіус зрізу,  $\gamma$  - питома вага реакційної маси,  $\mu$  - в'язкість (динамічна) реакційної маси.

### **Методика виконання роботи.**

Ознайомитись з методикою визначення технологічного розрахунку для періодичних та безперервних реакційних апаратів. Розбитись на дві підгрупи та розрахувати для знайденого в літературі біотехнологічного процесу (на вибір групи):

- 1) кількість і робочу ємність встановлених періодичних апаратів, а також кількість операцій, яку можна здійснити в них протягом однієї доби;
- 2) робочу ємність та площу поперечного зрізу апарату безперервної дії, а також висоту реакційного об'єму.

### **Зміст звіту.**

1. Назва та мета роботи.
2. Теоретичні відомості про методику визначення технологічного розрахунку для періодичних апаратів.
3. Теоретичні відомості про методику визначення технологічного розрахунку для безперервних апаратів.
4. Розрахунки для будь-якого знайденого в літературі біотехнологічного процесу: кількості і робочої ємності встановлених періодичних апаратів, а також кількості операцій, яку можна здійснити в них протягом однієї доби; робочої ємності та площі поперечного зрізу апарату безперервної дії, а також висоти реакційного об'єму

### **Контрольні запитання.**

1. Що таке робоча ємність апарату?
2. Як обраховують робочу ємність періодичних та безперервних реакційних апаратів?
3. Як обчислити площу поперечного зрізу безперервного реакційного апарату?

## Лабораторна робота №5

### Тема: «Класифікація та шляхи інтенсифікації випарних апаратів».

**Мета роботи:** ознайомитись з класифікацією та шляхами інтенсифікації випарних апаратів.

#### Загальні відомості.

Випарні апарати є найважливішим обладнанням заводів хімічної, харчової, вітамінної та біотехнологічної промисловості. Основним завданням випарних апаратів є концентрування розчинів, виділення з розчинів розчиненої речовини в чистому вигляді, а також забезпечення технологічних потреб виробництва гарячими конденсаційними водами тощо.

Випарні апарати бувають періодичної та безперервної дії.

Випарні апарати можна класифікувати за наступними ознаками:

- 1) за теплоносієм або методом обігріву;
- 2) за розташуванням та видом поверхні теплообміну (компануванням і конструкцією поверхні обігріву);
- 3) за розташуванням робочих середовищ;
- 4) за режимом та кратністю циркуляції розчинів.

В залежності від методу обігріву випарні апарати бувають:

- а) з газовим обігрівом; б) з обігрівом рідким теплоносієм (даутерм, кремній-органічні рідини тощо); в) з паровим обігрівом; г) з безпосередньо обігрівом теплоносієм (за рахунок барботажу або зануреного горіння); д) з електрообігрівом.

Найбільше поширення набули апарати з паровим обігрівом, тому що водяна пара характеризується високою прихованою теплотою конденсації, високим коефіцієнтом тепловіддачі; паровий обігрів характеризується гнучкістю регулювання.

Випарні апарати з паровим обігрівом складаються з двох основних частин: 1) кип'ятильника (грійоча камера), в якому знаходиться поверхня теплообміну та відбувається випаровування розчину; 2) сеператору - парового простору, в якому відбувається відділення вторинної пари від розчину.

За розташуванням поверхні теплообміну випарні апарати можуть бути вертикальними, горизонтальними та нахиленими. Поверхня теплообміну може бути конструктивно оформлена у вигляді пучка труб, у вигляді зміювика або у вигляді парової рубашки. За розташуванням робочих середовищ випарні апарати поділяються на апарати з подачею грійочної пари в труби (тобто кипіння розчину в великому об'ємі корпусу) та

подачею гріючої пари у міжтрубний простір (кипіння розчину в трубках).

За режимом руху кип'ячої рідини випарні апарати поділяють на випарні апарати з вільною циркуляцією, з природною циркуляцією, з штучною циркуляцією та плівкові випарні апарати.

За кратністю циркуляції випарні апарати бувають з однократною та багатократною циркуляцією кип'ячого розчину.

Для утворення випарного апарату оптимальних технологічних, конструктивно-експлуатаційних та техніко-економічних показників необхідно намагатись збільшити коефіцієнт тепловіддачі. Максимальний коефіцієнт тепловіддачі досягається тоді, коли термічні опори з обох сторін стінки будуть мінімальні. Відповідно, необхідно утворити такі умови роботи випарного апарату, щоб на поверхні теплообміну не відкладався осад, щоб не накопичувались в трубному та міжтрубному просторі неконденсуючі гази.

Для підвищення інтенсивності випарного апарату необхідно утворити максимально можливу швидкість циркуляції розчину. При великій швидкості циркуляції збільшується коефіцієнт тепловіддачі та утворюються сприятливі умови для попередження відкладення осадів на поверхні тепловіддачі. Оптимальний режим роботи випарного апарату здійснюється при мінімальних теплових втратах з видаленим конденсатом та при отриманні необхідної кількості вторинних парів заданих параметрів. Максимально можливий коефіцієнт тепловіддачі досягається у випарному апараті при оптимальному рівні кип'ячої рідини. За дослідними даними українських вчених оптимальний рівень знаходиться у межах 30 - 70% в залежності від щільності, концентрації розчину та напруги поверхні обігріву. Рівень розчину в трубках збільшується зі збільшенням щільності та концентрації. На практиці за оптимальний рівень приймається той, при якому верхня частина поверхні теплообміну вкрита кип'ячою рідиною. Надмірне зниження або підвищення рівня рідини порівняно з оптимальним викликає зниження коефіцієнту тепловіддачі та інтенсивності роботи апарату.

### **Методика виконання роботи.**

Вивчити класифікацію випарних апаратів. Знайти в літературі відомості про різні типи випарних апаратів, їх використання у біотехнологічних виробництвах та заповнити таблицю.

### Зміст звіту.

1. Назва та мета роботи.
2. Теоретичні відомості про класифікацію випарних апаратів.
3. Теоретичні відомості про шляхи інтенсифікації випарних апаратів.
4. Заповнити таблицю:

Ознаки, за якими класифікують випарні апарати	Типи випарних апаратів	Галузі застосування в біотехнологічній промисловості
Метод обігріву	1.	
	2.	
	3.	
	4.	
	5.	
Розташування поверхні теплообміну	1.	
	2.	
	3.	
Конфігурація поверхні обігріву	1.	
	2.	
	3.	
	4.	
	5.	
Кратність циркуляції	1.	
	2.	
Режим циркуляції рідини	1.	
	2.	
	3.	
	4.	

### Контрольні запитання.

1. За якими основними ознаками класифікують випарні апарати?
2. Які шляхи інтенсифікації випарних апаратів Вам відомі?
3. Наведіть приклади використання різних типів випарних апаратів у біотехнологічній промисловості.

## Лабораторна робота №6

**Тема:** «Методика розрахунків при проектуванні центрифуг».

**Мета роботи:** ознайомитись з методикою розрахунків при проектуванні центрифуг.

### Загальні відомості.

Розділення неоднорідних рідких систем методом центрифугування є одним з найпоширеніших промислових способів який здійснюється в спеціальних машинах - центрифугах, де відбувається відстоювання або фільтрація в полі центробіжних сил.

Центрифугування — більш ефективний спосіб розділення неоднорідної рідкої системи, чим відстоювання та фільтрація, так як при центрифугуванні величина центробіжної сили значно більше сили тяжіння (при відстоюванні) або тиску (при фільтрації).

Фільтруючі центрифуги використовуються для розподілення грубодисперсних суспензій, для виділення кристалічних та аморфних продуктів, для промивки отриманих осадів, а також для відділення вологи від штучних матеріалів.

Відстойні центрифуги використовуються для розподілення суспензій, що погано фільтруються, для розподілення емульсій, для розподілення суспензій за крупністю часток твердої фази. Відстойні центрифуги, в свою чергу, розподіляються на: відстойні, освітлюючі, концентруючі та сепаруючі.

Центрифуги класифікуються за наступними ознаками:

- a. за фактором розподілення: нормальні центрифуги з фактором розподілення  $Fr < 3000$ ; швидкісні або надцентрифуги з  $Fr > 3000$ ;
- b. за шляхом вивантаження осаду: з ручним або гравітаційним вивантаженням, з ножевим або скребковим вивантаженням осаду, з вивантаженням осаду шнеком, пульсуючим поршнем тощо;
- c. за конструкцією опор та розташуванням вісі барабану: підвісні, вертикальні (на колонках), вертикальні на опорах (стоячі), горизонтальні та наклонні;
- б. за організацією процесу: періодичні та безперервнодіючі.

Головним фактором для вибору типу центрифуги є:

- 1) для суспензій - ступінь дисперсності твердої фази, в'язкість рідкої фази, різниця щільностей твердої і рідкої фаз, а також концентрація твердої фази в суспензії.

- 2) для емульсій - стійкість емульсії, яка обумовлюється дробністю крапель однієї рідини в іншій, в'язкістю дисперсного середовища та співвідношенням щільності фаз.

Порівнюючи типи та конструкції центрифуг, можна зробити наступні висновки: центрифуги безперервної дії мають найбільшу виробничу здатність, ніж періодично діючі; вони значно простіші та зручніші в обслуговуванні, тому найбільш поширені в промисловості.

В періодичних фільтруючих центрифугах досягається наступна кінцева вологість осаду: 1-5% для крупно- і середньозернистих матеріалів та до 40% для дрібнозернистих осадів. Відстойні періодичні центрифуги використовуються для розподілення суспензій, що важко фільтруються. Отримувані осади в цих центрифугах мають вологість до 70%. Автоматичні центрифуги відрізняються великою продуктивністю, незважаючи на періодичність дії. Вони займають середнє положення між центрифугами періодичної та безперервної дії.

Вибір центрифуг проводиться в залежності від дисперсності твердої фази та від вмісту твердої фази в суспензії (табл. 1).

Методика розрахунків при проектуванні центрифуг складається з технологічного, енергетичного та механічного розрахунків.

*Технологічний розрахунок* складається з визначення фактору розділення центрифуги (або при заданому факторі  $R_g$  визначається оптимальна кількість обертів барабану), часу циклу фугування, продуктивності центрифуги, матеріального балансу, визначення питомої ваги суспензії, осаду, фільтрату, визначення відношення об'ємної долі рідкої фази в суспензії та в осаді, відношення робочого об'єму до повного об'єму реактора.

*Енергетичний розрахунок* складається з визначення витрат потужності на передачу кінетичної енергії оброблюваній суспензії, потужності, що витрачається на протидію тертю барабану о повітря, а також потужності, що витрачається на зріз осаду. Підраховується потужність, що необхідна для нормальної роботи центрифуги під час завантаження, під час зрізу осаду, під час холостого ходу. За повного потужністю, що використовується центрифугою, підбирається двигун для приводу центрифуги, та виконується механічний розрахунок.

*Механічний розрахунок* складається з розрахунку приводу центрифуги і міцнісного розрахунку валу та барабану центрифуги, вибору і перевірки підшипників.



*Завдання* має містити продуктивність центрифуги (по кількості завантажуваної рідини, фугату або осаду), вміст твердої фази в суспензії або вміст однієї рідини в іншій (для емульсій), фізичні параметри суспензії або емульсії, фугату та осаду. Задається також мінімальний розмір твердих часток, осаду, кінцева вологість осаду та вміст твердої фази у фугаті.

Таблиця 1.

Розмір часток								
Згальна класифікація	1 см	1 мм	100 мкм	10 мкм	1 мкм	100 нм	10 нм	1 нм
	Макроскопічні системи			Мікроскопічні системи			Колоїдні розчини	
Умовна класифікація	Крупно подріблені системи		Середньо подріблені системи	Мілко подріблені системи		Тонкі системи		Колоїдні системи
Застосування технологічного процесу центрифугування	Центробіжна фільтрація				Відстійне центрифугування	Центрифугальне освітлення, в тому числі тонкошарове		
Шляхи вивантаження осаду	Ручний							
	Центробіжними силами							
	Ножами та шнеками							
	Гравітаційний							
	Пульсуючим поршнем							
	Гідравлічний							

**Технологічний розрахунок.** Визначаємо об'ємну вагу поділяємої суспензії:

$$\gamma_c = \frac{100 \cdot \gamma_1 \gamma_2}{100 \cdot \gamma_1 - (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot C_c}; \gamma_c = \frac{C_c \cdot \gamma_1}{100} \cdot \frac{(1 - C_c) \cdot \gamma_2}{100}$$

де  $\gamma_1$  - питома вага твердої фази;  $\gamma_2$  - питома вага рідини;  $C_c$  - концентрація твердої фази в суспензії.

Визначаємо об'ємну вагу осаду:

$$\gamma_c = \frac{100 \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2}{100 \cdot \gamma_2 + (\gamma_1 - \gamma_2) C_{oc}}; \text{ де } C_{oc} - \text{кінцева вологість осаду.}$$

Визначаємо об'ємну долю рідкої фази в суспензії:

$$\alpha = \frac{\gamma_1 - \gamma_c}{\gamma_1 - \gamma_2}$$

Визначаємо об'ємну долю рідкої фази у вологому осаді:

$$\beta = \frac{\gamma_1 - \gamma_{oc}}{\gamma_1 - \gamma_2};$$

Визначаємо повний об'єм барабану центрифуги:  $V = \pi \cdot R^2 \cdot L$ , де  $L$  - довжина (висота) барабану центрифуги,  $R$  - радіус барабану центрифуги.

Визначаємо об'єм матеріалу в барабані при 50%-відсотковому завантаженні барабану. Внутрішній радіус шару матеріалу:  $r_1 = 0,71 \cdot R$ .

Об'єм матеріалу в барабані:  $V_m = \pi(R^2 - r_1^2) \cdot L$ .

Визначаємо фактор розділення центрифуги (критерій Фруда  $Fr$ ). При підрахунку фактору розділення визначається середній радіус обертання:

Тоді фактор розділення:  $Fr = 0,85 \cdot R \cdot n^2 / 900$ , або  $Fr = \omega^2 \cdot D / 2 \cdot g$ , де  $n$  - кількість обертів барабану,  $D$  - діаметр барабану,  $\omega = \pi \cdot n / 30$  - кутова швидкість,  $g$  - прискорення вільного падіння.

Якщо згідно каталогу-довіднику заданий фактор розділення центрифуги, то визначається кількість обертів барабану центрифуги:  $n$  дорівнює корінь квадратний з  $1800 \cdot Fr / D_{\max}$ , де  $D_{\max}$  - максимальний діаметр барабану центрифуги (задається згідно каталогу).

### **Методика виконання роботи.**

Ознайомитись з класифікацією центрифуг та технологічним розрахунком при проектуванні центрифуг. Обрати за каталогом будь-яку центрифугу та розрахувати для неї наступні технологічні показники: повний об'єм барабану, об'єм матеріалу в барабані, середній радіус обертання, число обертів барабану центрифуги.

### **Зміст звіту.**

1. Назва та мета роботи.
2. Теоретичні відомості про класифікацію центрифуг та про вибір центрифуг залежно від дисперсності твердої фази і від вмісту твердої фази в суспензії.
3. Розрахувати для обраної за каталогом центрифуги: повний об'єм барабану ( $V$ ), об'єм матеріалу в барабані ( $V_m$ ), середній радіус обертання ( $r_{cp}$ ), число обертів барабану центрифуги ( $n$ ).

### **Контрольні запитання.**

1. За якими ознаками класифікують центрифуги?
2. З якою метою використовуються фільтруючі центрифуги?
3. З якою метою використовуються відстойні центрифуги?
4. З чого складається технологічний розрахунок при проектуванні центрифуг?

## Лабораторна робота №7

### Тема: «Установка для отримання біогазу».

**Мета роботи:** ознайомитись із обладнанням для отримання біогазу; вивчити принцип роботи та будову біогазового реактора.

#### Загальні відомості.

З моменту виникнення цивілізованого суспільства перед ним весь час стояла проблема охорони навколишнього середовища. Через промислову, сільськогосподарську і побутову діяльність людини постійно відбувалися зміни фізичних, хімічних і біологічних властивостей навколишнього середовища, причому багато з цих змін були дуже несприятливі. Продукти життєдіяльності тварин і людини, як правило, завжди використовувалися для підвищення родючості ґрунту. Це не становить проблему, якщо їх утворюється небагато. В випадку створення великих тваринницьких комплексів площа навколишніх земель може виявитись недостатньою для утилізації продуктів життєдіяльності тварин. В результаті можуть бути забрудненими підземні води, навколишні водойми і колодязі. Продукти життєдіяльності деяких тварин не завжди можна вносити в ґрунт безпосередньо, адже вони є переносниками збудників хвороб і паразитів, якими може хворіти також і людина. До таких тварин відносяться свині. Тому відходи цих тварин треба попередньо знезаражувати. Це ж стосується і стічних вод великих міст, які складаються головним чином із продуктів життєдіяльності людини, жирів і цукрів, які потрапляють туди з підприємств громадського харчування і домашніх кухонь. Стічні води промислових підприємств також необхідно очищувати перед їх повторним використанням або спуском в ріки та водоймища. Багато із них містять целюлозу, жири і вуглеводи (наприклад, стічні води дріжжєвих, спиртових, м'ясо- і молокопереробних заводів тощо).

Відходи можна переробляти в аеробних умовах, однак для цього необхідні великі площі під ставки-відстійники та поля фільтрації. Крім того, таким способом не знезаражуються деякі шкідливі організми.

Існує і інший спосіб переробки відходів - анаеробний. Якщо біологічній масі (відходи тваринництва і рослинництва, гній, а також відходи харчової промисловості) створити відповідні умови, а саме: безкисневу атмосферу; відповідну температуру; слаболужне середовище (7-7,5 рН); наявність відповідних мікроорганізмів (комплексу бактерій, що виробляють метан), то отримаємо цінне органічне добриво та біогаз.

Біогаз - суміш газів, які утворились в результаті анаеробного метанового збродження біомаси і складається з метану (60-80%),

вуглекислого газу (20-40%), невеликої кількості сірководню та домішок водню, аміаку, оксидів азоту тощо.

Переробка сировини в метан відбувається в ході складних взаємодій у змішаних популяціях мікроорганізмів. По особливостях обміну речовин їх можна розділити на три основні групи: гідролітичні ацетогенні; воднепродукуючі та метаноутворюючі. Послідовність перетворення біомаси в метан за допомогою комплексу метаноутворюючих бактерій представлений у таблиці 1

Таблиця 1.

Групи бактерій, що приймають участь в	Біомаса
Бактерії першої групи (гідролітичні ацетогенні)	Перетворюють близько 75% органічних речовин (білки, жири і вуглеводи, а саме целюлозу, геміцелюлозу, крохмаль) на вищі
Бактерії другої групи (воднепродукуючі)	Перетворюють вищі жирні кислоти на оцтову кислоту (50%) та водень
Бактерії третьої групи (метаноутворюючі)	Перетворюють оцтову кислоту в 70% метану, водень та вуглекислий газ

Вихід газової фази при зброджуванні жирів, білків та вуглеводів представлений в таблиці 2, при зброджуванні різних відходів - в таблиці 3

Таблиця 2.

Вихідні субстанції	Газовий вихід, см <sup>3</sup> /кг	Доля метану, %	Доля вуглекислого газу, %
Вуглеводи	до 800	50	50
Жири	до 1000	68	32
Білки	до 700	71	29

По оптимальній температурі життєдіяльності комплекс метаноутворюючих бактерій можна віднести до однієї з трьох груп: термофільним організмам, що живуть при 50-60 °С; мезофільним (30-40 °С) і психрофільним, що люблять кімнатну температуру (близько 20 °С).

Збільшення температури субстрату призводить до активізації метаноутворюючих бактерій і збільшення виходу біогазу.

Таблиця 3.

Субстрат	м <sup>3</sup> /т
Гній ВРХ	20
Гній свиней	20
Трава	70
Біовідходи	120
Жир з жироловлівачів	630
Старий жир	1 000

### **Використання продуктів метанового бродіння.**

Органічне добриво, отримане в результаті метанового бродіння, має одну суттєву перевагу: воно не містить хвороботворних мікроорганізмів, якщо вони навіть були присутні в оброблюваному матеріалі. Хвороботворні мікроорганізми гинуть у процесі метанового бродіння. Це стосується навіть таких стійких організмів, як яйця гельмінтів. Добриво, одержуване в результаті метанового бродіння відходів, містить азот, фосфор, калій і інші елементи, необхідні для родючості ґрунту. У цьому добриві міститься усе, що необхідно рослинам, тому що при метановому бродінні з органічних залишків видаляється лише вуглець у вигляді CO<sub>2</sub> і CH<sub>4</sub>. Інші елементи, що є в рослинному і тваринному організмах і узяті ними з ґрунту, знову повертаються в ґрунт.

Продукти метанового бродіння використовуються як харчові добавки для корму тварин у вигляді вітаміну B<sub>12</sub>, який необхідний тваринам для нормального росту і не міститься в рослинах. В природі він утворюється мікроорганізмами в спеціальному відділі шлунку жвачних тварин, який називається рубцем. Раніше його добували із печінки жвачних тварин.

Оксид вуглецю, що утвориться при метановому бродінні, надходить в атмосферу і знову використовується рослинами. Також його можна застосовувати (після очищення) для виробництва хладогенів (сухий лід), газованих напоїв.

Неочищений біогаз звичайно використовують для приготування їжі. Його можна застосовувати як паливо в стаціонарних установках, що виробляють електроенергію. Стиснутий газ у балонах придатний як пальне для машин та тракторів. Його можна подавати в газорозподільну мережу. В останніх випадках потрібне деяке доочищення біогазу: сушка, видалення вуглекислоти і сірководню. Очищений біогаз нічим не відрізняється від

метану з інших джерел, тобто природного і синтетичного газу, що одержується із вугілля.

### **Будова та принцип роботи біогазової установки.**

Біогазова установка складається із біореактора (інша назва — метантенк, ферментатор, камера зброджування), газгольдера, мішалки і нагрівана біомаси.

Біореактор складається із зовнішнього і внутрішнього корпусів, між якими міститься водяна рубашка - місткість, що наповнюється водою через трубку і служить для передачі тепла від нагрівана до біомаси, що міститься в активній зоні біореактора, і виступає в якості теплоізолятора активної зони біореактора від зовнішнього середовища. Температура води за допомогою електронагрівача та системи керування температурним процесом підтримується у межах 35-45 °С. Ця температура є оптимальною з точки зору протікання процесу метанової ферментації та енергетичних затрат біореактора. При заливанні води у водяну рубашку повітря стравлюється через трубу і вентиль. Для створення герметичності активної зони біореактора, зверху його накривають кришкою із ущільнювачем.

Через трубу в активну зону біореактора заливається біомаса в напіврідкому вигляді (наприклад, гноївка, або суміш харчових відходів, трави з водою тощо). Труба доходить майже до дна активної зони біореактора, тому свіжа біомаса подається в нижню частину активної зони реактора, тим самим витісняючи перероблену біомасу (шлам) через трубу. Для незмінності мікрофлори комплексу метаноутворюючих бактерій при заправці біореактора необхідно залишити у ньому не менше 1/3 старої біомаси, що дасть можливість швидкого розмноження мікроорганізмів. Герметичність біореактора забезпечують вентиля.

У реакторі при створенні оптимальних кислотності та температури, а також за умов відсутності кисню проходить метанове бродіння, під час якого утворюється цінне органічне добриво та виділяється біогаз. Для запобігання утворення кірки, а також забезпечення однорідності біомаси, застосовується мішалка, яка періодично перемішує біомасу в активній зоні реактора.

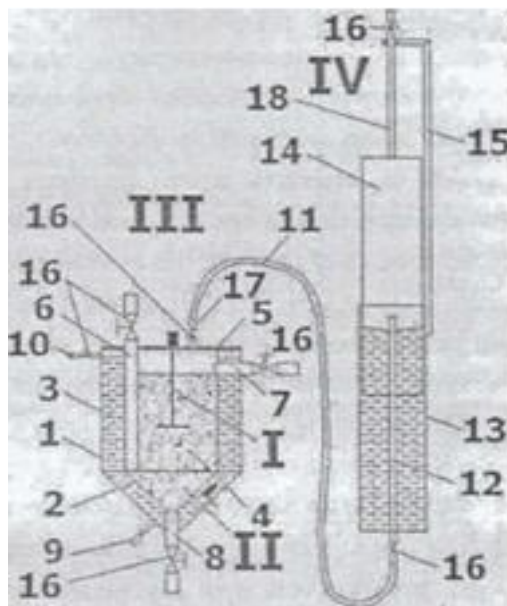


Рис. 1. Принципова схема біогазової установки: I - мішалка; II - нагрівач; III - біореактор; IV - газгольдер; 1 - зовнішній корпус біореактора; 2 - внутрішній корпус біореактора; 3 - водяна рубашка; 4 - активна зона біореактора; 5 - кришка; 6 - труба для подачі біомаси; 7 - труба для зливання шламу; 8 - труба для видалення шламу; 9 - труба для подачі води; 10 - труба для встановлення рівня води в водяній рубашці; 11 - газопровід; 12 - трубка для подачі біогазу; 13 - корпус газгольдера; 14 - циліндр-рівнемір; 15 - направляюча; 16 - кран; 17 - трубка для відведення біогазу із активної зони біореактора; 18 - трубка для відбору газу із газгольдера.

Біогаз із реактора через трубку по газопроводу і далі по трубці поступає в газгольдер, де і зберігається.

У нашій лабораторній установці застосовується «мокрый» газгольдер, який складається з двох голих циліндричних місткостей: корпусу і циліндра-рівнеміра, а також направляючої. Корпус газгольдера наповнений водою, в якій як поплавков плаває полий циліндр-рівнемір. Біогаз через трубку поступає у внутрішню порожнину циліндра-рівнеміра, який по мірі наповнення біогазом по направляючій піднімається над корпусом газгольдера, що дає змогу визначити наявність та об'єм газу у газгольдері. Із газгольдера біогаз відводиться по трубці через кран шляхом його видавлювання вагою циліндра-рівнеміра.



### **Методика виконання роботи.**

Вивчити технологічну схему виробництва біогазу на діючій лабораторній установці. Розібратись із схемою завантаження біомаси, відбору шламу і біогазу, підігрівання субстрату. Вивчити, як працює система підтримання температурного режиму в біореакторі.

### **Зміст звіту.**

1. Назва та мета роботи.
2. Теоретичні відомості про метанове бродіння.
3. Технологічна схема виробництва біогазу.
4. Описати технологічну схему виробництва біогазу.

### **Контрольні запитання.**

1. Обґрунтуйте необхідність застосування метанового бродіння для очищення стічних вод.
2. Які умови необхідно створити для проходження метанового бродіння?
3. Що таке біогаз?
4. Назвіть та охарактеризуйте етапи перетворення біомаси в біогаз.
5. Які типи бактерій беруть участь в перетворенні біомаси в біогаз?
6. Як комплекс метаноутворюючих бактерій класифікується за оптимальною температурою життєдіяльності?
7. Назвіть приблизний вихід газової фази при зброджуванні різних субстратів.
8. Розкажіть принцип роботи біогазової установки.

## Лабораторна робота №8

### Тема: «Установка для отримання дизельного біопалива».

**Мета роботи:** ознайомитись з роботою установки для виробництва біодизельного палива.

#### Загальні відомості.

Складний ефір вироблений із рослинного або тваринного жиру, який має властивості дизельного палива та призначений для використання як біологічне паливо називається дизельним біопаливом, або біодизелем. Відомі метанолова та етанолова технології отримання біодизелю. Оскільки етанолова технологія дуже складна технологічно, на сучасному етапі застосовується метанолова технологія. Метилловий ефір за своїми властивостями близький до дизельного біопалива і може застосовуватись в якості його замітника та в чистому вигляді. Однак найчастіше його використовують як 2-30% суміш з дизпаливом.

Схема технології виробництва біодизелю представлена на рис. 1.



Рис 1. Схема технології виробництва біодизелю.

Лінія по виробництву біодизелю працює наступним чином (див. рис. 2). Із спеціальних місткостей метанол і каталізатор подається в реактор Р1, де відбувається їх перемішування. Після цього більша частина суміші самопливом подається в реактор Р2, куди також заливається рослинна олія. Включається мішалка і відбувається перемішування суміші протягом приблизно 15 хвилин. Під час перемішування проходить реакція етерифікації. Для її нормального проходження температура суміші повинна становити близько 35-40 °С. Це забезпечується наявністю в реакторах водяних рубашок, які підігріваються за допомогою теплоносія. Теплоносій (вода) підігрівається в електричному котлі і подається в змійовики, які розміщені в водяних рубашках. Тепло через змійовики передається до водяних рубашок, а від них - до рослинної олії.

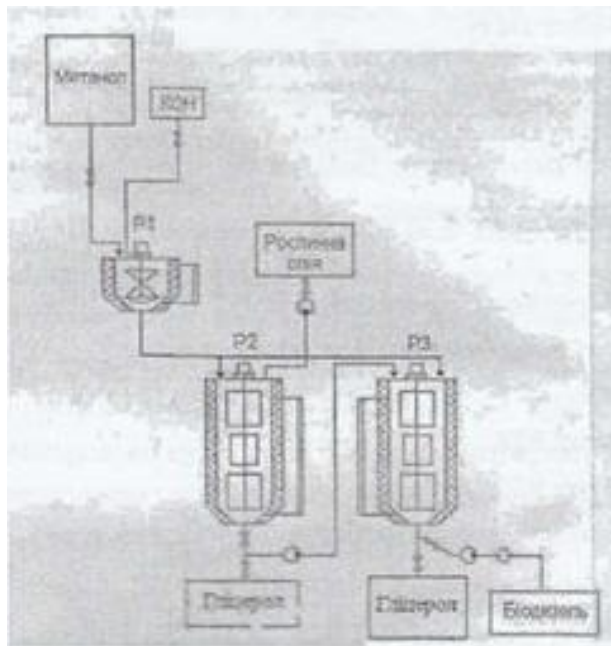


Рис. 2. Технологічна схема виробництва біодизелю.

Після закінчення реакції естерифікації мішалку зупиняють і відбувається гравітаційне розшарування фракцій метилового ефіру і гліцеролу протягом 2 годин. Гліцерол зливається, а метиловий ефір перекачується в реактор P2, де до нього додається із реактора P1 залишок суміші метанолу із каталізатором. Включається мішалка і відбувається перемішування суміші протягом приблизно 15 хвилин. В цей час відбувається реакція естерифікації тієї частини олії, яка не прореагувала в реакторі P2. Після закінчення реакції естерифікації мішалку зупиняють і відбувається гравітаційне розшарування фракцій метилового ефіру і гліцеролу протягом 2 годин. Гліцерол із реактора P3 зливається самопливом, а дизельне біопаливо - за допомогою насоса.

Під час відстоювання метилового ефіру в реакторі P3, в реакторі P1 знову готується суміш метанолу і каталізатора, яка знову заливається в реактор P2, куди також подається рослинна олія. Цикл повторюється.

### **Методика виконання роботи.**

Вивчити технологічну схему виробництва біодизелю на діючій лабораторній установці. Розібратись із схемою приготування суміші метанолу і каталізатора, подачі рослинної олії та суміші метанолу і каталізатора в реактор для приготування метилового ефіру, зливання гліцерину біодизелю. Вивчити, як працює система підтримання температурного режиму в реакторах.

### **Зміст звіту.**

1. Назва та мета роботи.
2. Технологічна схема виробництва біодизелю.
3. Описати технологічну схему виробництва біодизелю.

### **Контрольні запитання.**

1. Що таке метиловий ефір?
2. В результаті якої реакції отримується метиловий ефір?
3. Опишіть технологічну схему виробництва біодизелю.
4. Яку функцію виконує реактор Р1?
5. Яку функцію виконує реактор Р2?
6. Яку функцію виконує реактор Р3?
7. Яка оптимальна температура для проходження реакції етерифікації?

## Лабораторна робота №9

### Тема: «Установка для отримання біоводню з водоростей».

**Мета роботи:** ознайомитись з методикою отримання біоводню з культур водоростей.

#### Загальні відомості.

За оцінками експертів, водень є перспективним, екологічно чистим паливом майбутнього. Так, водень належить до трьох альтернативних типів палива, що, за висновками Європейської комісії, потенційно можуть слугувати заміною традиційним видам палива в країнах ЄС. Це природний газ, біологічне паливо і водень.

Вибір водню як енергоносія визначається не тільки його екологічністю і виключно високою теплотою згорання, але і практично невичерпними запасами сировини (вода, нафта, природний газ, біомаса).

Промисловим способом зараз водень добувають таким чином: спочатку, за способом Фішера-Тропша (рис. 1), при продуванні водяної пари через шар розжареного вугілля чи біомаси, одержують водяний газ ( $H_2+CO$ ), який потім у присутності відповідних каталізаторів перетворюють на суміш вуглеводнів (синтин)  $CO + H_2O = CO_2 + H_2$ , звідки потім відділяють водень.

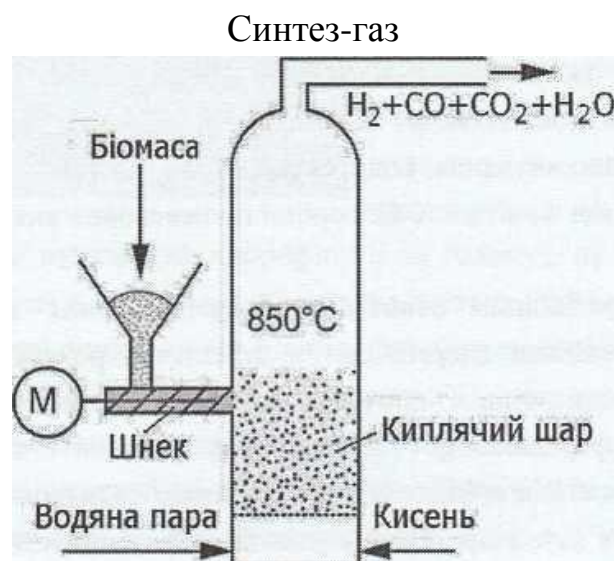


Рис. 1. Схема виробництва синтез-газу за способом Фішера-Тропша для подальшого отримання водню.

Але реалізація водневої енергетики пов'язана, в першу чергу, з пошуком економічних способів отримання водню, адже для отримання водню з тієї ж води необхідно затратити значну кількість енергії, що робить цей спосіб нерентабельним, а спосіб Фішера-Тропша вимагає дорогих каталізаторів. Багатообіцяючими методами отримання водню

стають альгобіотехнологічні. У зв'язку з цим з'явився навіть спеціальний термін - "біоводень", яким називають водень, одержаний біотехнологічним шляхом.

Здатність мікрободоростей продукувати молекулярний водень за рахунок фотосинтетичного перетворення енергії обумовлена наявністю нелімітованого джерела енергії - сонячного світла, надлишку субстрату фотолізу - води, високої теплотворної здатності водню (29 ккал/г порівняно з 3,5 ккал/г для вуглеводнів), можливістю відновлювання процесу, і, нарешті, тим, що фотохімічне перетворення води до водню відбувається за нормальної температури без утворення токсичних проміжних сполук.

Мікрободорості за сприятливих умов швидко ростуть, використовуючи енергію сонячної радіації. В умовах штучного вирощування обсяг урожаю може становити від 70 до 120 кг/м<sup>2</sup> сирової маси водоростей на рік залежно від вмісту поживних речовин у воді та інших умов. Раціональність їх вирощування ґрунтується на тому, що продуктивність водоростей на одиницю площі в 2-5 разів вища за традиційні агрокультури і види, які швидко ростуть. Для свого росту й розвитку водорості використовують CO<sub>2</sub>, який акумулюється і фіксується у формі біомаси та похідних продуктів. Вони здатні також поглинати CO<sub>2</sub> та NO<sub>2</sub> з промислових газів, більше того, ці газові відходи можна використовувати для вирощування водоростей. Тому культивування мікрободоростей пропонується ще й як спосіб біосорбції промислових викидів з високим вмістом CO<sub>2</sub>.

Поглинання світла є необхідним етапом процесу виділення водню клітинами мікрободоростей, оскільки енергія світла забезпечує розкладання молекул води, вивільнення електронів і протонів, а також ендергонічний транспорт цих електронів до ферредоксину - переносника фотосинтетичного електрон-транспортного ланцюга. Він є фізіологічним донором електронів для Fe-гідрогенази і таким чином зв'язує гідрогеназну реакцію з фотосинтетичним транспортом електронів у хлоропластах зелених водоростей.

Обов'язковою фізіологічною умовою активації гідрогенази в більшості організмів, які містять цей фермент, є різнотривала інкубація в безкисневому середовищі. Це пов'язано з тим, що виділення водню індукується в умовах анаеробного існування клітин у темряві, оскільки активність гідрогенази ефективно пригнічується в разі активації фотосинтетичного утворення кисню внаслідок конкурентних взаємовідношень процесів виділення кисню і водню.

Одже за умов аноксії розпочинається експресія гідрогенази - ферменту, який з

високою питомою активністю каталізує утворення  $H_2$  при освітленні.

Для виділення молекулярного водню використовуються різні азотфіксуючі ціанобактерії (*Anabena*, *Nostoc*, *Calothrix*, *Scytonema*, *Synechococcus*). Морфологічно вони поділені на три основні групи: гетероцистні нитчасті, негетероцистні нитчасті й одноклітинні. Встановлено, що механізм продукування водню в кожній групі дещо відмінний.

Досліджуючи водночас молекулярну філогенію морських ціанобактерій, фіксує яких  $N_2$ , та продуктивність  $H_2$  кожного штаму, було показано, що продукування  $H_2$  водоростями може визначатися генетично. Так вже досліджено фотоутворення молекулярного водню мутантною ціанобактерією *Anabaena variabilis* PK84, у якої була зруйнована система поглинання  $H_2$ .

Мутант вирощували на живильному середовищі, яке включало ванадій, в умовах, що забезпечували автотрофний ріст і азотфіксацію. Показано, що за періодичних умов вирощування мутанту в атмосфері аргону швидкість продукування  $H_2$  молодого культурою досягала 90-100 мкмоль/(мг хлорофілу а за годину), що відповідає 5,4-6,0 мкмоль/(мг сухої маси за годину). Крім того, мутант був здатний безперервно утворювати  $H_2$  в разі періодичного росту у фотобіореакторі спіральньо-трубчастого типу (4,5 л). Найбільша швидкість утворення  $H_2$  культурою *Anabaena variabilis* PK84 у фотобіореакторі при продуванні аргонем становила 130-140 мл/год або 0,03 мл/(мг суспензії за годину). Приваблює те, що мутант здатен безперервно продукувати  $H_2$  при продуванні повітрям, яке містить 2%  $CO_2$ , температурі 36 °C і світловому потоці 332 мкЕ/м<sup>2</sup>-с. Найбільша швидкість утворення  $H_2$  за таких умов становила 43 мл/год на фотобіореактор, або 0,01 мл/(мг суспензії за годину). Крім того для отримання водневого палива за допомогою ціанобактерій з'явилася можливість використання не інертних газів, що мають високу вартість, а значно доступніших - атмосферного повітря і двоокису вуглецю.

### **Методика виконання роботи.**

Вивчити технологічну схему виробництва водню Фішера-Тропша та дослідити умови і фізіолого-біохімічні механізми виділення  $H_2$  ціанобактеріями.

### **Зміст звіту.**

1. Назва та мета роботи.
2. Описати технологічну схему виробництва водню Фішера-Тропша.
3. Замалювати та описати один з механізмів продукування біоводню у ціанобактерій.

### **Контрольні запитання.**

1. Розкажіть про промисловий спосіб добування водню.
2. Що таке біоводень? В чому полягає його економічність?
3. Для яких потреб використовують біоводень?
4. Які культури ціанобактерій можуть використовуватись для отримання біоводню?
5. Назвіть швидкість утворення біоводню культурою. *Anabaena variabilis*
6. Назвіть обов'язкову фізіологічну умову активації ферменту гідрогенази.