

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування

Кафедра водопостачання, водовідведення та  
бурової справи

**03-06-131M**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт та самостійної роботи  
з освітньої компоненти  
**«Промислові біотехнології**  
**(Частина 1. Екологічні біотехнології)»**  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
за освітньо-професійною програмою «Біотехнології,  
біоробототехніка та біоенергетика» спеціальності  
162 «Біотехнології та біоінженерія»  
денної форми навчання

Рекомендовано науково-  
методичною радою з якості  
Навчально-наукового інституту  
будівництва та архітектури  
Протокол № 2 від 4.10.2022 р.

Рівне – 2022

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт та самостійної роботи з освітньої компоненти «Промислові біотехнології (Частина 1. Екологічні біотехнології)» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Біотехнології, біоробототехніка та біоенергетика» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» денної форми навчання [Електронне видання] / Ковальчук В. А., Романенко Т. В. – Рівне : НУВГП, 2022. – 33 с.

Укладачі: Ковальчук В. А., д.т.н., професор, професор кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи; Романенко Т.В., завідувач гідрохімічної лабораторії.

Відповідальний за випуск – Мартинов С. Ю., д.т.н., професор, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Керівник групи забезпечення спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» – Грицина О. О., к.т.н., доцент.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
<i>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1.</i> Визначення ефективності аеробної біологічної очистки стічних вод .....	3
<i>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2.</i> Визначення ефективності біологічної нітрифікації амонійного азоту .....	6
<i>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3.</i> Визначення ефективності біологічної денітрифікації .....	9
<i>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4.</i> Отримання біогазу з різних видів органічних відходів .....	11
<i>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5.</i> Отримання біогазу з органічних відходів при різних температурах зброджування .....	16
<i>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6.</i> Визначення межі зброджування органічної речовини органічних відходів .....	19
Додатки.....	21
Самостійна робота .....	32
Список літератури та електронні ресурси .....	33

© Ковальчук В. А.,  
Романенко Т. В., 2022  
© НУВГП, 2022

## ВСТУП

Лабораторні заняття допомагають студентам систематизувати, розширити теоретичні знання, глибше вивчити суть технологічних процесів, ознайомитися з параметрами процесів біотехнологічного перетворення і знешкодження стічних вод і осадів, навчитись визначати показники їх ефективності. Крім цього, на лабораторних заняттях студенти набувають навичок, які необхідні для проведення самостійних наукових досліджень.

У зв'язку із тим, що проведення лабораторних робіт здійснюється із використанням стічних вод та осадів, застосуванням відповідного обладнання, необхідно дотримуватися правил техніки безпеки і санітарної гігієни.

Перед початком кожної лабораторної роботи студенти повинні чітко засвоїти мету, теоретичні основи процесів, що відбуваються на установці і порядок проведення роботи.

### Лабораторна робота №1

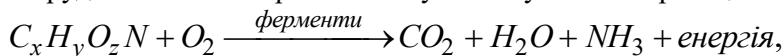
## ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЕРОБНОЇ БІОЛОГІЧНОЇ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД

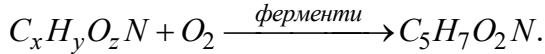
**Мета роботи** – визначити залежність ефективності біологічної очистки модельних стічних вод від тривалості процесу аерації.

#### Загальні положення.

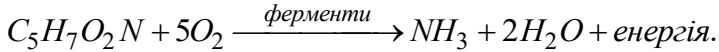
**Аеротенками** називають споруди, в яких в умовах безперервної штучної аерації здійснюється біологічна очистка стічних вод за допомогою вільноплаваючого **активного мулу** - біоценозу мікроорганізмів, головну роль в якому відіграють бактерії. До складу біоценозу активного мулу крім бактерій входять також найпростіші, водні гриби, личинки комах, водні кліщі, хробаки [1].

У процесі біологічної очистки стічних вод бактерії активного мулу використовують органічні речовини для отримання енергії (енергетичний обмін) і для синтезу бактеріальної маси власних клітин (конструктивний обмін). Якщо позначити суму органічних забруднень стічних вод через  $C_xH_yO_zN$ , то процес очистки води від цих забруднень можна виразити наступними умовними реакціями:





Якщо органічні речовини стічних вод уже використані та відчувається їх нестача, починається самоокислення кліткової речовини активного мулу  $C_5H_7O_2N$  чи так звана ендогенна респірація:



Визначальний вплив на швидкість окислення органічних забруднень стічних вод активним мулом має їх природа та дисперсний стан. Швидкість біохімічного окислення розчинних органічних речовин, як правило, вище швидкості окислення речовин, які знаходяться у колоїдній і грубодисперсній формах. Велике значення мають довжина і топографія вуглецевого ланцюжка (прямий, розгалужений, циклічний), а також ступінь окислення атомів вуглецю. Швидше окислюються речовини з малою молекулярною вагою, з прямим молекулярним ланцюжком.

Очевидно, що за інших рівних умов збільшення кількості мікроорганізмів, які беруть участь в процесі очистки, призводить до скорочення його тривалості. Збільшуючи концентрацію активного мулу, можна значно зменшити тривалість очистки, а значить - і об'єм використовуваних споруд.

Крім концентрації активного мулу на ефективність біологічної очистки суттєво впливають температура стічних вод, концентрації розчиненого кисню, навантаження на активний мул, величина рН. Однак, одним із найважливіших чинників, які визначають ефективність біологічної очистки, є тривалість аерації стічних вод. Із зростанням тривалості аерації ефективність біологічної очистки зростає.

#### **Прилади, устаткування та матеріали.**

- скляна або пластмасова ємність об'ємом 3 дм<sup>3</sup>;
- акваріумний дрібнобульбашковий аератор;
- сушильна шафа SNOL 24/200;
- лабораторна вага ВЛР-200;
- фільтри «біла стрічка»;
- лабораторні циліндри ємністю 1 дм<sup>3</sup>, 0,25 дм<sup>3</sup> за ДСТУ ISO 4787:2009;
- лабораторні стакани місткістю 1 дм<sup>3</sup>, 0,25 дм<sup>3</sup> за ДСТУ ISO 4787:2009;

- термометр,
- модельна стічна вода – 5 дм<sup>3</sup>,
- активний мул з міських каналізаційних очисних споруд – 3 дм<sup>3</sup>.

### Хід виконання роботи.

Активний мул з міських каналізаційних очисних споруд (3дм<sup>3</sup>) наливають в ємність і піддають аерації за допомогою аератора близько однієї доби. Перед початком досліду готується модельна стічна вода шляхом змішування 0,5 дм<sup>3</sup> молока і 1,5 дм<sup>3</sup> водопровідної води. Далі аерація активного мулу припиняється, після 2 годин відстоювання за допомогою сифону зливається 1,5 дм<sup>3</sup> мулової води, додається 1,5 дм<sup>3</sup> модельної стічної води і вмикається аерація.

Після декількох хвилин аерації суміші мулу і модельної стічної води відбирається 50 см<sup>3</sup> мулової суміші (початок досліду), яка відфільтровується. У фільтраті визначається хімічне споживання кисню ХСК<sub>0</sub>. Далі за такою ж самою методикою визначається ХСК фільтрату кожну годину - ХСК<sub>t</sub>.

Значення ХСК визначається за прискореною методикою (додаток 1).

На основі отриманих даних визначається ефективність біологічної очистки за формулою

$$E_t = \frac{XCK_0 - XCK_t}{XCK_0} 100, \%$$

Результати досліджень заносимо у таблицю 1.1

За отриманими даними будують графіки залежності  $E = f(t)$ .

Таблиця 1.1

Результати досліджень кінетики осідання завислих речовин

№№:проби	t, год	ХСК <sub>t</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	E <sub>t</sub> %
0	0		
1	1		
2	2		
3	3		
4	4		
5	5		
6	6		

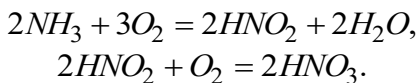
### Лабораторна робота №2

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОЛОГІЧНОЇ НІТРИФІКАЦІЇ АМОНІЙНОГО АЗОТУ

**Мета роботи** – визначити залежність ефективності біологічної нітрифікації амонійного азоту модельних стічних вод від тривалості процесу аерації.

**Загальні положення.**

**Нітрифікація** - це процес біохімічного окислення амонійного азоту спочатку до солей азотистої кислоти чи нітритів, а потім до солей азотної кислоти чи нітратів. Нітрифікація амонійного азоту здійснюється в два ступені автотрофними бактеріями, для яких джерелом вуглецю є  $CO_2$ . На першому ступені (нітритному) амонійний азот окислюється до нітритів бактеріями роду *Nitrosomonas* і *Nitrosococcus*, а на другому ступені (нітратному) нітрити окисляються в нітрати бактеріями роду *Nitrobacter* і *Nitrocystis* [1]:



З наведених рівнянь слідує, що для окислення 1 г  $N - NH_4^+$  теоретично потрібно 4,57 г  $O_2$ . Дійсна потреба в кисні менша й складає 4,33 г  $O_2$  на 1 г  $N - NH_4^+$ , оскільки частина азоту переходить у біомасу нітрифікуючих бактерій. Іншим результатом нітрифікації є утворення сильної азотної кислоти  $HNO_3$ , що зумовлює зниження рН, особливо у воді з низькою буферною ємністю. У таких випадках необхідно підлужнювати воду вапном.

Нітрифікуючі бактерії повільно ростуть. Швидкість їх росту на порядок нижча швидкості росту звичайних гетеротрофних бактерій активного мулу. Максимальна швидкість росту нітрифікуючих бактерій  $\mu_{max}$  становить 0,04-0,09 год<sup>-1</sup>, що відповідає часу генерації 8-17 год, а значення константи напівнасичення  $K_s$  є близькими до 1 мг/дм<sup>3</sup> (у перерахунку на  $N - NH_4^+$ ). Питомий приріст біомаси нітрифікуючих бактерій за сухою речовиною  $Y_o$  становить близько 0,03 г на 1 г  $N - NH_4^+$ , а вміст у ній азоту складає 12 %.

Питома швидкість нітрифікації  $\rho$  визначається як кількість амонійного азоту, що окислюється за 1 год 1 г бактеріальної культури. За звичайних умов значення  $\rho$  для активного мулу становить 5-10 мг ( $N - NH_4^+$ ) / (г.год). Однак для чистих культур встановлені швидкості у 100-200 разів вищі, що свідчить про відносно низький вміст нітрифікуючих бактерій в активному мулі.

Процеси нітрифікації припиняються за концентрацій у воді розчиненого кисню менше 1 мг/дм<sup>3</sup>. Тому при нітрифікації рекомендується підтримувати концентрації розчиненого кисню біля 2 мг/дм<sup>3</sup>. Оптимальні значення рН для бактерій роду *Nitrosomonas* складають 7,9-8,2, а для бактерій роду *Nitrobacter* - 7,2-7,6.

Температура має значний вплив на швидкість нітрифікації. Оптимальна температура для чистих культур нітрифікуючих бактерій знаходиться в межах від 28 до 32 °С. У стічних водах нітрифікація проходить у досить широкому інтервалі температур - від 5 до 30 °С, але із зниженням температури на кожні 10 °С швидкість процесу зменшується приблизно в два рази.

Вирішальний вплив на ступінь нітрифікації має вік мулу, який визначається навантаженням на активний мул. Ефективність нітрифікації понад 90 % можливо досягнути при достатньо високій температурі та вікові мулу більше 5 діб.

#### **Прилади, устаткування та матеріали.**

- скляна або пластмасова ємність об'ємом 3 дм<sup>3</sup>;
- акваріумний дрібнобульбашковий аератор;
- сушильна шафа SNOL 24/200;
- лабораторна вага ВЛР-200;
- фільтри «біла стрічка» за ТУ 6-09-1678 ;
- лабораторні циліндри ємністю 1 дм<sup>3</sup>, 0,25 дм<sup>3</sup> за ДСТУ ISO 4787:2009;
- лабораторні стакани місткістю 1 дм<sup>3</sup>, 0,25 дм<sup>3</sup> за ДСТУ ISO 4787:2009;
- термометр,
- модельна стічна вода – 5 дм<sup>3</sup>,
- активний мул з міських каналізаційних очисних споруд – 3 дм<sup>3</sup>.

#### **Хід виконання роботи.**

Перед початком досліду готується модельна стічна вода шляхом змішування 0,25 дм<sup>3</sup> молока і 1,75 дм<sup>3</sup> водопровідної води. Далі в модельну стічну воду добавляється така кількість розчину хлориду амонію, щоб розрахункова концентрація амонійного азоту становила 100 мг/дм<sup>3</sup> за  $N - NH_4^+$ . Активний мул з міських каналізаційних очисних споруд (3 дм<sup>3</sup>) наливають в ємність і піддають аерації за допомогою аератора близько однієї доби. Далі аерація активного мулу припиняється, після 2 годин відстоювання за допомогою сифону зливається 1,5 дм<sup>3</sup> мулової води, добавляється 1,5 дм<sup>3</sup> модельної стічної води і вмикається аерація.

Після декількох хвилин аерації мулу із модельної стічної води відбирається 50 см<sup>3</sup> мулової суміші (початок досліду), яка відфільтровується. У фільтраті визначається концентрація амонійного азоту  $C_0^{NH_4}$ . Далі за цією ж самою методикою визначається концентрація амонійного азоту в фільтраті кожну годину аерації -  $C_t^{NH_4}$ .

Значення концентрації амонійного азоту визначаємо за відомою методикою (додаток 2).

На основі отриманих даних визначається ефективність біологічної нітрифікації за формулою

$$E_t = \frac{C_0^{NH_4} - C_t^{NH_4}}{C_0^{NH_4}} \cdot 100, \%$$

Результати досліджень заносимо у таблицю 2.1

За отриманими даними будують графіки залежності  $E = f(t)$ .

Таблиця 2.1

Результати досліджень процесу нітрифікації

№№:проби	$t$ , год	$C_t^{NH_4}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$E_t$ , %
0	0		
1	1		
2	2		
3	3		
4	4		
5	5		

Лабораторна робота №3



## ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОЛОГІЧНОЇ ДЕНІТРИФІКАЦІЇ

**Мета роботи** – визначити залежність ефективності біологічної денітрифікації від співвідношення хімічного споживання кисню ХСК модельних стічних вод і концентрацією нітратів.

### **Загальні положення.**

**Денітрифікація** - це процес окислення органічних речовин киснем, що входить до складу нітритів і нітратів, з одночасним відновленням азоту, який видаляється в атмосферу. Як органічний субстрат у процесі денітрифікації можуть використовуватись будь-які біологічно окислювані органічні сполуки: вуглеводи, спирти, органічні кислоти, продукти розпаду білків, надлишковий активний мул, а також освітлені чи неочищені стічні води. Оптимальне співвідношення між біохімічним споживанням кисню  $BCK_{повн}$  і концентрацією нітратного азоту для процесу денітрифікації складає 4:1 [1].

Процес денітрифікації є наслідком метаболічної діяльності гетеротрофних аеробних бактерій, які при окисленні органічних речовин використовують як акцептор електронів молекулярний кисень, а при його відсутності змінюють акцептор електронів, використовуючи нітрити та нітрати. Процес денітрифікації здійснюється в два ступені: на першому - нітрати відновлюються до нітритів, а на другому - нітрити відновлюються до молекулярного азоту.

Умовами здійснення процесу денітрифікації є відсутність в рідині молекулярного кисню, чи його низька концентрація (до  $0,2 \text{ мг/дм}^2$ ). У присутності розчиненого кисню переважають саме аеробні процеси, а денітрифікація не відбувається. Умови, коли у стічних водах присутні нітрити й нітрати, а молекулярний кисень відсутній, називають аноксидними.

Денітрифікація відбувається в досить широкому діапазоні рН - від 6 до 9. При рН більше 7,3 в результаті денітрифікації зазвичай утворюється  $N_2$ , при менших рН може утворюватись  $N_2O$ . При денітрифікації звільняються аніони  $OH^-$ , що нейтралізують катіони  $H^+$ , які утворюються при нітрифікації. Процес денітрифікації

залежить від температури, хоча і в меншій мірі, ніж процес нітрифікації.

Найчастіше нітрифікація-денітрифікація здійснюється в спорудах типу аеротенків. Процес може здійснюватися в один чи в декілька ступенів з проведенням денітрифікації на початку, в середині чи в кінці технологічної схеми із влаштуванням рециркуляції мулу або стічних вод.

#### **Прилади, устаткування та матеріали.**

- скляна або пластмасова ємність об'ємом 3 дм<sup>3</sup>;
- сушильна шафа SNOL 24/200;
- лабораторна вага ВЛР-200;
- фільтри «біла стрічка» за ТУ 6-09-1678;
- лабораторні циліндри ємністю 1дм<sup>3</sup>, 0,25дм<sup>3</sup> за ДСТУ ISO 4787:2009;
- лабораторні стакани місткістю 1 дм<sup>3</sup>, 0,25 дм<sup>3</sup> за ДСТУ ISO 4787:2009;
- термометр;
- модельна стічна вода – 5 дм<sup>3</sup>;
- активний мул з міських каналізаційних очисних споруд – 3 дм<sup>3</sup>.

#### **Хід виконання роботи.**

Перед початком досліду готується модельна стічна вода шляхом змішування 0,25дм<sup>3</sup> молока і 1,75 дм<sup>3</sup> водопровідної води. Далі в модельну стічну воду добавляється така кількість розчину нітрату натрію, щоб розрахункова концентрація нітратного азоту становила 200 мг/дм<sup>3</sup> за  $N - NO_3^-$ . Визначається ХСК і концентрація нітратного азоту в модельній стічній воді ( $XCK_0^{CB}$  і  $NO_{30}^{CB}$ ) і в муловій суміші ( $XCK_0^{MC}$  і  $NO_{30}^{MC}$ ). У пластмасову ємність наливається 500 мл модельної стічної води і 500 мл активного мулу. Суміш модельних стічних вод і активного мулу періодично перемішується скляною паличкою. Після 6 годин контакту 250 мл суміші відфільтровується і в фільтраті визначаються ХСК і концентрації нітратного азоту ( $XCK_t^{\Phi}$  і  $NO_{3t}^{\Phi}$ ). Результати досліджень заносимо у таблицю 3.1

Визначається:

-  $XCK$  суміші модельних стічних вод і активного мулу перед початком досліджу

$$(XCK_0^{CB} + XCK_0^{MC}) / 2, \text{ мг/дм}^3;$$

- концентрація нітратів у суміші модельних стічних вод і активного мулу перед початком досліджу

$$NO_{30}^C = (NO_{30}^{CB} + NO_{30}^{MC}) / 2, \text{ мг/дм}^3;$$

- ефективність видалення нітратного азоту шляхом денітрифікації

$$E = (NO_{30}^C - NO_{30}^\Phi) 100 / NO_{30}^C;$$

- відношення знятих  $XCK$  і знятих концентрацій нітратів

$$K = (XCK_0^C - XCK_t^\Phi) / (NO_{30}^C - NO_{3t}^\Phi).$$

Значення концентрації нітратного азоту визначається за відомою методикою (додаток 3).

При можливості досліди повторюють при різному співвідношенні кількостей модельної стічної вод і активного мулу.

За отриманими даними будують графіки залежності  $E = f(t)$ .

Таблиця 3.1

Результати досліджень процесу денітрифікації

№№: проби	$XCK_0^{CB}$	$NO_{30}^{CB}$	$XCK_0^{MC}$	$NO_{30}^{MC}$	$XCK_t^\Phi$	$NO_{3t}^\Phi$	$E, \%$
1							
0							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							

#### Лабораторна робота № 4

## ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ З РІЗНИХ ВИДІВ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

**Мета роботи** – визначити вихід біогазу для різних видів органічних відходів.

### **Загальні положення.**

Біогаз відноситься до відновлювальних джерел енергії, використання яких постійно зростає. Утворення біогазу відбувається при анаеробному зброджуванні різноманітних органічних відходів. В таблиці 4.1 наведено вихід біогазу і вміст у ньому метану для деяких видів органічних відходів.

Таблиця 4.1

Вихід біогазу і вміст у ньому метану при використанні різних видів відходів [2]

Вихідна сировина	Вихід біогазу на 1 кг сухої речовини, л/кг	Вміст метану (CH <sub>4</sub> ), %
1	2	3
Гній великої рогатої худоби	200 – 300	50
Гній свинячий	340 – 480	60 – 75
Кінський гній із соломою	250	56 – 60
Бадиля картопляне	420	60
Стебла кукурудзи	420	53
Солома пшенична	342	58
Лузга соняшникова	300	60
Силос	250	84
Трава свіжа	360	52
Буряк	430	84
Тирса деревини	220	51
Твердий осад стічних вод	570	70
Фекальний осад	250 – 310	60
Домашні відходи і сміття	600	50

Метаноутворення – багатостадійний процес, який здійснюється декількома групами бактерій (рис. 4.1).

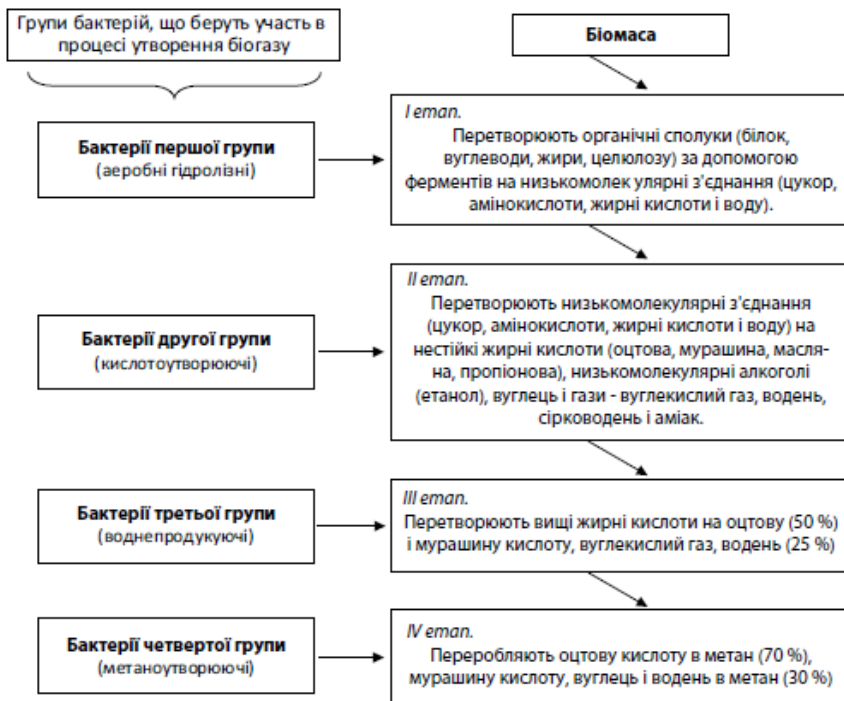


Рис. 4.1. Схема процесу метаноутворення [3]

У процесі анаеробного зброджування відбувається розпад частини органічних речовин і утворення біогазу. Наприклад, при розпаді 1 г знезоленої речовини осаду міських стічних вод вагова кількість утворюваного біогазу становить 1 г при об'ємній вазі газу  $1 \text{ кг/м}^3$  [4]. Ступінь розпаду беззольної речовини залежить від виду субстрату (осади стічних вод, подрібнені сільськогосподарські відходи тощо), температури процесу зброджування, тривалості перебування осаду в камері бродіння, інтенсивності перемішування, режиму зброджування, концентрації завантаженого субстрату тощо. Але в будь-якому випадку кількість утворюваного біогазу буде пропорційною кількості знезоленої речовини субстрату, що розпалася.

#### Прилади, матеріали та реактиви.

-лабораторна біогазова установка (рис. 4.1);

- аналітична вага марки ВЛР-200;
- циліндр об'ємом 100 см<sup>3</sup> за ДСТУ ISO 4787:2009;
- метр;
- конічні колби об'ємом 150 см<sup>3</sup>;
- піпетки 2 дм<sup>3</sup> та 10 дм<sup>3</sup> за ДСТУ ISO 4787:2009;
- колба на 750-1000 см<sup>3</sup> або пластмасова сулія.

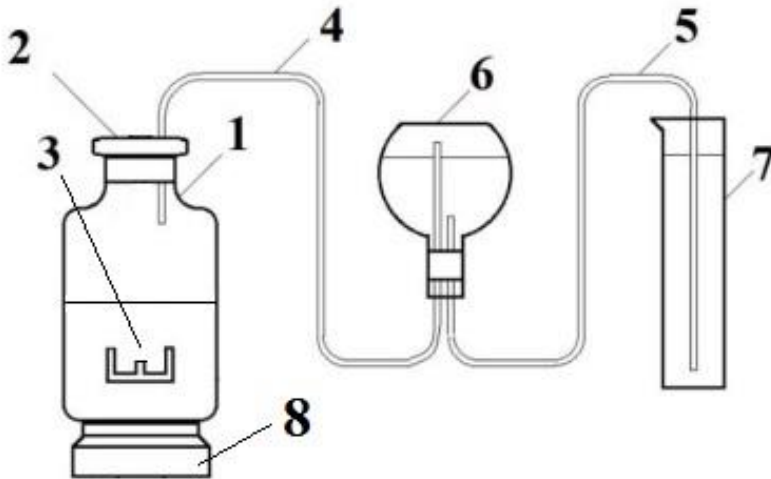


Рис. 4.1. Принципова схема лабораторної біогазової установки:  
 1 – резервуар для збродження органічних відходів; 2 – герметична кришка; 3 – стержень мішалки; 4,5 – патрубки; 6 – газозбірник; 7 – вимірювальний циліндр; 8 – магнітна мішалка ММ-5 з регулятором температури

### Хід роботи

В резервуар для збродження органічних відходів завантажують подрібнену біомасу, заливають теплою відстоюною водою (без хлору) у співвідношенні 1:1 за об'ємом, що має відповідати загальній концентрації твердих речовин 8–11 % за масою. Сюди ж додають

приблизно  $200\text{см}^3$  мулової води з працюючих метантенків (затравка). Якщо біомаса кисла, додають трохи вапна або крейди для нейтралізації. Біомаса з водою повинна не доходити до верху резервуару на 5-6 см. Резервуар щільно закривають герметичною кришкою з відвідним патрубком, кінець якого розташовується над водою (для виходу газу). Патрубок 4 заводиться у верхню частину газозбірника 6, відвідний трубопровід 5 відводить воду із газозбірника 6 у вимірювальний циліндр 7. Для запобігання розчинення вуглекислого газу у воді газозбірник 6 заповнюється 5%-вим розчином NaCl. Після збирання установки включається мішалка 8 (далі вмикається періодично) і розпочинається підігрівання резервуару для зброджування 1.

Виділення газу розпочинається вже протягом декількох днів, що буде спостерігатися по появі рідини у вимірювальному циліндрі. Перші порції газу слід спустити, тому що він змішаний з киснем повітря і при підпалюванні може статися невеликий вибух. Газ, що накопичився газозбірнику 6 випускають наступним чином. Спочатку затискачем перекривають патрубок 4, потім перевертають газозбірник 6 і випускають (спалюють) газ.

Використовуючи установку для отримання біогазу, кількість беззольної речовини субстрату, що розпалася може бути досить просто визначена гравіметричним методом шляхом визначення різниці між зважуваннями запровленої колби 2 до  $P_1$  і після процесу ферментації  $P_2$ . Кількість газу, що виділився, визначають за різницею об'ємів рідини наприкінці  $M_2$  і на початку досліду  $M_1$ . Отримані результати заносять у таблицю 4.1.

Таблиця 4.2

№ п/п	Вид субстрату	Температура процесу бродіння, °C	Маса резервуару, г		Об'єм рідини у циліндрі, см <sup>3</sup>		Тривалість ферментації, діб	Вихід біогазу, $\frac{M_2 - M_1}{P_1 - P_2}$ мл/г
			$P_1$	$P_2$	$M_1$	$M_2$		

Подібні дослідження виконуються для різних типів органічних

відходів.

## Лабораторна робота № 5

### ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ З ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ПРИ РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ЗБРОДЖУВАННЯ

**Мета роботи** – визначити вихід біогазу при різних температурах збродження.

#### **Загальні положення.**

**Температура** є одним із найважливіших параметрів, що визначає швидкість росту анаеробних мікроорганізмів і ефективність процесу збродження.

У природі метан утворюється за температур від 0 до 97 °С. Розрізняють три основні температурні зони життєдіяльності анаеробних мікроорганізмів: **психрофільну** - до 20 °С (оптимум 15-17 °С), **мезофільну** - від 20 до 40 °С (оптимум 33-35 °С) і **термофільну** - від 50 до 70 °С (оптимум 53-55 °С). У кожній зоні біохімічні процеси здійснює своя специфічна асоціація мікроорганізмів.

Температура істотним чином впливає на швидкість процесу збродження, а значить і на необхідну його тривалість, яка, наприклад, для осадів міських стічних вод при температурах збродження 8, 30-35 і 50-55 °С складає біля 120, 20 і 15 діб відповідно (рис. ). Термофільне збродження відрізняється від мезофільного більшою інтенсивністю й закінчується приблизно в два рази швидше, за рахунок чого вдвічі зменшується необхідний об'єм споруд. Підтримання мезофільних чи термофільних температур потребує на практиці підігрівання осадів, що призводить до ускладнення технічних рішень очисних споруд. Тому на невеликих очисних станціях збродження осадів часто здійснюють при психрофільних температурах.

Температура, при якій здійснюється збродження осаду, досить суттєво впливає також і на процес газовиділення, яке значно зменшується в інтервалі температур 40-50 °С. Проте при безкінечно тривалому збродженні вихід газу в розрахунку на одиницю сухої речовини завантаженого чи зброженого осаду практично однаковий як для мезофільного, так і для термофільного режимів збродження, і визначається лише хімічним складом осаду (рис. ).



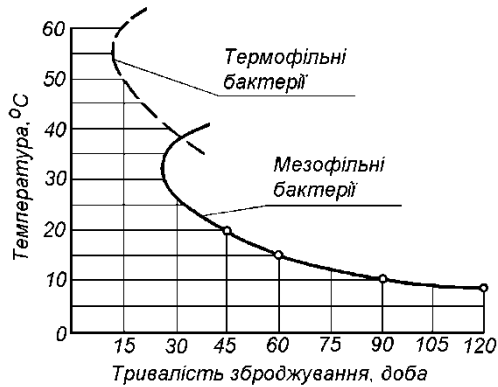


Рис.5.1 . Вплив температури зброджування на час, необхідний для досягнення практичного розпаду осаду (за даними Файра і Мура)

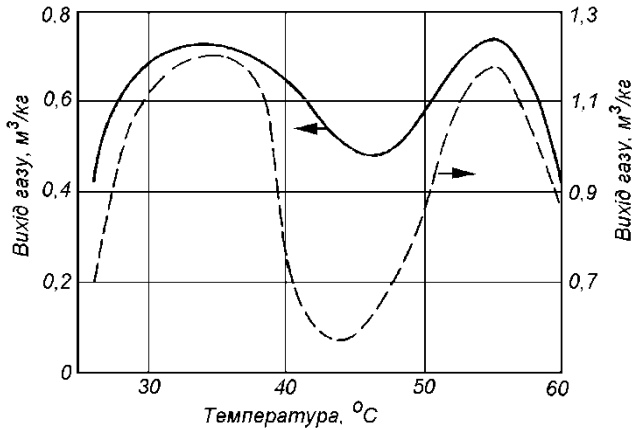


Рис.5.2 . Вплив температури зброджування на вихід газу з 1 кг знезоленої речовини завантаженого осаду (1) і з 1 кг знезоленої речовини осаду, що розпалася (2), (за даним Шверіна) [1]

Навіть короткотривале порушення температурного режиму, особливо в сторону зменшення температури, призводить до

гальмування процесу метаноутворення. Однак стадії гідролізу і кислотоутворення при цьому можуть проходити з тією самою інтенсивністю, що призводить до накопичення ЛЖК, зниження рН і до порушення процесу в цілому.

Вважається, що при термофільному зброджуванні досягається повна дегельмінтизація осаду, тоді як в умовах мезофільних температур гине лише 50-80 % усієї кількості яєць гельмінтів.

Основною перевагою мезофільного зброджування є забезпечення процесу теплом, що отримується від спалювання біогазу, який виділяється в процесі зброджування осаду. Підігрівання ж осаду до термофільних температур, особливо в зимовий час, потребує додаткових витрат палива. Крім цього, осад, зброджений у термофільних умовах, значно гірше віддає вологу, ніж зброджений у мезофільних умовах.

#### **Прилади, матеріали та реактиви.**

-дві лабораторні біогазові установки, аналогічні до зображеної на рис. . (рис. 1.1);

-аналітична вага марки ВЛР-200;

циліндр об'ємом 100 дм<sup>3</sup> за ДСТУ ISO 4787:2009;

-метр;

-конічні колби об'ємом 150 дм<sup>3</sup>.

#### **Хід роботи**

В резервуар для зброджування органічних відходів завантажують подрібнену біомасу, заливають теплою відстоюною водою (без хлору) у співвідношенні 1:1 за об'ємом, що має відповідати загальній концентрації твердих речовин 8–11 % за масою. Сюди ж додають приблизно 200 см<sup>3</sup> мулової води з працюючих метантенків (затравка). Якщо біомаса кисла, додають трохи вапна або крейди для нейтралізації. Біомаса з водою повинна не доходити до верху резервуару на 5-6 см. Резервуар щільно закривають герметичною кришкою з відвідним патрубком, кінець якого розташовується над водою (для виходу газу). Патрубок 4 заводиться у верхню частину газозбірника 6, відвідний трубопровід 5 відводить воду із газозбірника 6 у вимірювальний циліндр 7. Для запобігання розчинення вуглекислого газу у воді газозбірник 6 заповнюється 5%-вим розчином NaCl. Після збирання установки включається мішалка 8 (далі вмикається періодично) і розпочинається підігрівання резервуару для зброджування 1.

Виділення газу розпочинається вже протягом декількох днів, що буде спостерігатися по появі рідини у вимірювальному циліндрі. Перші порції газу слід спустити, тому що він змішаний з киснем повітря і при підпалюванні може статися невеликий вибух. Газ, що накопичився газозбірнику 6 випускають наступним чином. Спочатку затискачем перекривають патрубок 4, потім перевертають газозбірник 6 і випускають (спалюють) газ.

Використовуючи установку для отримання біогазу, кількість беззолної речовини субстрату, що розпалася може бути досить просто визначена гравіметричним методом шляхом визначення різниці між зважуваннями запровленої колби 2 до  $P_1$  і після процесу ферментації  $P_2$ . Кількість газу, що виділився, визначають за різницею об'ємів рідини наприкінці  $M_2$  і на початку досліду  $M_1$ . Отримані результати заносять у таблицю 5.1.

Таблиця 5.1

№ п/п	Вид субстрату	Температура процесу бродіння, °С	Маса резервуару, г		Об'єм рідини у циліндрі, см <sup>3</sup>		Тривалість ферментації, діб	Вихід біогазу, $\frac{M_2 - M_1}{P_1 - P_2}$ см <sup>3</sup> /г
			$P_1$	$P_2$	$M_1$	$M_2$		

## Лабораторна робота № 6.

### ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ЗБРОДЖУВАННЯ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

**Мета роботи** – визначити межі зброджування органічної речовини при вихід біогазу при різній тривалості зброджування.

#### Загальні положення.

**Хімічний склад** осаду визначає можливу межу його зброджування, а також вихід і склад утвореного біогазу. Дослідженнями АКГ ім. К.Д. Памфілова встановлено, що вся кількість газу, який виділяється в процесі зброджування осаду, утворюється лише за рахунок розпаду жирів, вуглеводів і білків. При

цьому 60-65 % біогазу утворюється при розпаді жирів, а останні 35-40 % - припадають приблизно порівну на вуглеводи та білки. Усі три розглядувані компоненти зброджуються не повністю: межа їх зброджування складає 70 % - для жирів, 62,5 % - для вуглеводів і 48 % - для білків. В свою чергу, вміст жирів, вуглеводів і білків в органічній речовині осадів складає 65-80 %. Виходячи із хімічного складу осаду, можна визначити межу зброджування беззольної речовини за формулою, запропонованою Л.І. Гюнтер [1]:

$$R_{зр} = (0,92C_{ж} + 0,62C_{в} + 0,34C_{б})100, \%,$$

де  $C_{ж}$ ,  $C_{в}$ ,  $C_{б}$  - відповідно вміст жирів, вуглеводів і білків, г на 1 г беззольної речовини осаду.

СНиП 2.04.03-85 рекомендує межу розпаду беззольної речовини сирого осаду первинних відстійників приймати рівною 53 %, а надлишкового активного мулу - 44 %. Через більший вміст білків межа розпаду беззольної речовини активного мулу завжди менша від межі розпаду беззольної речовини осаду, хоча вона в значній мірі залежить від тривалості перебування його в аеротенку та навантажень, при яких здійснювалась біологічна очистка. Чим молодший активний мул, чим більший вміст у ньому живих бактеріальних клітин, органічна речовина яких розпадається на 68 %, тим вища практична межа зброджування мулу.

У наш час немає чітких кількісних критеріїв стабілізації, при досягненні яких осад перестає загнивати та мати неприємний запах. Найчастіше стабілізованими вважаються осади, ступінь зброджування яких складає 90 % практичної межі розпаду. За А.А. Карпінським ступінь розпаду беззольної речовини, що задовольняє з точки зору знешкодження осаду, складає 45-50 %.

#### **Прилади, матеріали та реактиви.**

-лабораторна біогазова установка, обладнання і реактиви як у лабораторній роботі № 4 і 5.

#### **Хід роботи.**

Експеримент здійснюють за тією ж самою методикою, що і в лабораторній роботі № 4. Різниця полягає лиш у тому, що при визначенні межі розпаду зважування установки і визначення кількості утвореного біогазу здійснюють щодоби до моменту,

коли маса установки припиняє зменшуватись (кінець досліду), що визначає межу зброджування.. Отримані дані заносять в таблицю.

Таблиця 6.1

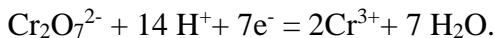
№ п/п	Вид суб-страту	Температура процесу бродіння, °С	Маса резервуару, г		Об'єм рідини у циліндрі, см <sup>3</sup>		Тривалість ферментації, діб	Вихід біогазу, $\frac{M_2-M_1}{P_1-P_2}$ см <sup>3</sup> /г
			P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>		

### Додаток 1.

#### Прискорений метод визначення хімічного споживання кисню ХСК.

Метод вимірювання ХСК воді заснований на реакції окислення калієм двохромовоокислим розчинених органічних речовин при нагріванні у присутності кислоти сірчаної та каталізатора - срібла сірчаноокислого.

Реакція протікає за схемою:



Титриметричним методом вимірюють об'єм розчину солі Мора, який пішов на титрування надлишку калію двохромовоокислого.

Розрахунковим методом встановлюють масову концентрацію атомарного кисню, еквівалентну кількості калію двохромовоокислого, витраченого на окислення органічних речовин (ХСК). Об'єм проби для аналізу залежить від ступеня забрудненості стічної води. Якщо біхроматна окиснюваність, або хімічне споживання кисню (ХСК), аналізованої проби 50-500 мгО/дм<sup>3</sup>, тоді для аналізу беруть 5 см<sup>3</sup> проби, якщо біхроматна окиснюваність 500-4000 мгО/дм<sup>3</sup>, тоді беруть 1 см<sup>3</sup>, якщо більше 4000 мгО/дм<sup>3</sup> – тоді проби розбавляють дистильованою водою. При біхроматній окиснюваності менше 50 мгО/дм<sup>3</sup> метод застосовувати не можна.

## Прилади і матеріали:

- ваги лабораторні загального призначення 3 класу з найбільшою границею зважування 200 г;
- калій двохромовокислий. Стандарт-титр  $C(1/6 K_2Cr_2O_7) = 0,1$  моль/дм<sup>3</sup> еквіваленту за ТУ 6-09-2540-87;
- колби мірні 50,100,1000 см<sup>3</sup> за ДСТУ ISO 4787:2009;
- піпетки мірні градуйовані 1, 2, 5, 10 см<sup>3</sup> за ДСТУ ISO 4787:2009;
- бюретки 25-0,1 см<sup>3</sup> за ДСТУ ISO 4787:2009;
- циліндри мірні 100, 250, 500 см<sup>3</sup> за ДСТУ ISO 4787:2009;
- фільтри знезолені «синя стрічка» за ТУ 6-09-1678;
- колби конічні місткістю 250, 500 см<sup>3</sup>;
- кислота сірчана, х.ч.;
- амоній-залізо (II) сірчаноокисле 6-водне (сіль Мора), ч.д.а.;
- срібло сірчаноокисле, ч.д.а.;
- кислота N - фенілантранілова за ТУ 6-09-05-66;
- ртуть сірчаноокисла, ч.д.а.;
- вода дистильована за ДСТУ ISO 3696:2003.

## Реактиви

- калій двохромовокислий, розчин 0,1 моль/дм<sup>3</sup> еквіваленту;
- сіль Мора, розчин 0,1 моль/дм<sup>3</sup> еквіваленту;
- кислота N – фенілантранілова, 0,1% розчин;
- срібло сірчаноокисле, розчин 13 г/дм<sup>3</sup>;

## Виконання вимірювань

Пробу поміщають в термостійку колбу ємністю 250 см<sup>3</sup>, додають 10,0 дм<sup>3</sup> 0,1н розчину біхромату калію, 0,2 г сульфату ртуті (двовалентної) і при перемішуванні концентровану сірчану кислоту (7,5 см<sup>3</sup> на 1 см<sup>3</sup> проби та 15 см<sup>3</sup> кислоти на 5 см<sup>3</sup> проби). При цьому температура розчину піднімається вище 100 °С. Через 2 хвилини охолоджують розчин до кімнатної температури, приливають 100 см<sup>3</sup> дистильованої води і титрують надлишок біхромату калію розчином солі Мора концентрацією 0,1 моль/дм<sup>3</sup> еквіваленту в присутності індикатора N – фенілантранілової кислоти.

Для встановлення поправочного коефіцієнту до точної концентрації солі Мора проводять холостий дослід з дистильованою водою.

Поправочний коефіцієнт  $K$ , визначають за формулою:

$$K = \frac{10}{V}$$

де 10-об'єм розчину калію двохромовокислого, 0,1 моль/дм<sup>3</sup> еквіваленту, см<sup>3</sup>;

$V$  - об'єм розчину солі Мора, 0,1 моль/дм<sup>3</sup>еквіваленту, см<sup>3</sup>.

$XCK$ , мгО/дм<sup>3</sup>, визначають за формулою:

$$XCK = \frac{(a-b) \cdot N \cdot K \cdot B \cdot 1000}{V},$$

де  $a$  - об'єм солі Мора, витраченої в холостому досліді, см<sup>3</sup>;

$b$  - об'єм солі Мора, витраченої на титрування проби, см<sup>3</sup>;

$N$  - нормальність солі Мора, моль/дм<sup>3</sup> еквіваленту;

$K$  - поправочний коефіцієнт розчину солі Мора;

$V$  - об'єм проби води, взятої для аналізу, см<sup>3</sup>;

$B$  - еквівалент кисню, 8 г/моль;

1000 – одиниця перерахунку см<sup>3</sup> в дм<sup>3</sup>

Результати вимірювання хімічного споживання кисню  $XCK$  записуємо в таблицю Д 1.1.

Таблиця Д.1.1

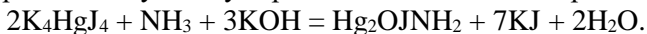
№ проби	Об'єм проби для аналізу $V$ , см <sup>3</sup>	Витрата розчину солі Мора $a$ , см <sup>3</sup>	Витрата розчину солі Мора $b$ , см <sup>3</sup>	Поправочний коефіцієнт $K$	Розрахункове значення $XCK$ , мгО/дм <sup>3</sup>

## Додаток 2.

**Визначення масової концентрації амоній-іонів у стічних водах.**

## Загальні відомості

Запропонований метод визначення масової концентрації катіона амонію заснований на його реакції з реактивом Неслера з утворенням забарвленої в лужному середовищі в жовтий колір сполуки.



Фотоколориметричним методом вимірюють оптичну густину забарвлених розчинів. Оптимальним для вимірювання оптичної густини є використання довжини хвилі  $\lambda = 440$  нм. За градууювальною характеристикою визначають масову концентрацію амоній-іонів у пробі води. Дистильовану воду перевіряють на наявність аміаку та іонів амонію (до  $5 \text{ см}^3$  води додають  $0,1 \text{ см}^3$  реактива Неслера).

При виявленні аміаку (з'являється жовтувате забарвлення) дистильовану воду пропускають через колонку з активованим вугіллям, катіонитом в Н-формі або кип'ятять в колбі до зменшення об'єму на  $1/3$ . Підготовка катіоніту до використання наведена в доповненні II.

Чутливість методу  $0,05 \text{ мг/дм}^3$  іонів амонію.

## Прилади і матеріали:

- фотоколориметр КФК-3;
- мірні колби місткістю  $50 \text{ см}^3$  за ДСТУ ISO 4787:2009;
- циліндри місткістю  $50 \text{ см}^3$  за ДСТУ ISO 4787:2009;
- піпетки  $1-10 \text{ см}^3$  за ДСТУ ISO 4787:2009;
- Державний стандартний зразок складу розчину амоній-іонів ДСЗУ 022.5-96 з атестованим значенням масової концентрації амоній-іонів  $1,00 \text{ мг/см}^3$  (відносна сумарна похибка атестованого значення ДСЗУ при довірчій ймовірності  $0,95 - 1,0 \%$ );
- реактив Неслера;
- сегнетова сіль;
- натрій сіркуватистоокислий;
- цинк сірчанокислий;
- галун алюмокалієвий;
- калію гідроксид;
- вода дистильована за ДСТУ ISO 3696: 2003;
- катіоніт КУ-2-8;
- скляний хімічний посуд;
- фільтри знезолені - за ТУ 6-09-1678.



### **.Реактиви**

- робочий стандартний розчин амоній-іонів масовою концентрацією 0,005 мг/дм<sup>3</sup>;
- реактив Неслера;
- сегнетова сіль, 50% розчин;
- суспензія гідроксиду алюмінію ;
- цинк сірчаноокислий, розчин 56,2 г/дм<sup>3</sup>;
- натрій сіркуватистоокислий, розчин 2,2 г/дм<sup>3</sup>;
- безаміачна дистильована вода.

### **Побудова градуовальної характеристики**

У мірні колби місткістю 50 см<sup>3</sup> піпеткою відміряють необхідний об'єм вихідного розчину з масовою концентрацією амоній-іона 0,005мг/дм<sup>3</sup> згідно таблиці Д.2.1, додають 1 см<sup>3</sup> 50% розчину сегнетової солі, 1 см<sup>3</sup> реактиву Неслера, доводять об'єм розчину до позначки без аміачною водою і ретельно перемішують. Через 10 хвилин вимірюють оптичну густина на фотоелектроколориметрі з довжиною хвилі  $\lambda = 440$  нм в оптичній кюветі довжиною 50 мм відносно холостої проби (дистильована вода з додаванням реактивів для аналізу).

Таблиця Д.2.1

№ розчину для побудови градуовальної характеристики	Об'єм робочого стандартного розчину амоній-іону, см <sup>3</sup>	Масова концентрація амоній-іонів у розчині для побудови градуовальної характеристики, мг/дм <sup>3</sup>
1	1,0	0,1
2	2,0	0,2
3	4,0	0,4
4	6,0	0,6
5	8,0	0,8
6	10,0	1,0

Градуовальну характеристику будують графічно в координатах: масова концентрація амоній-іонів в мг/дм<sup>3</sup> (вісь X) - оптична густина розчину (вісь Y), або розраховують методом найменших квадратів.

При наявності перешкоджаючого впливу домішок здійснюють підготовку вихідної проби згідно рекомендацій таблиці Д.2.2.

Таблиця Д. 2.2

Фактори перешкоджаючого впливу домішок та засоби їх усунення

№	Фактори	Способи усунення перешкоджаючого впливу домішок
1	Жорсткість	Додавання 0,5-1,0 см <sup>3</sup> розчину солі сегнетової або розчину трилону Б на 50 см <sup>3</sup> проби
2	Залізо, сульфід	До 100 см <sup>3</sup> проби додають 1 см <sup>3</sup> розчину цинку сірчанокислого і суміш ретельно перемішують. рН суміші доводять до 10,5 од. рН додаванням 25 % розчину калію гідроксиду чи натрію гідроксиду. Перевіряють рН. Після збовтування й утворення лапатої муті осад відокремлюють центрифугуванням або фільтруванням через скляний фільтр. Збільшення обсягу рідини необхідно враховувати при розрахунку.
3	Завислі речовини	Центрифугування або фільтрування (перші порції фільтрату відкидають)
4	Гумінові речовини	Додавання 2-5 см <sup>3</sup> суспензії алюмінію гідроксиду на 300 см <sup>3</sup> проби або розведення проби.
5	Хлор	Додавання натрію сіркуватистокислого. Для видалення кожних 5 мг хлору додають 1 см <sup>3</sup> розчину.
6	Каламутність	Діють як в пункті 4 або 5.

**Виконання вимірювань**

В мірну колбу місткістю 50 см<sup>3</sup> вміщують аліквотний об'єм проби води, піпеткою додають 1,0 см<sup>3</sup> 50% сегнетової солі, 1,0 см<sup>3</sup> реактиву Неслера. Доводять об'єм до позначки без аміачною водою і ретельно перемішують. Виконання вимірювань оптичної густини проводять через 10 хвилин за допомогою фотоелектроколориметру з довжиною хвилі  $\lambda = 440$  нм в оптичній кюветі довжиною 50 мм відносно холостої проби (дистильована вода з додаванням реактивів для аналізу).

За градувальним графіком знаходимо графічне значення масової концентрації амоній-іона в мг/дм<sup>3</sup>.

Масову концентрацію амоній-іона, мг/дм<sup>3</sup>, знаходимо за формулою:

$$\rho_i = \frac{\rho_{гр} \cdot k \cdot 50}{V}$$

де:  $\rho_{гр}$  - масова концентрація амоній-іона у розчині, знайдена за допомогою попередньо розрахованих параметрів градувальної характеристики, мг/дм<sup>3</sup>;  $k$  - ступінь попереднього розбавлення вихідної проби ( $k = 1$ , якщо попереднє розбавлення вихідної проби не проводили); 50 - об'єм мірної колби, що використовується для аналізу, см<sup>3</sup>;  $V$  - об'єм аліквоти проби (попередньо розбавленої проби), взятий для аналізу, см<sup>3</sup>;  $i$  - номер одиничного вимірювання,  $i = 1, 2$ .

Результат обчислень заокруглюють і записують до другої значущої цифри.

Результат вимірювань масової концентрації амоній-іона розраховують за формулою (5) як середнє арифметичне результатів двох паралельних одиничних вимірювань,  $\rho_1, \rho_2$ , мг/дм<sup>3</sup>

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$$

Результати вимірювання масової концентрації амоній-іона записуємо в таблицю Д 2.3.

Таблиця Д.2.3

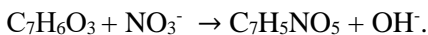
№ проби	Об'єм проби для аналізу V, см <sup>3</sup>	Оптична густина, D	Графічне значення концентрації амоній-іону $\rho_{гр}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Розрахункове значення концентрації амоній-іону $\rho$ , мг/дм <sup>3</sup>

### Додаток 3.

## Методика фотометричного визначення нітратів з саліциловою кислотою

### Загальні відомості

Метод вимірювання масової концентрації нітрат-іонів у питних водах ґрунтується на взаємодії нітрат-іонів із саліциловою кислотою у сірчанокислоту середовищі з утворенням нітросаліцилової кислоти. Солі цієї кислоти у лужному середовищі мають жовте забарвлення



Фотоколориметричним методом вимірюють оптичну густина забарвленого розчину. Оптимальним для вимірювання оптичної густини є використання довжини хвилі  $\lambda = 413$  нм.

За градуовальною характеристикою визначають вміст нітрат-іонів в аліквоті розчину, що фотометрують.

Розрахунковим методом встановлюють масову концентрацію нітрат-іонів у пробі води.

Чутливість методу 0,5 мг/дм<sup>3</sup> нітрат-іонів.

### Прилади і матеріали:

- фотоелектроколориметр КФК-3 або спектрофотометр, спроможний вимірювати світлопоглинання при довжині хвилі  $\lambda = 413$  нм;
- кювети кварцові з товщиною шару 5 см;
- вага аналітична ВЛР-200 з похибкою вимірювання 0,00005 г;
- Державний стандартний зразок складу розчину нітрат-іонів МСО 0517:2003 з атестованим значенням масової концентрації нітрат-іонів 1,00 мг/см<sup>3</sup> (відносна сумарна похибка атестованого значення не перевищує 1,0 % за довірчої ймовірності 0,95);

- колби мірні, скляні, ємкістю 50, 100, 1000 см<sup>3</sup> - за ДСТУ ISO 4787:2009;
- піпетки ємкістю 1, 2, 5, 10 см<sup>3</sup> - за ДСТУ ISO 4787:2009;
- сушильна шафа електрична загально-лабораторного призначення;
- баня водяна;
- чашки для випарювання порцелянові;
- скляний посуд та обладнання лабораторне;
- фільтри знезолені - за ТУ 6-09-1678;
- калій азотнокислий;
- галун алюмокалієвий;
- вугілля активоване БАУ-3 - за ТУ 6-16-3075;
- аміак водний;
- амоній сірчанокислий;
- спирт етиловий, ректифікований;
- саліцилова кислота, фармацевтичний препарат;
- сірчана кислота;
- натрію гідроксид;
- калій-натрій виннокислий 4-водяний (сегнетова сіль);
- вода дистильована за ДСТУ ISO 3696: 2003.

Всі реактиви мають бути кваліфікації х.ч. або ч.д.а., без домішок нітрат-іонів.

### **Реактиви**

- робочий стандартний розчин з масовою концентрацією нітрат-іонів 0,01 мг/см<sup>3</sup>;
- саліцилова кислота, 1% спиртовий розчин;
- суміш гідроксиду натрію 40% та сегнетової солі;
- сірчана кислота, концентрована 96%;
- суспензія гідроксиду алюмінію (доповнення 2.1)

### **Побудова градуювальної характеристики**

Готують серію градуювальних розчинів. У мірні колби місткістю 25 см<sup>3</sup> піпеткою відміряють необхідний об'єм вихідного розчину з масовою концентрацією нітрат-іона 0,01мг/дм<sup>3</sup> згідно таблиці ДЗ.1 та доводять об'єм до позначки дистильованою водою. Розчини переносять в порцелянові чашки.

Таблиця Д 3.1

Номер розчину для побудови градуювальної характеристики	Об'єм робочого стандартного розчину нітрат-іону, см <sup>3</sup>	Масова концентрація нітрат-іонів у градуювальному розчині, мг/дм <sup>3</sup>
1	1,25	0,25
2	2,5	0,5
3	5,0	1,0
4	7,5	1,5
5	10,0	2,0

Додають 2 см<sup>3</sup> саліцилової кислоти і випарюють у порцеляновій чашці на водяній бані насухо. Після охолодження сухий залишок перемішують з 2 см<sup>3</sup> сірчаної кислоти і залишають на 10 хвилин. Потім вміст чашки розводять 10-15 см<sup>3</sup> дистильованої води, приливають - 15 см<sup>3</sup> розчину гідроксиду натрію і сегнетової солі, кількісно переносять у 50 см<sup>3</sup> мірну колбу. Стінки чашки обмивають дистильованою водою, додають цю рідину у колбу, яку охолоджують у воді до кімнатної температури. Дистильованою водою доводять об'єм до мітки.

Отриманий кольоровий розчин відразу фотометрують при  $\lambda = 413$  нм у кюветях з товщиною шару 5 см проти дистильованої води. Окремо міряють поглинання холостого розчину, віднімаючи потім його значення від значення поглинання проби.

Градуювальний графік будують у координатах: оптична густина-вміст нітрат-іонів у пробі, мг/дм<sup>3</sup>.

### **Виконання вимірювань**

Пробу об'ємом 100 см<sup>3</sup> обробляють (при необхідності) наступним чином. До 100 см<sup>3</sup> проби додати суспензії гідроксиду алюмінію, перемішати, дати відстоятись і профільтрувати через фільтр «біла стрічка». Перші 5-10 см<sup>3</sup> фільтрату відкидають.

Для аналізу використовують фільтрат об'ємом 0,5-10 см<sup>3</sup>, в залежності від концентрації нітрат-іонів у воді, але так, щоб у відібраній аліквоті було не менше 0,03 мг нітрат-іонів

Додають 2 см<sup>3</sup> саліцилової кислоти і випарюють у порцеляновій чашці на водяній бані насухо. Після охолодження сухий залишок перемішують з 2 см<sup>3</sup> сірчаної кислоти і залишають на 10 хвилин.

Потім вміст чашки розводять 10-15 см<sup>3</sup> дистильованої води, приливають - 15 см<sup>3</sup> розчину гідроксиду натрію і сегнетової солі, кількісно переносять у 50 см<sup>3</sup> мірну колбу. Стінки чашки обмивають дистильованою водою, додають цю рідину у колбу, яку охолоджують у воді до кімнатної температури. Дистильованою водою доводять об'єм до мітки.

Отриманий кольоровий розчин відразу фотометрують при  $\lambda = 413$  нм у кюветях з товщиною шару 5 см проти дистильованої води та визначають оптичну густину.. Окремо міряють оптичну густину холостого розчину, віднімаючи потім її значення від значення оптичної густини проби.

За градувальним графіком знаходимо графічне значення масової концентрації нітрат-іона в мг/дм<sup>3</sup>.

Масову концентрацію нітрат-іона, мг/дм<sup>3</sup>, знаходимо за формулою:

$$\rho_i = \frac{\rho_{гр} \cdot k \cdot 50}{V}$$

де:  $\rho_{гр}$  - масова концентрація нітрат-іона у розчині, знайдена за допомогою попередньо розрахованих параметрів градувальної характеристики, мг/дм<sup>3</sup>;  $k$  - ступінь попереднього розбавлення вихідної проби ( $k = 1$ , якщо попереднє розбавлення вихідної проби не проводили); 50 - об'єм мірної колби, що використовується для аналізу, см<sup>3</sup>;  $V$  - об'єм аліквоти проби (попередньо розбавленої проби), взятий для аналізу, см<sup>3</sup>;  $i$  - номер одиничного вимірювання,  $i = 1, 2$ .

Результат обчислень заокруглюють і записують до другої значущої цифри.

Результат вимірювань масової концентрації нітрат-іона розраховують за формулою (5) як середнє арифметичне результатів двох паралельних одиничних вимірювань,  $\rho_1, \rho_2$ :

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$$

Результати вимірювання масової концентрації нітрат-іона записуємо в таблицю Д 3.2.

Таблиця Д 3.2

№ проби	Об'єм проби для аналізу <b>V</b> , см <sup>3</sup>	Оптична густина, <b>D</b>	Графічне значення концентрації нітрат-іона р <sub>гр</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Розрахункове значення концентрації нітрат-іона <b>ρ</b> , мг/дм <sup>3</sup>

## САМОСТІЙНА РОБОТА

Самостійна робота є основним засобом засвоєння здобувачами вищої освіти навчального матеріалу в час, вільний від обов'язкових навчальних занять. Пізнавальна діяльність здобувачів вищої освіти у процесі виконання самостійної роботи характеризується високим рівнем самостійності та сприяє їхньому залученню до творчої активності.

Самостійна робота включає: підготовку до аудиторних занять, підготовку до виконання модульних контролів, поглиблене опрацювання тем змістових модулів та, за бажанням здобувачів вищої освіти, підготовку матеріалів для наукової роботи, що використовуватимуться для написання статей, тез, виступів на конференціях, у магістерській роботі, та обов'язок є дотичними до тематики навчальної дисципліни «Інформаційні системи у наукових розробках водопостачання та водовідведення».

Тематику самостійної роботи обирає здобувач вищої освіти та погоджує з викладачем.

Підсумком самостійної роботи над вивченням навчальної дисципліни є складання письмового звіту. Звіт оформлюється на стандартному папері формату А4 (210x297) з одного боку. Поля: верхнє, праве, ліве – 20 мм, нижнє – 22 мм, ліве. У тексті повинні бути зазначені посилання на використану літературу. Звіт виконується українською мовою. На титульній сторінці звіту мають бути зазначені назва кафедри, навчальна дисципліна, прізвище та ініціали здобувача вищої освіти, група, прізвище та ініціали викладача, який приймає роботу, посада. Рекомендований загальний обсяг звіту становить 10-15 сторінок. Звіт включає вступ, основну частину, висновки, список використаної літератури та додатки (за необхідності).

Захист звіту про самостійну роботу проводиться у терміни, спільно обумовлені викладачем і здобувачем вищої освіти.



### Список літератури та електронні ресурси

1. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навчальний посібник. Рівне : ВАТ “Рівненська друкарня”, 2003.
2. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи на тему «Обґрунтування технологічних параметрів біогазових установок» з дисципліни «Енергозбереження та експлуатація систем теплогазопостачання і вентиляції» для студентів напряму підготовки «Будівництво» / Уклад. Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна. Вінниця : ВНТУ, 2011. 24 с.
3. ЮНІДО. Проект «Підвищення енергоефективності та стимулювання використання відновлювальної енергії в агро-харчових та інших малих та середніх підприємствах МСП України». Серія навчально-методичних матеріалів. Модуль БЮГАЗ. Київ, 2015. 48 с.
4. КНД 211.1.4.021-95 Методика визначення хімічного споживання кисню в поверхневих та стічних водах. 26 с.
5. МВВ № 081/12-0651-09 Води зворотні, поверхневі, підземні. Методика виконання вимірювань масової концентрації нітрат-іонів фото колориметричним методом. 27 с.
6. МВВ № 081/12-0106-03 Поверхневі, підземні та зворотні води. Методика виконання вимірювань масової концентрації амоній-іонів фотоколориметричним методом з реактивом Неслера. 32 с.
8. Обласна наукова бібліотека (м. Рівне, майдан Короленка, 6). URL: <http://www.lib.rv.ua> (дата звернення: 15.05.2022).
9. Рівненська централізована бібліотечна система (м. Рівне, вул. Київська, 44). URL: <http://cbs.rv.ua/> (дата звернення: 15.05.2022).
10. Наукова бібліотека НУВГП (м. Рівне, вул. Олекси Новака, 75). URL: <http://lib.nuwm.edu.ua/> (дата звернення: 15.05.2022).
11. Кафедра водопостачання, водовідведення та бурової справи НУВГП. URL: <http://nuwm.edu.ua/nni-ba/kaf-vvbs> (дата звернення: 15.05.2022).