

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ЩОДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ  
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
**«БІОТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ»**  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ  
ЗА НАПРЯМОМ 6.051401 – «БІОТЕХНОЛОГІЯ»

КРЕМЕНЧУК 2017

Методичні вказівки щодо практичних занять з навчальної дисципліни «Біотехнологія переробки відходів» для студентів денної форми навчання за напрямом 6.051401 – «Біотехнологія»

Укладачі: к. т. н., доц. А. В. Пасенко

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

Кафедра біотехнології та здоров'я людини

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол №\_\_ від\_\_\_\_\_2017.

Голова методичної ради

проф. В. В. Костін

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
Практичне заняття 1. Теоретичний розрахунок краплинних і високонавантажених біофільтрів. ....	5
1.1. Теоретичні положення.....	5
1.2. Завдання до практичної частини.....	9
1.2.1. Приклади розв'язання задач.....	9
1.2.2. Завдання для самостійного розв'язання.....	11
Практичне заняття 2. Теоретичний розрахунок аеротенків при проектуванні очисних споруд. ....	12
2.1. Теоретичні положення.....	12
2.2. Завдання до практичної частини.....	21
2.2.1. Приклади розв'язання задач.....	21
2.2.2. Завдання для самостійного розв'язання.....	26
Практичне заняття 3. Кількісний вихід біогазу при метаногенезі. Теоретичний розрахунок метантенків і виходу біогазу при зброджуванні визначеної сировини. ....	27
3.1. Теоретичні положення.....	27
3.2. Завдання до практичної частини.....	31
3.2.1. Приклади розв'язання задач.....	31
3.2.2. Завдання для самостійного розв'язання.....	33
ДОДАТОК А. Довідкові матеріали для розрахунку біофільтрів.....	34
ДОДАТОК Б. Довідкові матеріали для розрахунку аеротенків.....	36
ДОДАТОК В. Довідкові матеріали для розрахунку метантенків.....	39
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	40

## ВСТУП

Дані методичні вказівки складені для студентів напряму підготовки 6.051401 «Біотехнологія» денної форми навчання.

Методичні вказівки включають опис трьох практичних робіт. Тематика практичних занять відповідає програмі з дисципліни «Біотехнологія переробки відходів».

На всіх етапах навчання велике значення має практичне застосування теоретичних знань, одним із яких при вивченні курсу «Біотехнологія переробки відходів» є розв'язання задач. Тому кожне практичне заняття включає в себе теоретичну частину, приклади розв'язання задач, завдання різної складності для самостійного вирішення.

Під час виконання практичних робіт студенти повинні володіти лекційним матеріалом; знати біологічний аспект, основні умови та особливості протікання наступних біотехнологічних процесів: біологічного очищення стічних вод у біофільтрах, аеротенках; анаеробного зброджування стічних вод, осадів та відходів у метантенках.

Метою проведення даних практичних занять є закріплення теоретичних знань, отриманих студентами під час лекційних занять, засвоєння основних параметрів протікання вищевказаних біотехнологічних процесів, набуття практичних навичок та умінь виконувати теоретичний розрахунок очисних біоспоруд шляхом індивідуального виконання студентом відповідно сформульованих завдань.

Методичні вказівки включають «Довідкові матеріали для розрахунку біофільтрів» (Додаток А), «Довідкові матеріали для розрахунку аеротенків» (Додаток Б), «Довідкові матеріали для розрахунку метантенків» (Додаток В); та список літератури, рекомендованої для виконання запропонованих завдань.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1.

### Тема: Теоретичний розрахунок краплинних і високонавантажених біофільтрів.

#### 1.1. Теоретичні положення.

Біофільтри проектуються для часткового і повного очищення стічних вод з доведенням БСК<sub>повне</sub> до 15 мг/л. В якості фільтруючого матеріалу використовуються щебінь, галька, керамзит і різні штучні матеріали. Усі матеріали, природні чи штучні, використовувані для завантаження біофільтрів, повинні бути волого- і морозостійкими і відповідати вимогам СНиП [8].

Кількість секцій або біофільтрів повинне бути не менш двох.

Стічні води розподіляються по поверхні біофільтра розбризкувачами, зрошувачами й іншими пристроями.

**Краплинні біофільтри** застосовуються для повного біологічного очищення на станціях продуктивністю до 1000 м<sup>3</sup>/доб. Краплинний біофільтр складається з фільтруючої загрузки, дренажу і розподільних пристроїв. Повітря надходить природнім шляхом: зверху – через відкриту поверхню, знизу – через дренаж.

Стічні води, освітлені в первинних відстійниках, самопливом або під напором через дозуючі пристрої періодично подаються на поверхню біофільтра. Вода, що проходить крізь товщу фільтруючого матеріалу, через дірчасте дно (дренаж) стікає на суцільне водонепроникне дно і збирається потім у відвідні лотки. Далі вода надходить у вторинні відстійники, де відбувається відділення біоплівки від очищених стічних вод.

Ефективність очищення стічних вод нормально працюючими краплинними біофільтрами дуже висока і може досягати по БСК<sub>повне</sub> 90 % і більше.

На краплинні біофільтри допускається подавати стічні води БСК<sub>повне</sub> не більше 220 мг/л. При більшій концентрації передбачається рециркуляція. Необхідність рециркуляції перевіряється розрахунком також і для стічних вод з концентрацією по БСК<sub>повне</sub>  $\leq 220$  мг/л.

Окисна потужність біофільтрів коливається в широких межах, тому що залежить від складу стічних вод, температури  $T_w$ , гідравлічного навантаження ( $q_{bf} = 1 \dots 3 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{доб})$ ), робочої висоти біофільтра ( $H_{bf} = 1,5 \dots 2 \text{ м}$ ) і способу подачі повітря. Гідравлічне навантаження визначається в залежності від співвідношення:

$$K_{bf} = \frac{L_{en}}{L_{ex}}, \quad (1)$$

де  $L_{en}$  і  $L_{ex}$  - БСК<sub>повн</sub> стічної рідини, яка надходить на біофільтр, і очищеної стічної води, мг/л. Звичайно  $L_{ex}$  приймається 15 мг/л.

Загальна площа загрузки біофільтру:

$$F_{bf} = \frac{Q}{q_{bf}}, \quad (2)$$

де  $Q$  - розхід стічних вод,  $\text{м}^3/\text{доб}$ .

Висота шару загрузки краплинного біофільтра приймається в межах 1,5-2 м. Знаючи площу і висоту шару загрузки, можна визначити її об'єм.

Розроблені типові проекти біофільтрів різних розмірів.

Параметри краплинних біофільтрів  $F_{bf}$ ,  $q_{bf}$  визначаються за СНиП відповідно до заданої розрахункової температури стічних вод  $T_w$  і обчисленим значенням коефіцієнту  $K_{bf}$ . Загальна площа біофільтрів визначається за формулою (2) в залежності від добового розходу стічних вод і прийнятого по табл. 1 (Додаток А) гідравлічного навантаження. Якщо обчислене значення коефіцієнту  $K_{bf}$  перевищує значення, приведені в табл. 1 для заданої температури стічних вод, необхідно передбачати рециркуляцію. Краплинні біофільтри з рециркуляцією розраховуються в тій же послідовності, що і розрахунок високонавантажених біофільтрів.

Отриману розрахунком загальну площу біофільтрів поділяють на окремі секції. Число і розміри секцій біофільтрів залежать від способу розподілу стічної води по поверхні, умов їх експлуатації та ін. Однак площа окремих секцій біофільтрів не повинна перевищувати  $1000 \text{ м}^2$ .

Кількість надлишкової біоплівки, яка утворюється на станціях очищення з краплинними біофільтрами визначається в залежності від норми на 1 чол., що складає 8 г по сухій речовині в добу, і вологості плівки 96 %.

***Розрахунок краплинних біофільтрів виконують наступним способом.***

- 1. Визначають коефіцієнт  $K_{bf}$  за формулою(1).*
- 2. За заданою середньою зимовою температурою стічної води  $T_w$  визначають  $K_{bf}$  по табл. 1, задаючи висоту біофільтра  $H_{bf}$  і гідравлічне навантаження  $q_{bf}$ . Робочу висоту біофільтра  $H_{bf}$  звичайно приймають 1,5-2 м, а гідравлічне навантаження в межах 1-3  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$ . Якщо БСК<sub>повне</sub> стічної рідини, яка надходить до очисних споруд, більше 220 мг/л, то вводиться рециркуляція. Знаючи розрахунковий розхід стічних вод  $Q$ ,  $\text{м}^3/\text{доб}$ , і гідравлічне навантаження  $q_{bf}$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$ , визначають загальну площу біофільтрів  $F_{bf}$ ,  $\text{м}^2$  за формулою (2).*

**Високонанвантажені біофільтри (аерофільтри)** використовуються на станціях продуктивністю до 50000  $\text{м}^3/\text{доб}$  для повного або часткового очищення стічних вод. Аерофільтри відрізняються від краплинних висотою загрузки фільтруючого матеріалу і застосуванням штучної вентиляції.

Поверхня аерофільтру зрошується рухомим реактивним зрошувачем або спринклерами. На відвідних лотках улаштовується водяний затвор висотою 0,2-0,25 м, який щільно закриває міждонний простір з усіх боків. Повітря у міждонний простір подають вентиляторами.

Ступінь очищення в аерофільтрах залежить від висоти фільтруючої загрузки, температури стічної рідини  $T_w$ , питомої кількості подаваного повітря  $q_a$  і гідравлічного навантаження  $q_{af}$ . Максимальна БСК<sub>повне</sub> для стічних вод, подаваних на аерофільтри, 300 мг/л. Стічні води більшої концентрації по БСК<sub>повне</sub> варто розбавляти очищеними стічними водами (робити рециркуляцію).

Аерофільтри завантажуються сипучими (гравій, шлак, керамзит, галька й ін.) і зблокованими (піноскло, шифер і ін.) фільтруючими матеріалами. Такі фі-

льтри розраховуються відповідно до вимог СНиП по табл.2 (Додаток А), де приведені значення  $K_{af}$  для відповідних температур стічних вод, робочих висот біофільтрів, кількості подаваного повітря і гідравлічних навантажень.

**Розрахунок аерофільтрів виконують наступним способом.**

1. Коефіцієнт  $K_{af}$  визначають за формулою (1).

2. Потім за отриманим значенням  $K_{af}$  з табл. 2 ( для даної середньозимової температури стічних вод знаходять значення  $H_{af}$ ,  $q_{af}$  і  $q_a$ .

Якщо отримане значення  $K_{af}$  відрізняється від значень, приведених у табл.2, то для очищення без рециркуляції варто приймати  $H_{af}$ ,  $q_{af}$  і  $q_a$  по найближчому більшому значенню  $K_{af}$ , а для очищення з рециркуляцією – по меншому (установлювати техніко-економічним розрахунком). БСК<sub>повне</sub> суміші стічних вод, припустиме для подачі на аерофільтр визначається за формулою:

$$L_{mix} = K_{af} L_{ex} . \quad (3)$$

При БСК<sub>повне</sub> вихідних стічних вод, яке перевищує 300 мг/л, варто приймати  $K_{af} = 300/L_{ex}$ . Якщо в таблиці присутні значення  $K_{af} \geq 300/L_{ex}$ , приймають  $L_{mix} = 300$  мг/л. Якщо зазначених значень  $K_{af}$  у таблиці немає, варто приймати менше значення  $K_{af}$ , визначаючи по ньому значення  $L_{mix}$ .

3. Якщо  $L_{mix}$  обчислена за формулою (3), більше  $L_{en}$ , то рециркуляція не потрібна.

Знаючи  $L_{mix}$  і БСК<sub>повне</sub> стічної рідини, яка надходить до очисних споруд,  $L_{en}$ , г/м<sup>3</sup>, обчислюють необхідний коефіцієнт рециркуляції за формулою:

$$K_{rc} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{en}} , \quad (4)$$

де  $K_{rc}$  - відношення рециркуляційного розходу до розходу стічної рідини (рециркуляційне відношення).

4. Потім визначають загальну площу біофільтрів за формулою:

$$F_{af} = \frac{Q(K_{rc} + 1)}{q_{af}} , \text{ м}^2 . \quad (5)$$

де  $Q$  – середньодобове надходження стічної рідини, м<sup>3</sup>;

$q_{af}$  - навантаження, м<sup>3</sup>, стічних вод на 1м<sup>2</sup> площі аерофільтра в добу.



У випадку відсутності рециркуляції загальну площу аерофільтра обчислюють за формулою:

$$F_{af} = \frac{Q}{q_{af}}, \text{ м}^2. \quad (6)$$

5. В залежності від прийнятої висоти загрузки фільтруючого матеріалу  $H_{af}$  і отриманої площі аерофільтра обчислюється об'єм фільтруючого матеріалу:

$$V_{af} = H_{af} F_{af}, \text{ м}^3. \quad (7)$$

Гідравлічне навантаження на  $1 \text{ м}^2$  аерофільтрів приймається від 10 до 30  $\text{м}^3/\text{доб}$  і перевіряється за формулою (6). Якщо  $q_{af}$  менше  $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$ , то варто збільшити рециркуляційне відношення або зменшити висоту біофільтра.

Необхідний питомий розхід повітря  $q_a$  приймається рівним 8-12  $\text{м}^3/\text{м}^2$  з врахуванням рециркуляційного розходу.

Кількість біоплівки, яка виноситься з аерофільтрів, приймається 28 г по сухій речовині на людину в добу, вологість – 96%.

## 1.2. Завдання до практичної частини.

### 1.2.1. Приклади розв'язання задач.

Розв'язання практичних задач основане на застосуванні формул і співвідношень, приведених в теоретичній частині цього розділу.

#### Задача 1. (Розрахунок краплинного біофільтра)

Розхід стічних вод  $Q = 860 \text{ м}^3/\text{доб}$ ;  $L_{en} = 190 \text{ мг/л}$ ;  $L_{ex} = 18 \text{ мг/л}$ . Середньозимова температура стічних вод  $T_w = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### Розв'язок.

Обчислюємо

$$K_{bf} = \frac{L_{en}}{L_{ex}} = \frac{190}{18} = 10,5.$$

По табл. 1 в залежності від середньозимової температури стічних вод  $T_w = 12 \text{ }^\circ\text{C}$  і висоти біофільтра  $H_{bf}$ , що дорівнює 2 м, знаходимо найближче більше значення  $K_{bf}$ , рівне 10,7. При цьому гідравлічне навантаження  $q_{bf} = 2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$ .

Площа біофільтра

$$F_{bf} = \frac{Q}{q_{bf}} = \frac{860}{2} = 430 \text{ м}^2.$$

Приймаються типові біофільтри прямокутної форми, які складаються з 4-х секцій розміром 9x12 м і висотою 2 м. Площа однієї секції  $F_{bf} = 103 \text{ м}^2$ , а об'єм  $V_{bf} = 216 \text{ м}^3$ .

Дійсне навантаження на біофільтр

$$q_{bf} = \frac{Q}{F_{bf}} = \frac{860}{432} = 1,99 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб}).$$

## Задача2. (Розрахунок аерофільтрів).

На аерофільтри стічні води надходять із БСК<sub>повне</sub>  $L_{en} = 340 \text{ мг/л}$ . Їх можна випускати у водойму з БПК після очищення  $L_{ex} = 15 \text{ мг/л}$ . Середньозимова температура стічних вод  $14 \text{ }^\circ\text{C}$ . Середньодобовий розхід стічних вод  $18000 \text{ м}^3/\text{доб}$ .

### Розв'язок.

БСК<sub>повне</sub> = 340 мг/л, що більше 300 мг/л. Тому необхідно передбачити рециркуляцію, прийнявши  $L_{mix} = 300 \text{ мг/л}$ .

Визначаємо

$$K_{af} = \frac{L_{mix}}{L_{ex}} = \frac{300}{15} = 20.$$

По табл. 2 (Додаток А) для температури стічних вод  $14 \text{ }^\circ\text{C}$  вибираємо найближче до обчисленого значення  $K_{af}$ , що дорівнює 23,1 при  $H_{af} = 4 \text{ м}$ ,  $q_a = 12 \text{ м}^3/\text{м}^3$  і  $q_{af} = 10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$ .

Коефіцієнт рециркуляції

$$K_{rc} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{ex}} = \frac{340 - 300}{300 - 15} = 0,14.$$

Обща площа аерофільтрів

$$F_{af} = \frac{Q(K_{rc} + 1)}{q_{af}} = \frac{18000(0,14 + 1)}{10} = 2052 \text{ м}^2.$$

Для подачі повітря в аерофільтри в приміщенні між аерофільтрами передбачається пристрій вентиляційної камери з вентиляторами.

Приймається три типових аерофільтра діаметром 30 м, висотою 4 м, загальною площею 2120 м<sup>2</sup>. Уточнюємо коефіцієнт рециркуляції:

$$K_{rc} = \frac{q_{af} F_{af}}{Q} - 1 = \frac{10 \cdot 2120}{18000} - 1 = 0,18 .$$

Загальний об'єм фільтруючого матеріалу

$$V_{af} = 4 \cdot 2120 = 8480 \text{ м}^3 ,$$

де  $H_{af} = 4$  м.

Питомий розхід повітря, згідно табл. 2, приймається рівним 12 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Необхідна кількість повітря

$$Q_{air} = q_a Q (1 + K_{rc}) = 12 \cdot 18000 \cdot 1,18 = 254880 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

### 1.2.2. Завдання для самостійного розв'язання.

#### Завдання 1.

Розрахувати краплинний біофільтр при середньодобовому розході стічних вод  $Q = 950 \text{ м}^3/\text{доб.}$  БСК<sub>повн</sub> вод, які надходять на очисні споруди  $L_{ен} = 230 \text{ мг/л}$ ; БСК<sub>повн</sub> очищених вод, необхідне для випуску у водойму,  $L_{ех} = 18 \text{ мг/л}$ . Середня зимова температура стічних вод 12 °С.

#### Завдання 2.

Розрахувати біофільтр з високим навантаженням (аерофільтр), якщо на споруди поступають стічні води з БСК<sub>повн</sub>  $L_{ен} = 330 \text{ мг/л}$  і середньозимовою температурою 12 °С. У водойму допускається випускати очищені води с БСК<sub>повн</sub> після очистки  $L_{ех} = 15 \text{ мг/л}$ . Середньодобовий розхід стічних вод 17000 м<sup>3</sup>/доб.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2.

**Тема: Теоретичний розрахунок аеротенків при проектуванні очисних споруд.**

### 2.1. Теоретичні положення.

В аеротенках відбувається біохімічне окислювання органічних речовин стічних вод мікроорганізмами, які складають основну частину активного мулу, і киснем повітря.

Аеротенк - це резервуар, у якому повільно рухається суміш активного мулу і стічних вод. Для нормальної життєдіяльності мікроорганізмів в аеротенк повинен безупинно надходити кисень. У зв'язку з цим суміш стічних вод з активним мулом безупинно аерується.

Активний мул являє собою біоценоз мікроорганізмів - мінералізаторів, здатних сорбувати на своїй поверхні й окисляти органічні речовини стічних вод. Якість активного мулу залежить від повноти попереднього відстоювання стічних вод, виду органічних забруднень, повноти їх мінералізації, інтенсивності і тривалості аерації і т.д. На якість активного мулу впливає також навантаження, яке виражається кількістю вилучених зі стічних вод забруднень по  $BCK_{повне}$ , що приходяться на 1 г беззольної речовини активного мулу на добу.

Якісний активний мул здатний добре і швидко осідати. Така здатність оцінюється муловим індексом, що представляє собою об'єм активного мулу в кубічних сантиметрах після відстоювання протягом 30 хв, віднесений до 1 г сухої речовини мулу. Муловий індекс при нормальному стані активного мулу для міських стічних вод не перевищує –  $130 \text{ см}^3/\text{г}$ . Якщо його значення більше, відстоювання мулової суміші у вторинних відстійниках відбувається повільно і спостерігається значний винос мулу. Це може привести до зменшення кількості активного мулу в аеротенках і порушенню процесів очищення.

Тривалість аерації побутових стічних вод звичайно не перевищує 12 год. З аеротенків суміш стічних вод з активним мулом надходить у вторинні відстій-

ники для вилучення з води активного мулу (вторинне відстоювання). Мул, що осідає у вторинних відстійниках, частково повертається в аеротенки (циркулюючий активний мул), а надлишок (надлишковий активний мул) піддається подальшій обробці.

Аеротенки можуть працювати по одноступінчатих і двоступінчастих схемах, а для виробничих стічних вод і по тріступінчастим. Аеротенки-змішувачі застосовуються при очищенні міських стічних вод з домішкою значної кількості промислових стічних вод, які містять токсичні органічні речовини в межах, що допускаються, СНиП [8].

Аеротенки, що діють за принципом витискувачів, застосовуються при відсутності залпових надходжень токсичних речовин, а також на другій ступіні двоступінчастих схем.

Комбіновані споруди типу аеротенків-відстійників (аероакселатори, окситенки, флототенки, аеротенки-освітлювачі, баштові та ін.) при техніко-економічному обґрунтуванні допускається застосовувати на будь-якій ступіні біологічного очищення СНиП [8].

При БСК<sub>повне</sub> води, яка надходить в аеротенки, понад 150 мг/л, а також при наявності у воді шкідливих виробничих домішок, передбачається регенерація активного мулу.

Аеротенки дозволяють одержувати високий ступінь очищення стічних вод з доведенням вмісту органічних речовин в очищених стічних водах по БСК<sub>повне</sub> до 15 мг/л.

Місткість аеротенків визначається за середньогодинним надходженням води за період аерації в години максимального надходження стічної води. Розхід циркулюючого активного мулу при розрахунку місткості аеротенків без регенераторів і вторинних відстійників не враховується.

При проектуванні аеротенків визначається період аерації в залежності від принципу їх роботи і наявності регенерації активного мулу.

Степінь рециркуляції активного мулу  $R_i$  (частках одиниці) в аеротенках розраховується за формулою:

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{I_i} - a_i}, \quad (8)$$

де  $a_i$  – доза мулу в аеротенку, г/л, обумовлена техніко-економічним розрахунком з урахуванням роботи вторинних відстійників;

$I_i$  – муловий індекс, см<sup>3</sup>/г.

Приведена формула справедлива при  $I_i \leq 175$  см<sup>3</sup>/г і  $a_i$  до 5 г/л. При великих значеннях  $I_i$  для визначення  $R_i$  необхідно використовувати дані науково-дослідних організацій. Величина  $R_i$  повинна бути не менше 0,3 для вторинних відстійників з мулососами, 0,4 – з мулоскребачами, 0,6 – при самопливному видаленні мулу СНиП [8]. Муловий індекс визначається експериментально при розведенні мулової суміші до 1 г/л у залежності від навантаження на мул. Для міських стічних вод  $I_i$  у залежності від навантаження має наступні значення:

$q_i$ , мг/год на добу	100	200	300	400	500	600
$I_i$ , см <sup>3</sup> /г	130	100	70	80	95	130

Для інших видів стічних вод значення мулового індексу знаходять за даними табл. 3 (Додаток Б).

Навантаження на мул  $q_i$ , мг БСК<sub>повне</sub> на 1 г беззольної речовини мула на добу, визначається за формулою :

$$q_i = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_i(1-s)t_a}, \quad (9)$$

де  $t_a$  – період аерації стічних вод, год;

$a_i$  - доза мулу в аеротенку.

Доза мулу в аеротенках у залежності від БСК<sub>повне</sub> для міських стічних вод при відсутності даних наукових досліджень може бути прийнята згідно табл. 4 (Додаток Б).

**Одноступінчаті аеротенки** без регенерації застосовуються при БСК<sub>повн</sub> стічних вод 150 мг/л і менше, а з регенерацією – більше 150 мг/л і при наявності шкідливих промислових домішок у воді. БСК<sub>повне</sub> стічних вод після очищення в аеротенках цього типу знижується до 15 мг/л.

Місткість аеротенку визначається по добутку розходу стічних вод на тривалість аерації. Тривалість аерації в аеротенках-витискувачах без регенерації визначається за формулою:

$$t_{atv} = \frac{1 + \varphi a_i}{\rho_{\max} C_{oai}(1-s)} [(C_o + K_o)(L_{mix} - L_{en}) + K_l C_o \times \ln \frac{L_{en}}{L_{ex}}] K_p, \quad (10)$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу, прийнятий рівним 0,07 л/г для міських стічних вод;

$\rho_{\max}$  - максимальна швидкість окислювання, прийнята за даними науково-дослідних організацій, для міських стічних вод дорівнює 85 мг БСК<sub>повн</sub> г у годину;

$s$  - зольність мулу, прийнята для міських стічних вод рівною 0,3;

$C_o$  - концентрація розчиненого кисню, мг/л (у першому наближенні допускається приймати рівною 2 мг/л і уточнювати на підставі техніко-економічних розрахунків з урахуванням періоду аерації і питомої швидкості окислювання);

$K_o$  - константа, яка характеризує властивості органічних забруднюючих речовин і прийнята для міських стічних вод рівною 0,625 мг О<sub>2</sub>/л;

$K_l$  - константа, яка характеризує властивості органічних забруднень, мг БСК<sub>повн</sub>/л;

$L_{mix}$  - БСК<sub>повне</sub>, обумовлена з урахуванням розведення рециркуляційним розходом:

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex} R_i}{1 + R_i}, \quad (11)$$

тут  $R_i$  - степінь рециркуляції активного мулу, яку визначають по формулі (99);

$K_p$  - коефіцієнт, що враховує вплив подовжнього перемішування (при біологічному очищенні до  $L_{ex} = 15$  мг/л  $K_p = 1,5$ ; при  $L_{ex} > 30$  мг/л  $K_p = 1,25$ ).

Для міських и деяких видів виробничих стічних вод величини  $\rho_{\max}$ ,  $K_l$ ,  $K_o$ ,  $\varphi$  слід приймати по табл 5 (Додаток Б).

При проектуванні аеротенків-витискувачів необхідно враховувати, що режим витиснення забезпечується при відношенні довжини коридорів  $l$  до шири-

ни  $b$  більше 30. Якщо  $l/b < 30$ , необхідно передбачати секціонування коридорів з числом секцій – п'ять-шість.

В аеротенках-змішувачах період аерації  $t_{atm}$  визначається за формулою:

$$t_{atm} = \frac{Len - Lex}{a_i(1-s)\rho}, \quad (12)$$

де  $\rho$  - питома швидкість окислювання, мг БСК<sub>повне</sub> на 1 г беззольної речовини мулу в 1 год, яка визначається по формулі:

$$\rho = \rho_{\max} \frac{LexCo}{LexCo + KiCo + KoLex} \cdot \frac{1}{1 + \varphi a_i}; \quad (13)$$

інші позначення ті ж, що й у формулах (10), (11).

Розраховуючи час аерації і питому швидкість окислювання, варто враховувати, що приведені формули справедливі при середньорічній температурі стічних вод 15 °С. При іншій середньорічній температурі стічних вод  $T_w$  тривалість аерації повинна бути помножена на відношення 15/ $T_w$ .

В усіх випадках тривалість аерації повинна бути не менш 2 год.

При концентрації забруднень у стічних водах по БСК<sub>повне</sub> більше 150 мг/л проектується аеротенки з регенераторами. Тривалість окислювання органічних забруднюючих речовин  $t_o$ , год:

$$t_o = \frac{Len - Lex}{Ri a_r(1-s)\rho}, \quad (14)$$

де  $a_r$  – доза мулу в регенераторі, г/л

$$a_r = a_i \left( \frac{1}{Ri} + 1 \right), \quad (15)$$

тут  $\rho$  - питома швидкість окислювання, яка визначається по формулі (104) при дозі мулу в регенераторі  $a_r$ .

Тривалість обробки води в аеротенку, год:

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{Len}{Lex}. \quad (16)$$

Тривалість регенерації активного мулу в регенераторі, год:

$$t_r = t_o - t_{at}. \quad (17)$$



Місткість аеротенка,  $m^3$ , визначається в залежності від розрахункового розходу стічних вод  $q_w$ ,  $m^3/год$ , і часу обробки:

$$W_{at} = t_{at} (1 + R_i) q_w . \quad (18)$$

Місткість регенераторів

$$W_r = t_r R_i q_w . \quad (19)$$

Для аеротенків і регенераторів приймаються: число секцій – не менше двох; робоча глибина – 3-6 м, більше – при обґрунтуванні; відношення ширини коридору до робочої глибини – від 1:1 до 2:1.

Приріст активного мулу в аеротенках, мг/л, визначається за формулою:

$$P_i = 0,8C_{cdp} + K_g L_{en} , \quad (20)$$

де  $C_{cdp}$  – концентрація суспендованих речовин у стічних водах, що надходять в аеротенки, мг/л;

$K_g$  - коефіцієнт приросту (для міських і близьких до них по складу виробничих стічних вод  $K_g = 0,3$ ; при очищенні стічних вод в окситенках  $K_g = 0,25$ ).

Аерування стічних вод в аеротенках здійснюється за допомогою аераторів наступних видів: *дрібнопузирчастих* - пористі керамічні і пластмасові матеріали (фільтросні пластини, труби, дифузори) і синтетичні тканини; *середньопузирчастих* - труби щілинні і дірчасті; *крупнопузирчастих* - труби з відкритим кінцем; *механічних і пневмомеханічних; струминних* .

Питома витрата повітря  $q_{air}$ ,  $m^3/m^3$  очищеної води, при пневматичній системі аерації визначається за формулою:

$$q_{air} = \frac{q_o(L_{en} - L_{ex})}{K_1 K_2 K_T K_3 (C_a - C_o)} , \quad (21)$$

де  $q_o$  – питома витрата кисню повітря, мг на 1 мг знятої БСК<sub>повнс</sub>, приймається при очищенні до БСК<sub>повн</sub> 15-20 мг/л – 1,1, при очищенні до БСК<sub>повн</sub> понад 20 мг/л – 0,9;

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує тип аератора і приймається для дрібнопузирчастої аерації в залежності від співвідношення площ аеруємої зони й аеротенку  $f_{az} / f_{at}$  ;

$f_{az}/f_{at}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1
$K_1$	1,34	1,47	1,68	1,89	1,94	2	2,13	2,3
$J_{a,max}$ м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ГОД)	5	10	20	30	40	50	75	100

для середньопузирчастої та низьконапірної -  $K_1 = 0,75$ ;

$K_2$  – коефіцієнт, який залежить від глибини занурення аератора  $h_a$ :

$h_a$ , м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	3	4	5	6
$K_2$	0,4	0,46	0,6	0,8	0,9	1	2,08	2,52	2,92	3,3
$J_{a,min}$ м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ГОД)	48	42	38	32	28	24	4	3,5	3	2,5

$K_T$  - коефіцієнт, який враховує температуру стічних вод,

$$K_T = 1 + 0,02(T_w - 20), \quad (22)$$

тут  $T_w$  - середньомісячна температура води за літній період;

$K_3$  - коефіцієнт якості води, прийнятий для міських стічних вод 0,85; при наявності СПАВ приймається в залежності від співвідношення  $f_{az}/f_{at}$  :

$f_{az}/f_{at}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1
$K_3$	0,59	0,59	0,64	0,66	0,72	0,77	0,88	0,99

для виробничих стічних вод - за дослідними даними, при їх відсутності допускається приймати  $K_3 = 0,7$ ;

$C_a$  - розчинність кисню повітря у воді, яка визначається за формулою:

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) C_T, \quad (23)$$

де  $h_a$  - глибина занурення аератора;

$C_T$  - розчинність кисню у воді, прийнята по табл. 6 (Додаток Б);

$C_o$  - середня концентрація кисню в аеротенці, мг/л; у першому наближенні можна приймати 2 мг/л, уточнюючи потім це значення на основі техніко-

економічних розрахунків з урахуванням часу аерації і питомої швидкості окислювання.

При визначенні площі аеруємої зони для пневматичних аераторів до неї включаються проsvіти між аераторами до 0,3м.

Інтенсивність аерації  $J_a$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , визначається за формулою:

$$J_a = \frac{q_{air} H_{at}}{t_a}, \quad (24)$$

де  $q_{air}$  - питома витрата повітря,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;

$H_{at}$  - робоча глибина аеротенка, м;

$t_a$  - тривалість аерації, год.

Якщо обчислена інтенсивність аерації вище  $J_{a,max}$  для прийнятого значення  $K_1$ , необхідно збільшити площу аеруємої зони; якщо вона менше  $J_{a,min}$  для прийнятого значення  $K_2$  варто збільшити витрату повітря.

**Двоступінчасті аеротенки з регенерацією і без регенерації активного мулу** застосовуються при необхідності повного очищення висококонцентрованих стічних вод з початковою БСК<sub>повне</sub> 250 і більше і кінцевою 15-50 мг/л, а також при наявності у воді речовин, швидкість окислювання яких різко відрізняється.

В аеротенках першої ступіні завершується перша стадія очищення - абсорбція органічних речовин активним мулом і мінералізація лише частини, яка найбільш легко окислюється, що звичайно дозволяє знизити початкову БСК<sub>повн</sub> на 50-70%. З аеротенків першої ступіні частково очищена стічна вода направляється на доочищення в аеротенки другої ступіні.

Особливістю ступінчастого очищення стічних вод є те, що в кожній ступіні аеротенків поступово розвивається специфічна культура мікроорганізмів найбільш пристосованих до існування в даних умовах, що забезпечує високу ефективність роботи аеротенків. Тому загальна місткість двоступінчастих аеротенків на одиницю стічних вод, які очищаються, буде менше в порівнянні з місткістю звичайних аеротенків.

Двоступінчасті аеротенки можуть проектуватися як без регенераторів, так і з регенераторами.

Регенератори передбачаються для кожної ступіні аеротенків з подачею активного мулу. Для першої ступіні аеротенків регенератори звичайно передбачаються об'ємом 50%. Активний мул другої ступіні по кількості забруднень виявляється менш навантаженим, у зв'язку з чим рекомендується направляти його надлишок після регенерації в аеротенки першої ступіні і далі разом з надлишковим мулом першої ступіні на подальшу обробку.

Місткість аеротенків і регенераторів визначається за середньогодинним надходженням стічних вод.

Питома витрата повітря для аеротенків першої ступіні визначається так само, як і для аеротенків при частковому очищенні стічних вод, для аеротенків другої ступіні - як для аеротенків при повному очищенні стічних вод. Розхід циркулюючого активного мулу приймається рівним 30-40% середнього надходження стічних вод у кожній ступіні.

Сумарна кількість надлишкового активного мулу після двоступінчастого очищення розраховується як для аеротенків з доведенням БСК<sub>повн</sub> очищеної стічної рідини до 15 мг/л (65% для першої ступіні і 35% для другої).

Надлишковий активний мул направляється на ущільнення у мулоущільнювач. Вологість ущільненого активного мулу приймається рівною 95-98% у залежності від тривалості ущільнення.

Необхідна кількість повітря і геометричні розміри двоступінчастих аеротенків розраховуються за тими же формулами, що і розрахунок одноступінчастих аеротенків.

При проектуванні двоступінчастих аеротенків будова вторинних відстійників передбачається після кожної ступіні очистки.

У первинних відстійниках перед двоступінчастими аеротенками час відстоювання приймається рівним 1 год. З метою економії матеріалів, скорочення числа комунікацій і площі рекомендується застосовувати двоступінчасті аеротенки, конструктивно поєднані з відстійниками першої і другої ступіней, тобто аеротенки-відстійники.

**Аеротенки-відстійники** застосовуються на станціях продуктивністю до 50000 м<sup>3</sup>/доб, при цьому БСК<sub>повн</sub> очищених стічних вод складає 15 мг/л.

Аеротенк-відстійник - прямокутний або круглий у плані резервуар, розділений перегородкою, яка не доходить до дна, на два відділення: аераційне і відстійне. До аераційного відділення стічна рідина підводиться розосереджено, потім вона змішується з активним мулом, очищається і далі надходить у відстійне відділення. Тут стічна рідина проходить крізь шар зваженого активного мулу. Аеротенк-відстійник може працювати з підвищеними дозами активного мулу (до 4-5 г/л).

При розрахунку аеротенка-відстійника необхідно визначити загальну тривалість аерації стічної рідини за формулою (12).

Площа зони відстоювання обчислюється, виходячи з гідравлічної навантаження на муловіддільник.

## **2.2. Завдання до практичної частини.**

### **2.2.1. Приклади розв'язання задач.**

Розв'язання практичних задач ґрунтується на застосуванні формул і співвідношень, наведених в теоретичній частині цього розділу.

#### **Задача 1. (Розрахунок аеротенка-змішувача без регенератора).**

Розрахувати аеротенк-змішувач для очищення міських стічних вод  $Q_w = 30000$  м<sup>3</sup>/доб; при рівномірному їх надходженні  $q_w = 1250$  м<sup>3</sup>/год,  $L_{en} = 150$  мг/л,  $L_{ex} = 15$  мг/л, середньорічна температура стічних вод  $T_w = 15$  °С, літня  $T_w = 20$  °С. Проектується аеротенк-змішувач без регенератора.

#### **Розв'язок.**

Визначимо питому швидкість окислювання по формулі (13), прийнявши по СНиП наступні значення констант:  $\rho_{\max} = 85$  мг БСК<sub>повн</sub> (г·год),  $K_l = 33$  мг/л,  $K_o = 0,625$  мг/л,  $\varphi = 0,07$  л/г,  $s = 0,3$ .

Приймаємо дозу мулу  $a_i = 2$  г/л і  $3 = 2$  мг/л.

Тоді

$$\rho = 85 \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 2} = 21,3 \text{ мг/(Г·ГОД)}.$$

Період аерації по формулі (27):

$$t_{atm} = \frac{150 - 15}{2(1 - 0,3)21,3} = \frac{135}{29,72} = 4,54 \text{ год.}$$

Місткість аеротенка

$$W_{atm} = 1250 \cdot 4,54 = 5675 \text{ м}^3.$$

Питомий розхід повітря визначаємо за формулою (21) з урахуванням констант  $q_a = 1,1$ ,  $K_1 = 2,13$ ,  $J_{a,max} = 75$ ,  $K_2 = 2,52$ ,  $h_a = 4$  м,  $J_{a,min} = 3,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ,  $K_3 = 0,85$ ,  $K_T = 1$  (тому як середньомісячна температура води за літній період дорівнює  $20^\circ\text{C}$ ),  $C_T = 8,67 \text{ мг/л}$ ,

$$C_a = \left(1 + \frac{4}{20,6}\right) 8,67 = 10,35 \text{ мг/л.}$$

Тоді

$$q_{air} = \frac{1,1(150 - 15)}{2,13 \cdot 2,52 \cdot 1 \cdot 0,85(10,35 - 2)} = \frac{148,5}{38,1} = 3,9 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Звідси

$$J_a = \frac{3,9 \cdot 4}{4,54} = 3,44 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Отримана величина декілька менше  $J_{a,min}$ , тому приймаємо  $J_a = 3,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , тоді питомий розхід повітря:

$$q_{air} = \frac{J_{atm}}{H_{at}} = \frac{3,5 \cdot 4,54}{4} = 3,97 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Загальний розхід повітря:

$$Q_{air} = Q_w q_{air} = 30000 \cdot 3,97 = 119100 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Площа аеротенку при інтенсивності аерації  $J_a = 3,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ :

$$F = \frac{Q_{air}}{24 J_a} = \frac{119100}{24 \cdot 3,5} = 1418 \text{ м}^2.$$

Площа аеротенку по знайденому об'єму робочої глибини:

$$F_{atm} = \frac{W_{atm}}{H_{atm}} = \frac{5675}{4} = 1418,75 \text{ м}^2,$$

що відповідає площі, отриманої по інтенсивності аерації.

## Задача 2. (Розрахунок аеротенка-витискувача з регенератором).

Розрахувати аеротенк-витискувач з регенератором. Розрахунковий годинний розхід стічних вод  $q_w = 4200 \text{ м}^3/\text{год}$ , БСК<sub>повн</sub> вихідної води -  $L_{en} = 250 \text{ мг/л}$ .

### Розв'язок.

По формулі (8) визначаємо степінь рециркуляції, де в першому наближенні приймаємо  $J_i = 100 \text{ см}^3/\text{г}$ . Дозу мулу в аеротенці приймаємо орієнтовно  $a_i = 3 \text{ г/л}$ . Тоді

$$R_i = \frac{3}{\frac{1000}{100} - 3} = 0,43.$$

Період перебування в аеротенку визначаємо за формулою (16)

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{3}} \lg \frac{250}{15} = 1,76 \text{ ч. Приймаємо } t_{at} = 2 \text{ ч СНИП [8].}$$

Питому швидкість окислювання розраховуємо по рівнянню (13), де значення констант і коефіцієнтів беремо з таблиці СНИП [8]. Для міських стічних вод  $\rho_{\max} = 85 \text{ мг/(г·год)}$ ,  $K_l = 33 \text{ мг/л}$ ,  $C_o = 0,625 \text{ мг/л}$ ,  $\varphi = 0,07 \text{ л/г}$ ,  $s = 0,3$ .

Концентрацію кисню  $C_o$  приймаємо  $2 \text{ мг/л}$ . Дозу мулу в регенераторі визначаємо за рівнянням (15):

$$a_r = 3\left(\frac{1}{0,43} + 1\right) = 9,98 \text{ г/л};$$

$$\rho = 85 \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 9,98} = 14,22 \text{ мг/(г·год)}.$$

Період окислювання забруднень розраховуємо за формулою (14)

$$t_o = \frac{250 - 15}{0,43 \cdot 9,98(1 - 0,3)14,22} = 5,5 \text{ год.}$$

Період регенерації мулу за формулою (17)

$$t_r = 5,5 - 2 = 3,5 \text{ ч.}$$

Місткість аеротенка за формулою (18)

$$W_{at} = 2(1 + 0,43)4200 = 12012 \text{ м}^3.$$

Місткість регенератора за формулою (19)

$$W_r = 3,54 \cdot 0,43 \cdot 4200 = 6321 \text{ м}^3.$$

Для визначення навантаження на мул необхідно визначити час перебування стічних вод у системі аеротенк-регенератор

$$t = (1 + R_i)t_{at} + R_i t_r = (1 + 0,43)2 + 0,43 \cdot 3,54 = 4,36 \text{ год.}$$

і середню дозу мулу у системі

$$a_{im} = \frac{(1 + R_i)t_{at} a_i + R_i t_r a_r}{t} = \frac{(1 + 0,43)2 \cdot 3 + 0,43 \cdot 3,54 \cdot 9,98}{4,36} = 5,41 \text{ г/л.}$$

За формулою (9) визначаємо навантаження на мул, приймаючи дозу мулу 5,75 г/л,

$$q_i = \frac{24(250 - 15)}{5,41(1 - 0,3)4,36} = 341,6 \text{ мг/(г·доб)}.$$

Для мулу міських стічних вод при  $g_i = 341,6 \text{ мг/(г·доб)}$   $J_i = 75 \text{ см}^3/\text{г}$ . Це значення декілька відрізняється від прийнятого раніше –  $J_i = 100 \text{ см}^3/\text{г}$ .

По формулі (8) з урахуванням скоректованої величини  $J_i = 75 \text{ см}^3/\text{г}$  уточнюємо степінь рециркуляції:

$$R_i = \frac{3}{\frac{1000}{75} - 3} = 0,29, \text{ приймаємо } R_i = 0,3.$$

Це значення значно відрізняється від розрахованого в першому наближенні, тому розрахунок має потребу в уточненні:

$t_{at}$  прийнято рівним 2 год;

$$a_r = \left(\frac{1}{0,3} + 1\right)3 = 13 \text{ г/л};$$

$$\rho = 85 \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 13} = 12668 \text{ мг/(г·год)};$$

$$t_o = \frac{250 - 15}{0,3 \cdot 13(1 - 0,3)12,68} = 6,79 \text{ год};$$

$$t_r = 6,79 - 2 \approx 4,79 \text{ год};$$

$$t = (1 + 0,3)2 + 0,3 \cdot 4,79 = 4 \text{ год.}$$

Місткість аеротенку

$$W_{at} = 2(1 + 0,3)4200 = 10920 \text{ м}^3.$$

Місткість регенератора



$$W_r = 4,79 \cdot 0,3 \cdot 4200 = 6035 \text{ м}^3.$$

Далі уточнене значення  $a_{im}$  за формулою

$$a_{im} = \frac{(1 + 0,3)2 \cdot 3 + 4,79 \cdot 0,3 \cdot 13}{4} = 6,62 \text{ г/л},$$

з урахуванням якого

$$q_i = \frac{24(250 - 15)}{6,62 \cdot 0,7 \cdot 4} = 304,3 \text{ мг/(г·доб)},$$

що несуттєво відрізняється від раніше визначеного значення, так що подальшого коректування розрахунків не потрібно.

### Задача 3. (Розрахунок аеротенка-витискувача без регенератора).

Розрахувати аеротенк-витискувач без регенератора. Вихідні дані для розрахунку: розрахунковий розхід стічних вод  $q_w = 4200 \text{ м}^3/\text{год}$ ; вид стічних вод – міські; БСК<sub>повне</sub> вихідних вод  $L_{en} = 150 \text{ мг/л}$ ; БСК<sub>повне</sub> очищених вод  $L_{ex} = 15 \text{ мг/л}$ .

#### Розв'язок.

За формулою (8), приймаємо муловий індекс у першому наближенні  $J_i = 100$  і дозу мулу  $a_i = 2 \text{ г/л}$ . Визначаємо степінь рециркуляції

$$R_i = \frac{2}{\frac{1000}{100} - 2} = 0,25.$$

Для забезпечення нормального видалення мулу з вторинних відстійників з мулососами приймаємо  $R_i = 0,3$ .

БСК<sub>повне</sub> води, яка надходить у початок аеротенка-витискувача з урахуванням розведення циркуляційним мулом розраховуємо за формулою (11):

$$L_{mix} = \frac{150 + 15 \cdot 0,3}{1 + 0,3} = 119 \text{ мг/л}.$$

Період аерації визначаємо за рівнянням (10), у якому константи і коефіцієнти для розглянутого приклада мають наступні значення:  $\rho_{max} = 85 \text{ мг/(г·год)}$ ,  $K_l = 33 \text{ мг/л}$ ,  $K_o = 0,625 \text{ мг/л}$ ,  $\varphi = 0,07 \text{ л/г}$ ,  $s = 0,3$ . При  $L_{ex} = 15 \text{ мг/л}$  коефіцієнт  $K_p = 1,5$ . Концентрація кисню приймається  $C_o = 2 \text{ мг/л}$ .

Тоді час аерації

$$t_{av} = \frac{1 + 0,07 \cdot 2}{85 \cdot 2 \cdot 2 \cdot (1 - 0,3)} [(2 + 0,625)(119 - 15) + 33 \ln \frac{119}{15}] \times 1,5 = 2,96 \text{ год.}$$

Місткість аеротенка-витискувача з урахуванням рециркуляційного розходу

$$W_{av} = t_{av}(1 + R_i)q_w = 2,96(1 + 0,3)4200 = 16162 \text{ м}^3.$$

Слід уточнити значення мулового індексу по навантаженню на мул, яке розраховується по формулі (9), де для аеротенка-витискувача без регенерації вихідна величина БПК  $L_{en} = L_{mix}$ :

$$q_i = \frac{24(119 - 15)}{2,96 \cdot 2(1 - 0,3)} = 421 \text{ мг/(г·доб)}.$$

При  $q_i = 421 \text{ мг/(г·доб)}$   $I_i = 83 \text{ см}^3/\text{г}$  СНиП [8].

При новому значенні  $I_i$  степінь рециркуляції за формулою (8)

$$R_i = \frac{2}{\frac{1000}{83} - 2} = 0,199.$$

Але для забезпечення нормального видалення мулу із вторинних відстійників слід прийняти  $R_i \geq 0,3$ . Таким чином, подальший розрахунок не потрібен.

## 2.2.2. Завдання для самостійного розв'язання.

### Завдання 1.

Розрахувати аеротенк-змішувач для очищення міських стічних вод  $Q_w = 40000 \text{ м}^3/\text{доб}$ ; при рівномірному їх надходженні  $q_w = 1200 \text{ м}^3/\text{год}$ ,  $L_{en} = 150 \text{ мг/л}$ ,  $L_{ex} = 15 \text{ мг/л}$ , середньорічна температура стічних вод  $T_w = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ , літня  $T_w = 21 \text{ }^\circ\text{C}$ . Проектується аеротенк-змішувач без регенератора.

### Завдання 2.

Розрахувати аеротенк-витискувач з регенератором. Розрахунковий годинний розхід стічних вод  $q_w = 4000 \text{ м}^3/\text{год}$ , БСК<sub>повн</sub> вихідної води -  $L_{en} = 240 \text{ мг/л}$ .

### ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3.

**Тема: Кількісний вихід біогазу при метаногенезі. Теоретичний розрахунок метантенків і виходу біогазу при зброджуванні визначеної сировини.**

#### 3.1. Теоретичні положення.

Метантенки застосовуються для зброджування органічного осаду з відстійників і надлишкового активного мулу. Терміни бродіння визначаються температурою і вологістю осаду. Зброджування осадів у метантенках відбувається в умовах мезофільного (при температурі 33 °С) і термофільного (при температурі 53 °С) процесів. У процесі зброджування в метантенках виділяється газ, що містить головним чином метан, теплотворна здатність якого приблизно дорівнює 24000 кДж/м<sup>3</sup>. Кількість газу, що виділяється, у метантенках залежить від складу осаду.

Для більш точного визначення розпаду беззольної речовини осадів, які завантажуються, варто користатися формулою:

$$R_r = R_{lim} - K_r D_{mt}, \quad (25)$$

де  $R_r$  – розпад беззольної речовини, %;

$$R_{lim} = (0,92C_{fat} + 0,62C_{gl} + 0,34C_{prt}) \cdot 100, \quad (26)$$

тут  $C_{fat}$ ,  $C_{gl}$ ,  $C_{prt}$  - відповідно вміст жирів, вуглеводів і білків у 1 г беззольної речовини осаду, визначений аналізом;

$K_r$  – коефіцієнт, який залежить від вологості осаду (табл.7 (Додаток В));

$D_{mt}$  – доза осаду, який завантажуються, % (табл. 7 (Додаток В)).

При відсутності даних про хімічний склад осаду, який завантажуються в метантенк,  $R_{lim}$  для осадів з первинних відстійників приймається 53%, для надлишкового активного мулу – 44% і для суміші осаду з активним мулом визначається по зваженому співвідношенню змішуваних компонентів по беззольній речовині.

При наявності в стічних водах поверхнево-активних речовин (ПАВ) добова доза завантаження (табл. 7 (Додаток В)) перевіряється за формулою:

$$D_{mt} = \frac{10D_{lim}}{C_{dt}(100 - p_{mud})}, \quad (27)$$

де  $D_{lim}$  - гранично допустиме завантаження робочого об'єму метантенка в добу, г/м<sup>3</sup>, прийнята по СНиП [8];

$C_{dt}$  – вміст ПАВ в осаді, мг/г сухого осаду, прийнятого по експериментальним даним або по СНиП [8];

$P_{mud}$  – вологість осаду, який завантажуються, %.

Якщо обчислена по формулі (27) добова доза  $D_{mt}$  виявиться менше зазначеної в табл. 7 (Додаток В), то об'єм метантенка варто визначати за отриманим значенням  $D_{mt}$ , якщо дорівнює або перевищує – за табличними даними.

Відстань від метантенків до основних споруд станції, автомобільних доріг і залізничних колій – не менш 20 м, до високовольтних ліній – не менш 1,5 висоти опори. Територія метантенків повинна бути обгороджена.

Кількість метантенків приймається не менш двох, при цьому всі метантенки повинні бути робочими.

Масову кількість газу, одержуваного при зброджуванні, слід приймати 1 г на 1 г беззольної речовини завантажуваного осаду, яка розпалася; щільність газу - 1 кг/м<sup>3</sup>.

Після зброджування осаду він обезводнюється на мулових площадках або механічним способом.

При обмеженості території для розміщення мулових площадок у районах із середньорічною температурою повітря не менше 6 °С допускається застосовувати двоступінчасті метантенки. У першій ступіні метантенка відбувається зброджування органічних речовин осаду, у другій – його розшарування й ущільнення з виділенням мулової води.

Застосування двоступінчастих метантенків дозволяє приблизно вдвічі зменшити об'єм осаду за рахунок видалення мулової води. При цьому процес зброджування здійснюється в більш стійкому режимі в умовах нерівномірного надходження стічних вод на очисні споруди.

При двоступінчастій схемі для метантенків першої ступіні приймається мезофільний режим зброджування. Процеси другої ступіні здійснюються звичайно у відкритих резервуарах, які не обігріваються. Місткість другої ступіні метантенків розраховується по дозі добового завантаження, рівної 3-4 %. Вологість осаду, що вивантажується, приймається в залежності від складу зброджуваного осаду: 92 % - при зброджуванні осаду з первинних відстійників і 94 % - суміші осаду з активним мулом з аеротенків на повне очищення.

Друга ступінь метантенків будується з випусками мулової води на різних рівнях по висоті спорудження, збірним приймачем для видалення осаду під гідростатичним напором по муловій трубі.

### **Розрахунок метантенків.**

На підставі ефективності відстоювання зважених речовин у первинних відстійниках  $E$  і початкової концентрації стічних вод, які надходять на споруди, по зважених речовинах  $C_{en}$  визначається кількість осадів у первинних відстійниках (по сухій речовині), т/доб,

$$M_{mud} = \frac{C_{en}EK}{10^6} Q_w, \quad (28)$$

де  $K$  – поправочний коефіцієнт (1,1-1,2), який враховує збільшення кількості осаду за рахунок крупних фракцій суспензії.

Кількість надлишкового активного мулу по сухій речовині, т/доб,

$$M_{a.mud} = \left[ \frac{0,8C_{en}(1-E) + K_g L_{en} - a_t}{10^6} \right] Q_w, \quad (29)$$

де  $a_t$  – винос активного мулу із вторинного відстійника мг/л, прийнятий по СНиП або за експериментальними даними;

$L_{en}$  – БСК<sub>повне</sub> стічних вод;

$K_g$  – коефіцієнт приросту.

Кількість абсолютно сухої беззольної речовини у сирому осаді  $M_{mud}^s$  та у надлишковому активному мулі  $M_{a.mud}^s$ , т/доб, можна обчислити за формулами:

$$M_{mud}^s = \frac{M_{mud}(100 - p_g)(100 - s_{mud})}{10^4}; \quad (30)$$

$$M_{a \cdot mud}^s = \frac{M_{a \cdot mud}(100 - p_g')(100 - s_{a \cdot mud})}{10^4}, \quad (31)$$

де  $p_g, p_g'$  - гігроскопічна вологість сирого осаду і надлишкового активного мулу, у середньому рівна 5-6 %;

$s_{mud}, s_{a \cdot mud}$  - зольність абсолютно сухої речовини сирого осаду й активного мулу, рівна 25-27 % (враховується за дослідними даними).

Визначається об'єм сирого осаду  $W_{mud}$  і надлишкового активного мулу  $W_{a \cdot mud}$ ,  $M^3/\text{доб}$ :

$$W_{mud} = \frac{100M_{mud}^s}{(100 - p_{mud})\rho_{mud}}; \quad (32)$$

$$W_{a \cdot mud} = \frac{100M_{a \cdot mud}^s}{(100 - p_{a \cdot mud})\rho_{a \cdot mud}}, \quad (33)$$

де  $p_{mud}$  - вологість сирого осаду (93-95 %);

$p_{a \cdot mud}$  - вологість ущільненого активного мулу по табл. 8;

$\rho_{mud}, \rho_{a \cdot mud}$  - щільність сирого осаду й активного мулу (відповідно 1,08 і 1,03  $t/m^3$ ).

Загальна кількість сирого осаду і надлишкового активного мулу,  $t/\text{доб}$ , визначається за формулами:

за сухою речовиною

$$M_{tot} = M_{mud} + M_{a \cdot mud}; \quad (34)$$

за абсолютно сухою беззольною речовиною

$$M_{tot}^s = M_{mud}^s + M_{a \cdot mud}^s; \quad (35)$$

за об'ємом суміші фактичної вологості,  $m^3/\text{доб}$ ,

$$W_{tot} = W_{mud} + W_{a \cdot mud}. \quad (36)$$

Середня вологість суміші, %, може бути визначена за формулою

$$P_{mix} = 100 \left( 1 - \frac{M_{tot}^s}{W_{tot}} \right). \quad (37)$$

Необхідна розрахункова місткість метантенку,  $m^3$ , обчислюється за формулою

$$V_{mt} = \frac{W_{tot}100}{D_{mt}}, \quad (38)$$

де  $D_{mt}$  – доза завантаження, %, прийнята в залежності від середньої вологості суміші і процесу зброджування згідно з даними, приведеними у табл. 7.

### 3.2. Завдання до практичної частини.

#### 3.2.1. Приклади розв'язання задач.

##### Задача.

Розрахувати метантенки для зброджування сирого осаду з первинних відстійників і надлишкового активного мулу з вторинних при продуктивності станції 55,8 тис.м<sup>3</sup>/доб, концентрації завислих речовин  $C_{en} = 232$  мг/л, ефективності відстоювання в первинних відстійниках  $E = 0,6$ , БСК стічних вод  $L_{en} = 169,4$  мг/л, виносу активного мулу з вторинних відстійників  $a_t = 20$  мг/л.

##### Розв'язок.

Кількість осаду в добу за сухою речовиною:

сирого осаду

$$M_{mud} = \frac{C_{en}EK}{1000} Q_w,$$

де  $C_{en} = 232$  мг/л,  $E = 0,6$ ,  $K = 1$ ,  $Q_w = 55,8$  тис. м<sup>3</sup>/доб;

$$M_{mud} = \frac{232 \cdot 0,6 \cdot 1,2}{1000} 55,8 = 9,32 \text{ т};$$

надлишкового активного мулу

$$M_{a \cdot mud} = \frac{0,8C_{en}(1-E) + 0,3L_{en} - a_t}{10^6} Q_w,$$

де  $a_t = 20$  мг/л;  $L_{en} = 169,4$  мг/л;

$$M_{a \cdot mud} = \frac{0,8 \cdot 232(1-0,6) + 0,3 \cdot 169,4 \cdot 20}{1000} 55,8 = 5,86 \text{ т}.$$

Кількість осаду по абсолютно сухій беззольній речовині на добу при гігроскопічній вологості  $p_g = 6$  та зольності 27%

$$M_{mud}^s = \frac{9,32(100-6)(100-27)}{10^4} = 6,39 \text{ т.}$$

Кількість надлишкового активного мулу

$$M_{a\cdot mud}^s = \frac{5,86 \cdot 94 \cdot 73}{10^4} = 4,02 \text{ т.}$$

Об'єм сирого осаду при вологості 95%

$$W_{mud} = \frac{9,32 \cdot 100}{(100-95)1} = 186,4 \text{ м}^3.$$

Об'єм ущільненого надлишкового активного мулу при вологості 97%

$$W_{a\cdot mud} = \frac{5,86 \cdot 100}{(100-97)1} = 195,3 \text{ м}^3.$$

Загальна кількість осаду на добу:

за сухою речовиною

$$M_{tot} = M_{mud} + M_{a\cdot mud} = 9,32 + 5,86 = 15,18 \text{ т;}$$

за абсолютно сухою беззольною речовиною

$$M_{tot}^s = M_{mud}^s + M_{a\cdot mud}^s = 6,39 + 4,02 = 10,41 \text{ т;}$$

за об'ємом суміші фактичної вологості

$$W_{tot} = W_{mud} + W_{a\cdot mud} = 186,4 + 195,3 = 381,7 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Середня вологість суміші

$$p_{mix} = 100 \left(1 - \frac{M_{tot}}{W_{tot}}\right) = 100 \left(1 - \frac{15,18}{381,7}\right) = 96\%.$$

Приймаємо термофільний режим зброджування, при якому цілком знищуються гелмінти, які знаходяться в осаді. Температура зброджування 53 °С.

Добова доза завантаження осаду в метантенк при вологості осаду 96 % приймається  $D_{mt} = 18 \%$ .

Тоді необхідна місткість метантенків

$$V_{mt} = \frac{W_{tot} \cdot 100}{D_{mt}} = \frac{381,7 \cdot 100}{18} = 2120 \text{ м}^3.$$

Для обробки осаду використовуються два метантенка корисною місткістю 1000 м<sup>3</sup> і діаметром 12,5 м кожний.

Основні розміри метантенків: діаметр 12,5, висота конічної частини 1,9, циліндра 6,5, нижньої конічної частини 1,7 і загальна висота 10,1 м.



Розпад беззольної речовини

$$R_r = R_{lim} - K_r D_{mt} = 49,5 - 0,24 \cdot 18 = 45,18\% ,$$

$$\text{де } K_r = 0,24; D_{mt} = 18\%; R_{lim} = \frac{53 \cdot 6,39 + 44 \cdot 4,82}{10,41} = 49,5.$$

Кількість беззольної речовини, яка розпалася

$$10,41 \cdot 0,4518 = 4,7 \text{ т.}$$

Добовий масовий вихід газу 4,7 т при об'ємній масі 1 кг/м<sup>3</sup>, тобто 4700 м<sup>3</sup>/доб.

### 3.2.2. Завдання для самостійного роз'язання.

#### Завдання 1.

Розрахувати метантенки для зброджування сирого осаду з первинних відстійників і надлишкового активного мулу з вторинних при продуктивності станції 55,0 тис.м<sup>3</sup>/доб, концентрації завислих речовин  $C_{en} = 230$  мг/л, ефективності відстоювання в первинних відстійниках  $E = 0,6$ , БСК стічних вод  $L_{en} = 160$  мг/л, виносу активного мулу з вторинних відстійників  $a_t = 20$  мг/л.

#### Завдання 2.

Розрахувати метантенки для зброджування сирого осаду з первинних відстійників і надлишкового активного мулу з вторинних при продуктивності станції 58,8 тис.м<sup>3</sup>/доб, концентрації завислих речовин  $C_{en} = 220$  мг/л, ефективності відстоювання в первинних відстійниках  $E = 0,6$ , БСК стічних вод  $L_{en} = 150$  мг/л, виносу активного мулу з вторинних відстійників  $a_t = 20$  мг/л

## Довідкові матеріали для розрахунку біофільтрів.

Таблиця 1. Параметри для розрахунку краплинних біофільтрів

Гідравлічне навантаження $q_{bf}$ , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$	Коефіцієнт $K_{bf}$ при середній зимовій температурі стічної води $T_w$ , $^{\circ}\text{C}$							
	8		10		12		14	
	при висоті біофільтру $H_{bf}$ , м							
	1,5	2	1,5	2	1,5	2	1,5	2
1	8	11,6	9,8	12,6	10,7	13,8	11,4	15,1
1,5	5,9	10,2	7	10,9	8,2	11,7	10	12,8
2	4,9	8,2	5,7	10	6,6	10,7	8	11,5
2,5	4,3	6,9	4,9	8,3	5,6	10,1	6,7	10,7
3	3,8	6	4,4	7,1	6	8,6	5,9	10,2

Таблиця 2. Параметри для розрахунку аерофільтрів (високонавантажених біофільтрів)

Кількість повітря, яке подається, $q_a$ , $\text{м}^3/\text{м}^3$	Висота біофільтра, $H_{af}$ , м	Значення коефіцієнту $K_{af}$ при температурі стічної води $T_w$ , $^{\circ}\text{C}$ ;											
		$T_w=8$			$T_w=10$			$T_w=12$			$T_w=14$		
		при гідравлічному навантаженні $q_{af}$ , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$ .											
		$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$	$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$	$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$	$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$
8	2	3,02	2,32	2,04	3,38	2,5	2,18	3,76	2,74	2,36	4,3	3,2	2,56
	3	5,25	3,53	2,89	6,2	3,96	3,22	7,32	4,64	3,62	8,95	5,25	4,09
	4	9,05	5,37	4,14	10,4	6,25	4,37	11,2	7,54	5,56	12,1	9,05	6,54
10	2	3,69	2,89	2,58	4,08	3,11	2,76	4,5	3,36	2,93	5,09	3,67	3,16
	3	6,1	4,24	3,56	7,08	4,74	3,94	8,23	5,31	4,36	9,9	6,04	4,84
	4	10,1	6,23	4,9	12,3	7,18	5,68	15,1	8,45	6,88	16,4	10	7,42
12	2	4,32	3,38	3,01	4,76	3,72	3,28	5,31	3,98	3,44	5,97	4,31	3,7
	3	7,25	5,01	4,18	8,35	5,55	4,78	9,9	6,35	5,14	11,7	7,2	5,72
	4	12	7,35	5,83	14,8	8,5	6,2	18,4	10,4	7,69	23,1	10	8,83

## Довідкові матеріали для розрахунку аеротенків.

Таблиця 3. Значення мулового індексу

Вид стічних вод	Муловий індекс $I_i$ , $\text{см}^3/\text{г}$ , при навантаженні на мул, $\text{мг}/(\text{г} \cdot \text{доб})$					
	100	200	300	400	500	600
Міські	130	100	70	80	95	130
Нафтопереробних заводів		120	70	80	120	160
Синтетичного каучуку		100	40	70	100	130
Комбінатів штучного во- локна		300	200	250	280	400
Целюлозно-паперових комбінатів		220	150	170	200	220
Хімкомбінатів азотної промисловості		90	60	75	90	120

Таблиця 4. Оптимальні дози мулу в аеротенках

Тип аеротенка	БСК <sub>повне</sub> стічної води, яка надходить, $\text{мг}/\text{л}$	Доза мулу $a_i$ , $\text{г}/\text{л}$
Аеротенк-змішувач: без регенераторів	100-150	3
	з регенераторами	2-3,5
Аеротенк-витискувач: без регенераторів	100-150	3-5
	з регенераторами	3,5-4,5
Аеротенк-відстійник	300-400	3,5-4,5
	100-200	3-3,7
То же	Більш 200	4,5

Таблиця 5. Параметри для розрахунку аеротенків

Вид стічних вод	Максимальна швидкість окис-	органічних за- бруднень,	константа впли- ву кисню,	бірування,
			мг O <sub>2</sub> /л	г/г
Міські	85	33	0,625	0,07
Нафтопереробних заводів:				
I система	33	3	1,81	0,17
II система	59	24	1,66	0,16
Азотної промис- ловості	140	6	2,4	1,11
Целюлозно- паперової промис- ловості:				
сульфат- целюлозне вироб- ництво	125	59	1,5	0,16
сульфіт-целюлозне виробництво	72	67	1,7	0,17
Первинної оброб- ки шерсті				
I ступінь	32	156		
II ступінь	6	33		
Дріжджових заво- дів	232	90	1,66	0,16
Оргсинтезу	83	200	1,7	0,27

**Таблиця 6. Розчинність атмосферного кисню у воді при нормальному тиску**

$T^{\circ}C$	$O_2$ , мг/л	$T^{\circ}C$	$O_2$ , мг/л	$T^{\circ}C$	$O_2$ , мг/л
1	14,23	11	11,08	21	8,89
2	13,84	12	10,83	22	8,83
3	13,48	13	10,6	23	8,68
4	13,13	14	10,37	24	8,53
5	12,8	15	10,15	25	8,38
6	12,48	16	9,95	26	8,22
7	12,17	17	9,74	27	8,07
8	11,87	18	9,64	28	7,92
9	11,59	19	9,35	29	7,77
10	11,33	20	9,17	30	7,63

## Довідкові матеріали для розрахунку метантенків.

Таблиця 7. Дані для визначення добової дози осаду, який завантажується,  $D_{mt}$  і коефіцієнтів  $K_r$  ( $K_r/D_{mt}$ )

Температура зброджування, °С	При вологості осаду, що завантажується, %				
	93	94	95	96	97
33	$\frac{1,05}{7}$	$\frac{0,89}{8}$	$\frac{0,72}{8}$	$\frac{0,56}{9}$	$\frac{0,4}{10}$
53	$\frac{0,455}{14}$	$\frac{0,385}{16}$	$\frac{0,31}{17}$	$\frac{0,24}{18}$	$\frac{0,17}{19}$

Примітка. Значення  $K_r$  – в чисельнику,  $D_{mt}$  – в знаменнику.

Таблиця 8. Параметри для розрахунку мулоушільнювачів

Характеристика надлишкового активного мулу	Вологість ущільненого активного мулу, %		Тривалість ущільнення, год	
	Ущільнювач			
	вертикальний	радіальний	вертикальний	радіальний
Мулова суміш з аеротенків з концентрацією 1,5-3 г/л	—	97,3	—	5-8
Активний мул із вторинних відстійників з концентрацією 4 г/л	98	97,3	10-12	9-11
Активний мул із зони відстоювання аеротенків-відстійників з концентрацією 4,5-6,5 г/л	98	97	16	12-15

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Василенко А.А. Водоотведение. Курсовое проектирование. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 256 с; 73 табл. – 32 ил. – Библиогр.: 34 назв.
2. Жуков А.И., Монгайт И.Л., Родзиллер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод. (Справ. пособие.) Под ред. А.И. Жукова. М., Стройиздат, 1977. 2204 с.
3. Яковлев С.В., Ласков Ю.М. Канализация: (Водоотведение и очистка сточных вод): Учеб. для техникумов. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1987. – 319 с.: ил.
4. Экологическая биотехнология: Пер. с англ./Под ред. К.Ф.Форстера, Д.А. Дж.Вейза. – Л.: Химия, 1990. – Пер. изд.: Великобритания, 1987. – 384 с.: ил.
5. Чурбанова И.Н. Микробиология: Учеб. для вузов по спец. “Рациональное использ. водных ресурсов и обезвреживание пром. стоков”. – М.: Высш. шк., 1987. – 239 с.: ил.
6. Шлегель Г. Общая микробиология: Пер. с нем. – М.: Мир, 1987. – 567 с., ил.
7. А.К. Запольський, Н.А. Мішкова-Клименко, І.М. Астрелін, М.Т. Брик, П.І. Гвоздяк, Т.В. Князькова. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: Підручник. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
8. Канализация. Наружные сети и сооружения. Нормы проектирования: СНиП 2.04.03-85: Утв. Гос. ком. СССР по делам строительства. – М.: Стройиздат, 1985. – 72 с.



Методичні вказівки щодо практичних занять з навчальної дисципліни «Біотехнологія очищення води» для студентів денної форми навчання за напрямом 6.051401 – «Біотехнологія»

Укладачі: к. т. н., доц. А. В. Пасенко

Відповідальний за випуск в. о. кафедри біотехнології та здоров'я людини доц.  
О. В. Новохатько

Підп. до др.2017. Формат 60x84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.  
Ум. друк. арк. \_\_\_\_\_. Наклад прим. Зам. № \_\_\_\_\_. Безкоштовно.

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