

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до організації самостійної роботи,  
проведення практичних занять  
та виконання розрахунково-графічної роботи  
з навальної дисципліни

**«РЕКОНСТРУКЦІЯ І ІНТЕНСИФІКАЦІЯ РОБОТИ ОЧИСНИХ СПОРУД  
ВОДОПРОВІДНО-КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ»**

*(для студентів 1 курсу усіх форм навчання другого (магістерського)  
рівня вищої освіти спеціальності  
194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2020**

Методичні рекомендації до організації самостійної роботи, проведення практичних занять та виконання розрахунково-графічної роботи з навальної дисципліни «Реконструкція і інтенсифікація роботи очисних споруд водопровідно-каналізаційних систем» (для студентів 1 курсу усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Г. І. Благодарна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 84 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. Г. І. Благодарна

Рецензент

**С. С. Душкін**, професор, доктор технічних наук, професор кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод (Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова)

*Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод, протокол № 1 від 30.08.2018.*

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Рекомендації з організації самостійної роботи.....	6
ЗМ 1 Реконструкція і інтенсифікація роботи очисних споруд водопровідних систем.....	6
Тема 1 Сучасний стан проблем очищення вод. Задачі реконструкції і інтенсифікації очисних споруд водопроводу.....	6
Питання для самоконтролю.....	6
Тема 2 Інтенсифікація водозабірних споруд.....	6
Питання для самоконтролю.....	6
Тема 3 Інтенсифікація та реконструкція водопровідних очисних споруд.....	7
Питання для самоконтролю.....	7
Тема 4 Інтенсифікація змішування.....	7
Питання для самоконтролю.....	7
Тема 5 Освітлення, відстоювання.....	7
Питання для самоконтролю.....	7
Тема 6 Інтенсифікація фільтрування.....	7
Питання для самоконтролю.....	8
Тема 7 Біологічна очистка природних вод.....	8
Питання для самоконтролю.....	8
Тема 8 Інтенсифікація знезараження питної води.....	8
Питання для самоконтролю.....	8
ЗМ 2 Реконструкція і інтенсифікація роботи каналізаційних очисних споруд.....	9
Тема 9 Необхідність реконструкції очисних каналізаційних споруд.....	9
Питання для самоконтролю.....	9
Тема 10 Інтенсифікація роботи споруд механічної очистки стічних вод.....	9
Питання для самоконтролю.....	9
Тема 11 Інтенсифікація споруд біохімічної очистки стічних вод.....	9
Питання для самоконтролю.....	10

Тема 12 Методи реконструкції споруд доочищення.	
Глибока очистка стічних вод.....	10
Питання для самоконтролю.....	10
Тема 13 Інтенсифікація роботи споруд обробки осадів	
стічних вод.....	10
Питання для самоконтролю.....	10
2 Рекомендації до проведення практичних занять.....	11
ЗМ 1 Реконструкція і інтенсифікація роботи	
водопровідних очисних споруд.....	11
1 Реконструкція і інтенсифікація роботи I ступені	
очисних споруд водопровідних систем.....	11
ЗМ 2 Реконструкція і інтенсифікація роботи	
каналізаційних очисних споруд.....	36
2.1 Визначення розрахункових витрат стічних вод.....	36
2.2 Розрахунок споруд механічного очищення.....	36
2.3 Розрахунок споруд біологічного очищення.....	53
2.4 Розрахунок споруд доочищення.....	66
2.5 Розрахунок споруд знезараження.....	70
3 Рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи.....	73
3.1 Структура й оформлення розрахунково-графічної роботи.....	73
3.2 Рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи.....	74
Список рекомендованих джерел.....	81
ДОДАТОК А.....	83

## ВСТУП

Погіршення якості води у джерелах, підвищення вимог до скиду очищеної стічної води, якості питної води за вимогами ДСанПіН [1], а також необхідність зменшення капіталовкладень підвищили інтерес до питань інтенсифікації водопровідних та каналізаційних систем, у тому числі й очисних споруд.

Метою вивчення дисципліни «Реконструкція і інтенсифікація роботи очисних споруд водопровідно-каналізаційних систем» є закріплення знань, пов'язаних з вирішенням питань реконструкції, інтенсифікації, проектування і розрахунку споруд водопостачання або водовідведення, технологічного процесу очищення природних або стічних вод, з урахуванням останніх досягнень науки та техніки.

У ході вивчення теоретичної частини дисципліни розглядаються основні питання:

- основні положення та вимоги державних стандартів до якості природної та стічної води, а також до споруд водопостачання та водовідведення;
- основні методи, технології, технологічні розрахунки з поліпшення роботи очисних споруд водопровідно-каналізаційних систем;
- раціонального використання водних ресурсів і їх охорони в цілому;
- шляхи вирішення питань, пов'язаних зі зміною діючих технологічних умов, зношеністю споруд.

До задач інтенсифікації очисних споруд станції можливо віднести не тільки збільшення або зменшення продуктивності, але і покращення якості очищеної води, а також підвищення ефективності експлуатації, економію ресурсів (електроенергії, реагентів тощо).

## **1 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

Для опанування матеріалу навчальної дисципліни «Реконструкція і інтенсифікація роботи очисних споруд водопровідно-каналізаційних систем» окрім лекційних, практичних занять, тобто аудиторної роботи, значну увагу необхідно приділяти самостійній роботі.

### ***ЗМ 1 РЕКОНСТРУКЦІЯ І ІНТЕНСИФІКАЦІЯ РОБОТИ ОЧИСНИХ СПОРУД ВОДОПРОВІДНИХ СИСТЕМ***

#### **ТЕМА 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМ ОЧИЩЕННЯ ВОД. ЗАДАЧІ РЕКОНСТРУКЦІЇ І ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ОЧИСНИХ СПОРУД ВОДОПРОВОДУ**

Цілі та завдання інтенсифікації. Шляхи вирішення задач інтенсифікації. Основні етапи виконання робіт з реконструкції і інтенсифікації.

##### **Питання для самоконтролю**

1. Назвіть основні цілі і задачі інтенсифікації очисних споруд водопроводу.
2. Які ви знаєте шляхи вирішення задач інтенсифікації очисних споруд водопроводу?
3. Назвіть етапи виконання робіт з реконструкції і інтенсифікації очисних споруд водопроводу.

#### **ТЕМА 2 ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВОДОЗАБІРНИХ СПОРУД**

Підземні водозабори. Обстеження роботи діючих споруд. Бурові свердловини. Променеві і горизонтальні водозабори. Шахтні колодязі. Водозабірні споруди з поверхневих джерел.

##### **Питання для самоконтролю**

1. Які ви знаєте шляхи інтенсифікації водозабірних споруд?
2. Проаналізуйте дію підземного водозабору.
3. Які причини погіршення роботи свердловин і методи їхнього усунення?
4. Шахтні колодязі. Променеві і горизонтальні водозабори.
5. Проаналізуйте роботу діючого поверхневого водозабору. шляхи інтенсифікації поверхневих водозаборів.

## **ТЕМА 3 ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЯ ВОДОПРОВІДНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД**

Обстеження та аналіз роботи діючих споруд. Інтенсифікація процесу коагуляції.

### **Питання для самоконтролю**

1. Як визначається необхідна ефективність роботи очисних споруд у зв'язку із зміною якості води з джерела?
2. Які вимоги ставляться до води з джерела водопостачання?
3. Як визначається необхідна ефективність роботи очисних споруд у зв'язку із зміною витрати води з джерела?
4. Як вибирається технологічна схема для реконструкції споруд?
5. Як проводиться автоматизація роботи реконструйованих споруд?
6. Як проводиться організація робіт при реконструкції споруд?

## **ТЕМА 4 ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ЗМІШУВАННЯ**

Інтенсифікація процесів змішування і формування пластівців: пристрої для введення реагентів, контактне коагулювання.

### **Питання для самоконтролю**

1. Як проводиться інтенсифікація змішування?
2. Як проводиться інтенсифікація змішування і формування пластівців?
3. Які ви знаєте пристрої для введення реагентів та як проводиться контактне коагулювання?

## **ТЕМА 5 ОСВІТЛЕННЯ, ВІДСТОЮВАННЯ**

Способи поліпшення збору осаду. Установка тонкошарових модулів, рециркуляція осаду.

### **Питання для самоконтролю**

1. Як проводиться інтенсифікація освітлення, відстоювання?
2. Які існують способи поліпшення збору осаду?
3. Як проводиться установка тонкошарових модулів, рециркуляторів?

## **ТЕМА 6 ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ФІЛЬТРУВАННЯ**

Фільтрування у напрямку зменшення крупності зерен, із швидкістю, що зменшується по ходу потоку. Використання нових матеріалів, що фільтруються.

### **Питання для самоконтролю**

1. Як проводиться очищення води фільтруванням?
2. Які методи інтенсифікації роботи фільтрів ви знаєте?
3. Де більше брудоемність – у швидкому фільтрі або контактному освітлювачі?
4. Яке завантаження доцільно застосовувати в контактному освітлювачі: керамзит або пісок?
5. Які інтенсивні способи промивання швидких фільтрів ви знаєте?

### **ТЕМА 7 БІОЛОГІЧНА ОЧИСТКА ПРИРОДНИХ ВОД**

Біологічна стабільність води. Процеси біологічної очистки. Технологічні схеми біологічної очистки.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які процеси біологічного очищення ви знаєте?
2. Які матеріали можуть слугувати носіями біоплівки?
3. Які технологічні схеми біологічного очищення використовують?

### **ТЕМА 8 ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ**

Аналіз мікробіологічного стану водойм. Причини низької ефективності Аналіз мікробіологічного стану водойм. Причини низької ефективності знезараження води хлоруванням. Шляхи удосконалення процесу знезараження. Хлорування з амонізацією. Знезараження водним розчином хлору – гіпохлориту натрію або кальцію. Знезараження води діоксином хлору. Озонування. Ультрафіолетове опромінення.

### **Питання для самоконтролю**

1. Як проводиться та які ви знаєте способи інтенсифікації знезараження питної води?
2. Які причини низької ефективності знезараження води хлоруванням?
3. Які ви знаєте шляхи удосконалення процесу знезараження?
4. Як проходить хлорування з амонізацією?
5. Як проводиться знезараження водним розчином хлору – гіпохлориту натрію або кальцію?
6. Який основний принцип знезараження води діоксидом хлору, недоліки та переваги?
7. Який принцип озонування, недоліки та переваги?
8. Як проводиться ультрафіолетове опромінення, недоліки та переваги?
9. Які ви знаєте комбіновані методи знезараження?



## ***ЗМ 2 РЕКОНСТРУКЦІЯ І ІНТЕНСИФІКАЦІЯ РОБОТИ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД***

### **ТЕМА 9 НЕОБХІДНІСТЬ РЕКОНСТРУКЦІЇ ОЧИСНИХ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СПОРУД**

Головні причини незадовільною очисткою стічних вод на діючих спорудах. Обстеження і аналіз роботи діючих очисних споруд.

#### **Питання для самоконтролю**

1. Як визначити необхідність реконструкції очисних каналізаційних споруд?
2. Які головні причини незадовільної роботи очистки стічних вод на діючих очисних споруд?
3. Як проводиться обстеження та аналіз роботи діючих очисних споруд?
4. Як проводиться розробка проекту зміни схеми очищення при максимальному використанні нових прийомів і технологій?

### **ТЕМА 10 ІНТЕНСИФІКАЦІЯ РОБОТИ СПОРУД МЕХАНІЧНОЇ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД**

Усереднення. Решітки і піскоуловлювачі. Первинні відстійники.

#### **Питання для самоконтролю**

1. Які ви знаєте методи інтенсифікації роботи споруд механічної очистки стічних вод?
2. Які ви знаєте методи інтенсифікації усереднення?
3. Які ви знаєте методи інтенсифікації роботи решіток і піскоуловлювачів?
4. Які ви знаєте методи інтенсифікації роботи первинних відстійників?
5. Який принцип роботи тонкошарових відстійників, переваги його роботи?
6. Як проводиться реконструкція звичайних відстійників в тонкошарові?

### **ТЕМА 11 ІНТЕНСИФІКАЦІЯ СПОРУД БІОХІМІЧНОЇ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД**

Методи інтенсифікації роботи біофільтрів. Аераційні споруди.

#### **Питання для самоконтролю**

1. Які способи інтенсифікації споруд біохімічної очистки стічних вод ви знаєте?
2. Які методи інтенсифікації роботи біофільтрів існують?

3. Які існують можливі варіанти реконструкції аеротенків?
4. Які існують способи інтенсифікації роботи аераційних споруд?
5. Який принцип роботи колонних очисних споруд?

## **ТЕМА 12 МЕТОДИ РЕКОНСТРУКЦІЇ СПОРУД ДООЧИЩЕННЯ. ГЛИБОКА ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД**

Робота споруд доочищення стічних вод. Біосорбери. Методи реконструкції споруд доочищення. Глибока очистка стічних вод.

### **Питання для самоконтролю**

1. Як працюють споруди доочищення стічних вод?
2. Який принцип роботи біосорберів?
3. Які існують методи реконструкції споруд доочищення?
4. Які методи глибокої очистки стічних вод ви знаєте?

## **ТЕМА 13 ІНТЕНСИФІКАЦІЯ РОБОТИ СПОРУД ОБРОБКИ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД**

Інтенсифікація анаеробної обробки осадів стічних вод.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які способи інтенсифікації роботи споруд обробки осадів стічних вод існують?
2. Як проводиться інтенсифікація анаеробної обробки осадів стічних вод?
3. Як проводиться інтенсифікація тужавіння надлишкового активного мулу?
4. Які ви знаєте можливі шляхи інтенсифікації використання осаду?
5. Який принцип роботи аеробних стабілізаторів?
6. За яких умов застосовуються флотаційні мулоушільнювачі та які їхні переваги?
7. Який принцип роботи установки для знезараження стічних вод рідким хлором?

## 2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

### ЗМ 1 РЕКОНСТРУКЦІЯ І ІНТЕНСИФІКАЦІЯ РОБОТИ ВОДОПРОВІДНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД

#### 1 Реконструкція і інтенсифікація роботи I ступені очисних споруд водопровідних систем

Мета занять – вивчення існуючих методів і відповідних технологічних розрахунків конструкції і технології роботи існуючої станції водопроводу. При цьому визначають види і дози реагентів; фактичні швидкості руху води в спорудах; коефіцієнти об'ємного використання камер утворення пластівців, освітлювачів, відстійників; гранулометричний склад завантаження швидких фільтрів; інтенсивність промивки, характеристики промивних насосів або вежі для промивання; висотне розташування споруд (перепади рівнів води в сусідніх спорудах) [2].

*Реагентне господарство*, інтенсифікація та реконструкція якого здійснюється наступним чином: вдосконалення схем зберігання і приготування розчинів реагентів, зміна видів і місць введення, оптимізація дози і режиму коагулювання [3].

Правильний вибір виду реагенту дозволяє поліпшити якість очищеної води, збільшити продуктивність споруд, знизити витрати реагентів, зменшити обсяги споруд з обробки осаду (внаслідок збільшення його щільності). При обробці маломутних кольорових вод з низькою температурою залізни коагулянти краще широко використовуваного сірчанокислого алюмінію. В даний час знаходять застосування основні солі алюмінію: оксихлорид алюмінію (далі – ОХА), гідроксихлорид алюмінію (далі – ГХА), гідроксихлоридсульфата (далі – ГХСА) і ін. [3]. Ці реагенти вимагають менших доз, не змінюють рН оброблюваної води, добре працюють при низьких температурах, мають дезінфікуючу ефектом, утворюють менший обсяг осаду, який легше зневоднюється. Їх використання дозволяє знизити вартість обробки води.

За наявності органічних, гумінових речовин рекомендують перед коагулянтами вводити в воду окиснювачі. Застосування вапна (лужних реагентів) дозволяє поліпшити процес коагуляції при недостатній лужності вихідної води [4], присутності у воді фосфатів. При використанні флокулянтів можливе збільшення швидкості води в освітлювачах і відстійниках, зростає також час захисної дії завантаження фільтрів. В останні роки рекомендують

застосовувати катіонні поліелектроліти, які дозволяють в ряді випадків відмовитися від інших коагулянтів.

Місце введення реагентів впливає на процес коагуляції і роботу наступних споруд. При неможливості забезпечення необхідних в часі розривів між введенням реагентів, слід передбачати контактну камеру (нове будівництво або реконструкція існуючих споруд).

Вибір дози та режиму коагуляції виробляють шляхом пробної обробки води в лабораторії станції. Інтенсифікація процесів освітлення і знебарвлення може бути досягнута переходом від безперервного коагулювання до дробового, непостійного, концентрованого або фракційним.

### Порядок розрахунку

#### 1. Визначення розрахункової продуктивності.

Необхідна корисна продуктивність станції складе:

$$Q'_n = Q_n \cdot \alpha, \quad (1.1)$$

де  $\alpha$  – зміна розрахункової продуктивності станції, частка.

Комунікації станцій водопідготовки рекомендується розраховувати на можливість пропуску витрати води на 20-30 % більше розрахункової [4].

#### 2. Реагентне господарство.

Дози реагентів. Для інтенсифікації процесу коагуляції прийнято аерацію води, шляхом подачі стисненого повітря в вихрові змішувачі. Це дозволяє зменшити дозу коагулянту по безводному продукту при заданій якості сирової води. Згідно таблиці 15 [4] визначається доза безводного коагулянту і доза поліакриламідю за п. 10.4.3 [4], доза підлужуючих реагентів, необхідних для поліпшення процесу утворення пластівців визначається за формулою (6) із [4], яка виглядає так:

$$D_n = K_n \left( \frac{D_k}{e_k} - L_0 \right) + 1, \text{ мг/л}, \quad (1.2)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт, рівний для вапна (за CaO) – 28, для соди (за Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) – 53;

$D_k$  – максимальна в період підлужування доза безводного коагулянту, мг/дм<sup>3</sup>;

$e_k$  – еквівалентна маса коагулянту (безводного), ммоль/дм<sup>3</sup> (мг-екв/дм<sup>3</sup>), яка приймається для Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> – 57, FeCl<sub>3</sub> – 54, Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> – 67;

$L_0$  – мінімальна лужність води, ммоль/дм<sup>3</sup> (мг-екв/дм<sup>3</sup>).

Реагенти потрібно вводити одночасно з введенням коагулянтів, якщо не встановлені інші умови.

Якщо доза вапна негативна, підлужування не потрібно.

Відділення коагулювання. По товарному продукту з вмістом безводної солі  $Al_2(SO_4)_3 - 33,5\%$  знаходимо дозу коагулянту:

$$D_p - 33,5; x = D_p \cdot 100/33,5.$$

$$x - 100.$$

Загальна добова витрата коагулянту, т/добу:

$$G_K = \frac{D_p \cdot Q_{доб}}{10^6}. \quad (1.3)$$

Загальна добова витрата флокулянта, т/добу:

$$G_{ПАА} = \frac{D \cdot Q_{доб}}{0,08 \cdot 10^6}. \quad (1.4)$$

Приклад розрахунку потреби в реагентах наведено в таблиці 1.1 при добовій продуктивності  $74\,360\text{ м}^3/\text{добу}$ .

Таблиця 1.1 – Потреба в реагентах

Реагент	Доза, мг/дм <sup>3</sup>	Вміст активного продукту, %	Потреба по товарному продукту, т	
			добова	на період паводку
Коагулянт	45	33,5	10	120,3
ПАА	0,5	8,0	0,46	5,5

Концентрація розчину неочищеного коагулянту по безводному продукту в розчинних і баках сховищах прийнята  $17\%$ , в видаткових –  $7\%$  [4, п. 10.4.8].

Для отримання  $b = 17\%$  концентрації розчину по безводному продукту з товарного коагулянту з вмістом активної частини  $C_k = 33,5\%$  необхідна ємність:

$$W^n = \frac{C_k \cdot \rho}{b}, \text{ м}^3/\text{т}, \quad (1.5)$$

де  $\rho = 1,17$  – щільність розчину коагулянту, т/м<sup>3</sup>, знаходимо за таблицею 1 з [5];

Отже, корисна ємність розчинних баків

$$W_{розч.б} = (W_{надреш.розч.б} + W_{подреш.розч.б})n, \text{ м}^3, \quad (1.6)$$

може бути розчинено

$$W^P = W_{раст.б} / W^n, \text{ т} \quad (1.7)$$

товарного коагулянту, що відповідає запасу на

$$t_{зан} = W^P / t, \text{ діб}. \quad (1.8)$$

Корисна ємність баків-сховищ

$$W_{хр.б} = W_{хр.б}^{пол} \cdot n, \quad (1.9)$$

може бути розчинено

$$W^P = W_{хр.б} / W^n, \text{ т}, \quad (1.10)$$

товарного коагулянту, що відповідає запасу на

$$t_{зан} = W^P / t, \text{ діб}. \quad (1.11)$$

Час повного циклу приготування розчину в видаткових баках коагулянту 7 % концентрації складе:

$$t = \frac{10^4 \cdot b \cdot \rho \cdot W}{q \cdot D_k}, \quad (1.12)$$

де  $W$  – корисний об'єм витратних баків, м<sup>3</sup>;

$q$  – розрахункова продуктивність споруд першого ступеня очищення, м<sup>3</sup>/год;

$b$  – концентрація робочого розчину коагулянту по чистому продукту, %;

$\rho$  – щільність розчину коагулянту, т/м<sup>3</sup>;

$D_k$  – доза коагулянту по чистому продукту, г/м<sup>3</sup>.

*Відділення флокулювання.* При збільшенні продуктивності водопровідної очисної станції зростає і добова потреба в поліакриламіді (ПАА):

$$q_{ПАА} = \frac{Q_p \cdot D_{ПАА} \cdot 10^4}{V_{ПАА} \cdot \rho}, \quad \text{м}^3/\text{год}; \quad (1.13)$$

де  $V_{ПАА}$  – концентрація ПАА (прийнята 0,5 %);

$\rho$  – щільність розчину ПАА (прийнята 1,0 т/м<sup>3</sup>).

При робочій ємності установки УРП-2М 1,2 м<sup>3</sup> одного замішування досить для роботи станції протягом, що має бути більше 2 годин [4, п. 10.4.17]:

$$t_{cm} = W / q_{ПАА}, \quad \text{год}. \quad (1.14)$$

### Завдання для самоконтролю

**Завдання 1.** При збільшенні корисної продуктивності станції водопідготовки на 20 % зросла добова потреба в коагулянтів (сульфат алюмінію) і флокулянтів (ПАА). Розрахуйте необхідну потребу в реагентах по товарному продукту: добову і на період паводку  $t$ . При наступних даних:

– каламутність – 75 мг/дм<sup>3</sup>,

– кольоровість – до 30 град,

– тривалість паводку – 15 днів,

– корисна продуктивність існуючої очисної станції – 58 000 м<sup>3</sup>/добу.

**Завдання 2.** Приготування коагулянту на станції водопідготовки здійснюється в розчинних баках і баках-сховищах, де концентрація розчину неочищеного коагулянту по безводному продукту в розчинних і баках-сховищах прийнята 17 %, щільність розчину коагулянту  $\rho = 1,17$  т/м<sup>3</sup>, вміст активного продукту коагулянту сульфату алюмінію становить 43,5 %. Відомо, що обсяг розчинних баків дорівнює 70 м<sup>3</sup>, а об'єм баків-сховищ – 85 м<sup>3</sup>, кількість розчинних і баків-сховищ на станції по 4 кожного. Визначити термін зберігання коагулянту в розчинних і витратних баках.

**Завдання 3.** Визначити час повного циклу приготування розчину коагулянту (сульфату алюмінію) у видаткових баках при збільшенні корисної продуктивності станції водопідготовки на 15 %. Концентрація розчину коагулянту по чистому продукту в витратних склала 7 %, щільність розчину коагулянту  $\rho = 1,07 \text{ т/м}^3$ , об'єм витратних баків дорівнює  $20 \text{ м}^3$ , каламутність – 100 мг/л, кольоровість – 60 град., Корисна продуктивність існуючої очисної станції –  $30\,000 \text{ м}^3/\text{добу}$ .

**Завдання 4.** При збільшенні продуктивності водопровідної очисної станції на 10 % зростає добова потреба в поліакриламіді (ПАА), визначити його добову потребу і потреба станції, яку забезпечують витратні баки (в годинах). Якщо концентрація ПАА – 0,5 %; щільність розчину ПАА  $\rho = 1,0 \text{ т/м}^3$ , доза ПАА  $0,55 \text{ мг/дм}^3$ , корисна продуктивність існуючої очисної станції –  $69\,000 \text{ м}^3/\text{добу}$ . Приготування розчину ПАА здійснюється в двох видаткових баках ємкістю  $8 \text{ м}^3$ .

1.2 Вихрові змішувачі можуть застосовуватися як один зі способів інтенсифікації роботи очисних споруд водопроводу. Сира вода подається в вихрові змішувачі пірамідальної конструкції: перед змішувачами вводиться коагулянт – сірчаноокислий алюміній дозою  $D_K$ , а на виході – флокулянт (поліакриламід ПАА) дозою  $D_{ПАА}$ .

Для інтенсифікації процесу коагулювання вихрові змішувачі забезпечуються спеціальним повітророзподільних пристроїв для аерації.

### Порядок розрахунку

Площа верхньої частини змішувача

$$f_{\text{вх.см}} = a^2, \text{ м}^2, \quad (1.15)$$

де  $a$  – розмір верхньої частини змішувача в світлі.

Перевіряємо швидкість висхідного потоку під водозбірних лотком:

$$V = q / f_{\text{см}}, \text{ мм/с}, \quad (1.16)$$

що має задовольняти рекомендаціям [4, п. 10.5.6].

Час перебування води в змішувачі:

$$t = \frac{W_{\text{см}} \cdot n}{q}, \text{ год}, \quad (1.17)$$

що має відповідати вимогам [4, п. 10.4.9] і забезпечувати необхідний час розриву між введенням коагулянту і флокулянта.

Подача повітря здійснюється постійно від повітророзподільних пристроїв, встановлених у приміщенні реагентного господарства. Витрата повітря для керування

$$q_{\text{аер}} = i \cdot f_{\text{вх.см}}, \text{ л/с}. \quad (1.18)$$

Максимальна витрата повітря на станції:

$$q_{\text{повіт}}^{\text{max}} = q_{\text{повіт}}^{\text{роз.б}} + q_{\text{повіт}}^{\text{сх.б}} + q_{\text{повіт}}^{\text{роз.б}} + q_{\text{повіт}}^{\text{аер}}, \text{ л/с.} \quad (1.19)$$

Розрахунок труб аератора виконаний по рекомендованим швидкостям і руху повітря (п. 2.17 [5]) і зведений в таблиці 1.2. Труби прийняті поліетиленові ПВП Л за ГОСТ 18599-83\*.

Таблиця 1.2 – Труби аератора

Найменування труб	Витрата, л/с	Швидкість, м/с		Діаметр, мм
		За [5]	Факт.	
1. Повітропровід на обидва змішувача	504	10–12	10,27	250
2. Подача в змішувач				
– вертикальний стояк	252	10–12	10,48	175
– кільцева труба	126		10,27	125
3. Відгалуження перфоровані (4 шт.)	63	8–10	8,03	100

Площа всіх отворів становитиме:

$$f_{\text{отв}} = \frac{q_{\text{возд}}^{\text{аер}}}{v}, \text{ м}^2. \quad (1.20)$$

Кількість отворів знаходимо з формули:

$$n_{\text{отв}} = \frac{f_{\text{отв}}}{Q_{\text{пол}} \cdot d^2}, \text{ шт.} \quad (1.21)$$

Витрата розчину коагулянту, см<sup>3</sup>/с, розраховується за формулою:

$$q_K = \frac{D_K \cdot q \cdot 100}{C_K \cdot \rho}, \text{ см}^3/\text{с}, \quad (1.22)$$

де  $q_e$  – витрата води, що проходить через розподільник, м<sup>3</sup>/с;

$C_K$  – концентрація розчину коагулянту, % по масі;

$\rho$  – щільність розчину коагулянту концентрації  $C_K$ , г/см<sup>3</sup>, приймається за таблицею 1 [5].

Витрата розчину коагулянту  $q_o$ , см<sup>3</sup>/с, що проходить через один отвір визначається за таблицею 2 [5] або за таблицею 1.3.

Таблиця 1.3 – Витрати розчину коагулянту, що проходить через один отвір

Діаметр отвору, мм	Витрата розчину коагулянту, що проходить через один отвір при h = 30 см, см <sup>3</sup> /с	Діаметр променя, мм
3	12,8	15
4	22,8	20
5	35,6	25
6	51,3	32



Наприклад: при діаметрі променя 20 мм, отвори 4 мм і втрати напору в розподільнику 30 см, витрата розчину становитиме – 22,8 см<sup>3</sup>/с. Число отворів в розподільнику:

$$n_o = \frac{q_k}{q_o}, \text{ од.} \quad (1.23)$$

При аерації води необхідно запобігти попаданню повітря в камеру утворення пластівців [5], відведення води з кишені повинен бути затопленим.

### Завдання для самоконтролю

**Завдання 1.** Сира вода подається в два вихрових змішувача пірамідальної конструкції. На водопровідній очисній станції встановлено два вихрових змішувача об'ємом 40 м<sup>3</sup>. розмір верхньої частини змішувача в світлі 3,5 м. Перевірити швидкість висхідного потоку під водозбірних лотком і визначити час перебування води в змішувачі, якщо на станції водопідготовки відбулося збільшення корисної продуктивності на 25 %, корисна продуктивність існуючої очисної станції – 49 000 м<sup>3</sup>/добу.

**Завдання 2.** На станції водопідготовки для інтенсифікації процесу коагулювання у вихрові змішувачі подають стиснене повітря, виробляють реконструкцію у вихровий змішувач з аератором. Визначити максимальний витрата повітря на очисній станції, якщо площа змішувача  $F_{см} = 12 \text{ м}^2$ , інтенсивність подачі повітря  $i = 70 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ , передбачено подачу повітря в розчинні (розмірами 4,6 × 4,5) і баки-сховища (4,6 × 4,6) коагулянту з інтенсивністю  $i = 8-10 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ , а також витратні баки (3,2 × 3,1) з інтенсивністю  $i = 3-5 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ .

**Завдання 3.** Для поліпшення процесу утворення пластівців прийнято рішення реконструювати камеру з шаром зваженого осаду в вихрову камеру. Необхідно визначити втрати напору в вихровий камері за умови, що на 1 м висоти конуса втрати складуть 0,2–0,3 м, довжина нижньої частини камери  $L_n = 0,6 \text{ м}$ , кут конусності – 70°, ширина камери утворення пластівців у світлі  $B = 6 \text{ м}$ , час перебування води в камері – 7 хв, швидкість висхідного потоку на виході з камери (у верхній її частині) 5 мм/с, після збільшення корисної продуктивності станції водопідготовки годинну витрату – 3 250 м<sup>3</sup>/ч.

*Камери утворення пластівців (далі КУП).* Для поліпшення процесу утворення пластівців прийнято рішення реконструювати камеру з шаром зваженого осаду в вихрову камеру. Удосконалення систем розподілу та збору води, пристрій камер з контактним середовищем або з рециркулятором. Камери

з контактним середовищем працюють за принципом контактної коагуляції, де в якості контактного середовища використовують плаваючий матеріал типу пінопласту. Механічні камери дозволяють забезпечити оптимальні швидкості потоку для процесу утворення пластівців.

Для поліпшення процесу утворення пластівців можна реконструювати камеру з шаром зваженого осаду в вихрову камеру. Для цього демонтуються перегородки, що направляють струмінь розподільні короба камери утворення пластівців. Крім того, застосування вихрової КУП дозволить збільшити довжину відстійника.

### Порядок розрахунку

Площа поперечного перерізу верхньої частини камери:

$$f_B = \frac{Q}{V_B \cdot t}, \text{ м}^2, \quad (1.24)$$

а її довжина

$$L = \frac{f_B}{B}, \text{ м}. \quad (1.25)$$

При діаметрі  $d$  трубопроводу подачі води в камеру утворення пластівців швидкість складе

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} \text{ м/с}, \quad (1.26)$$

збільшення діаметра трубопроводу, що подає не потрібно при  $\leq 0,8-1$  м/с.

Ширина нижньої частини камери прийнята 0,6 м, кут конусності – 700.

Висота конічної частини камери

$$h_{\text{кон}} = \frac{L_B - l_n}{2} \cdot \text{ctg} \frac{\beta}{2} \text{ м}. \quad (1.27)$$

Втрати напору у вихровій камері утворення пластівців становлять 0,2–0,3 м на 1 м висоти конуса.

Обсяг конічної частини камери:

$$W_{\text{кон}} = \frac{h_{\text{кон}}}{3} \cdot (f_B + f_n + \sqrt{f_B \cdot f_n}), \text{ м}^3, \quad (1.28)$$

де  $f_n = 0,281 \text{ м}^2$ .

Обсяг циліндричної частини камери:

$$W_{\text{с}} = f_{\text{с}} \cdot h_{\text{с}}, \text{ м}^3. \quad (1.29)$$

Загальний обсяг камери:

$$W_{\text{кх}} = W_{\text{кон}} + W_{\text{с}}, \text{ м}^3. \quad (1.30)$$

Час перебування води в камері становитиме:

$$t = \frac{W_{кх}}{Q} \text{ хв, допустимо при 6–10 хв.} \quad (1.31)$$

Згідно з п. 10.7.8 [4] на вході води у відстійник слід встановлювати підвісну перегородку, занурену на 1/4 висоти відстійника. Швидкість руху води між стінкою і перегородкою повинна бути не більше ніж 0,03 м/с.

Площа перетину між стінкою та перегородкою:

$$f_{\text{пер}} = \frac{Q}{V_{\text{де}}}, \text{ м}^2. \quad (1.32)$$

При ширині відстійника  $B$  (у світлі) відстань між стінкою КХ і перегородкою відстійника складе –  $l = f / B$ .

Після реконструкції КУП довжина горизонтального відстійника:

$$\Delta L = L_{кх} - L_{кам}, \text{ м,} \quad (1.33)$$

і складе:

$$L_{ГО}^{рек} = L_{омст} + \Delta L, \text{ м.} \quad (1.34)$$

### Завдання для самоконтролю

**Завдання 1.** Визначити чи потрібно збільшувати діаметр трубопроводу, що підводить при реконструкції камери утворення пластівців з шаром зваженого осаду в вихрову камеру. Час перебування води в камері – 7 хв, діаметр трубопроводу подачі води в камеру утворення пластівців дорівнює 600 мм, якщо на станції водопідготовки відбулося збільшення корисної продуктивності на 20 %, корисна продуктивність існуючої очисної станції – 55 500 м<sup>3</sup>/добу.

**Завдання 2.** Визначити час перебування води в камері після реконструкції камери утворення пластівців з шаром зваженого осаду в вихрову камеру, чи відповідає дане значення вимогам. Час перебування води в камері до реконструкції – 7 хв, обсяг конічної частини камери 28 м<sup>3</sup>, необхідна висота верхньої циліндричної частини 1,2 м, швидкість висхідного потоку на виході з камери (у верхній її частині) 5 мм/с. На станції водопідготовки відбулося збільшення корисної продуктивності на 18 %, корисна продуктивність існуючої очисної станції – 20 000 м<sup>3</sup>/добу.

**Завдання 3.** При реконструкції камери утворення пластівців з шаром зваженого осаду в вихрову камеру на вході води в відстійник встановили підвісну перегородку, занурену на 1/4 висоти відстійника. Швидкість руху води між стінкою і перегородкою  $\leq 0,03$  м/с. Визначити відстань між стінкою КХ і перегородкою відстійника, якщо ширина відстійника  $B_{\text{відс}} = 6$  м, час перебування води в камері – 7 хв. На станції водопідготовки відбулося

збільшення корисної продуктивності на 18 %, корисна продуктивність існуючої очисної станції –42 000 м<sup>3</sup>/добу.

*Горизонтальні відстійники (далі ГВ).* Їх інтенсифікація відбувається по шляху вдосконалення систем розподілу і збору води, видалення осаду; установка тонкошарових модулів (далі ТМ). Установка ТМ в зоні освітлення сприяє підвищенню ефекту освітлення з одночасним зростанням продуктивності. При цьому слід мати на увазі, що система розосередженого збору повинна влаштовуватися по всій площі відстійника.

Гідравлічне видалення осаду в низці випадків виявляється неефективним. Можливий перехід на системи з донними клапанами, гідрозмиву або на установку скребкових механізмів. Скребки дозволяють зменшити періодичність скидання, що збільшує щільність осаду і знижує навантаження на споруди по його обробці, однак, конструкція відстійника при цьому істотно ускладнюється.

### Порядок розрахунку

Питоме навантаження  $q_{уд}$  можна визначити з виразу:

$$q_{уд} = \frac{Q_p}{F_{ГВ} \cdot N_{ГВ}}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (1.35)$$

де  $Q_p$  – розрахункова продуктивність горизонтального відстійника, м<sup>3</sup>/год;

$F_{ГВ}$  – корисна площа горизонтального відстійника, м<sup>2</sup>;

$N_{ГВ}$  – число горизонтального відстійника.

Отримане значення навантаження повинні бути близькими до рекомендацій [4], тому тонкошарові модулі встановлюються в усіх ГВ.

Тонкошарові елементи прямокутної форми виконуються з м'яких полімерних плівок, з'єднаних в стільникові конструкції, які кріпляться за допомогою куточків і труб [5].

Довжина тонкошарового елемента визначається за мінімальною каламутності води за формулою (7) із [5] та виглядає так:

$$l_o = K_2 \cdot H_o \left( \frac{q_{уд} \cdot K_1}{u_o \cdot \beta \cdot K_{az}} - 1 \right), \text{ м}, \quad (1.36)$$

де  $K_1$  і  $K_2$  – узагальнені розрахункові коефіцієнти:

$$K_1 = \frac{1}{K_{cm} \cdot K_{ou} \cdot K_{\kappa}}; \quad (1.37)$$

$$K_2 = \frac{\varphi \cdot K_{\phi} \cdot K_{cm}}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha}; \quad (1.38)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт, що враховує вплив гідродинамічних умов потоку в тонкошарових елементах, (див. п. 4.16 і таблицю 7 з [5]);

$K_\phi$  – коефіцієнт, що враховує форму поперечного перерізу тонкошарових елементів (див. п. 4.19 [5]);

$H_o$  – висота тонкошарового елемента, м;

$u_o$  – розрахункова швидкість осадження суспензії, м/год (див. табл. 16 [4]);

$\alpha$  – кут нахилу тонкошарових елементів до горизонту, град;

$\beta$  – коефіцієнт, що враховує стиснуте осадження суспензії під тонкошаровими елементами;

$K_{ag}$  – коефіцієнт агломерації, що враховує вплив осаду, що виділяється з тонкошарових елементів на інтенсифікацію утворення пластівців (див. п. 4.18 [5]);

$K_{cm}$  – коефіцієнт, що враховує стиснення перетину потоку в тонкошаровому елементі сповзаючим осадом (див. п. 4.17 [5]);

$K_{o.i}$  – коефіцієнт, що враховує гідравлічне досконалість тонкошарового споруди і ступінь його об'ємного використання – відношення фактичного до розрахункового часу перебування води (див. п. 4.20 [5]);

$K_k$  – конструктивний коефіцієнт, що дорівнює відношенню фактичної відкритою для руху води площі тонкошарових елементів до загальної площі дзеркала води відстійного споруди (див. п. 4.21 [5]).

Період роботи відстійника між скидами осаду знаходимо з формули 8.26 [6] і буде виглядати:

$$T_p = \frac{W_{oc.ч} \cdot N_p \cdot \delta}{Q_{p1} \cdot (C_v - M_{вих})}, \text{ год}, \quad (1.39)$$

де  $W_{oc.ч}$  – обсяг зони накопичення та ущільнення осаду ГВ, м<sup>3</sup>;

$$W_{oc.ч} = L_{ГВ} \cdot V_{ГВ} \cdot H_{oc}, \quad (1.40)$$

де  $N_p$  – кількість працюючих ГВ, од.;

$\delta$  – середня по всій висоті осадової частини концентрація твердої фази осаду, г/м<sup>3</sup>, що приймається відповідно до таблиці 17 з [4];

$M_{вих}$  – каламутність води, що виходить із ГВ, г/м<sup>3</sup>;

$C_v$  – концентрація завислих речовин у воді, г/м<sup>3</sup>, що надходять у ГВ, яка визначається за формулою 8.27 з [6] за максимальною каламутністю і виглядає так:

$$C_v = M + K_k \cdot D_k + 0,25K + B_v \quad (1.41)$$

де  $M$  – кількість завислих речовин у вихідній воді, г/м<sup>3</sup> (приймається рівним максимальної мутності води);

$D_k$  – доза коагулянту по безводному продукту, г/м<sup>3</sup>;

$K_k$  – коефіцієнт, який приймається для очищеного сірчаноокислого алюмінію дорівнює 0,5;

$K$  – кольоровість вихідної води, град;

$B_v$  – кількість нерозчинених речовин, що вводяться з вапном, г/м<sup>3</sup>.

## Завдання для самоконтролю

**Завдання 1.** Визначити на скільки збільшиться довжина горизонтального відстійника після реконструкції камери утворення пластівців і довжину відстійника після реконструкції. Довжина горизонтального відстійника  $L_{відс} = 30$  м, ширина камери утворення пластівців  $B_{КП} = 5,8$  м, довжина камери утворення пластівців до реконструкції  $L_{КП} = 10$  м, час перебування води в камері – 7 хв, швидкість висхідного потоку на виході з камери (у верхній її частині) 5 мм/с. На станції водопідготовки відбулося збільшення корисної продуктивності на 10 %, корисна продуктивність існуючої очисної станції – 48 000 м<sup>3</sup>/добу.

**Завдання 2.** Визначити питоме навантаження (віднесено до площі дзеркала води), зайнятої тонкошаровими модулями при нормальному та форсованому режимах, а також довжину тонкошарового елемента, вбудованого в ГВ. Розрахунковий витрата станції водопідготовки  $Q_p = 2700$  м<sup>3</sup>/год, схема водопідготовки з горизонтальним відстійником, розміри ГВ: ширина 5,8 м, довжина 35 м, кількість ГВ 8, висота тонкошарового елемента  $H_0 = 0,05$  м, швидкість осадження суспензії  $U_0 = 0,36$  см/с, узагальнені коефіцієнти  $K_1 = 2,75$ ,  $K_2 = 2,022$ ,  $\beta \cdot K_{ac} = 1,25$ .

**Завдання 3.** Визначте період роботи відстійника між скидами осаду після обладнання тонкошаровими блоками 6 горизонтальних відстійників (далі ГВ), якщо довжина ГВ 37 м, ширина 6,2 м, каламутність освітленої води після ГВ 8–12 г/м<sup>3</sup>, розрахункова витрата  $Q_p = 3450$  м<sup>3</sup>/годину, максимальна каламутність вихідної води 700 мг/дм<sup>3</sup>, доза коагулянту 50 мг/дм<sup>3</sup>, кольоровість 35 град, середня по всій висоті осадової частини концентрація твердої фази осаду, приймається  $\delta = 35\,000$  г/м<sup>3</sup>.

*Швидкі фільтри (далі ШФ).* Інтенсифікація та реконструкція швидких фільтрів може здійснюватися такими способами:

- фільтрування в напрямку крупності зерен, що зменшується;
- оптимізація складу завантаження;
- використання завантажень із поліпшеними фільтраційними властивостями;
- реагентна обробка фільтрованої води;
- удосконалення конструкцій дренажу;
- удосконалення систем відводу промивної води.

### Порядок розрахунку

Перевіряємо швидкості фільтрування (м/год) при роботі існуючих фільтрів на збільшену продуктивність [3]:

$$v_n = \frac{n \cdot q_{np} + \frac{Q}{N_\phi \cdot f_\phi}}{T - n \cdot \tau_{np}}, \text{ м/ГОД.} \quad (1.42)$$

При форсованому режимі швидкості фільтрування ( $v_\phi$ ):

$$v_\phi = \frac{v_n \cdot N}{(N_\phi - N_1)}, \text{ м/ГОД.} \quad (1.43)$$

де  $v_\phi$  – швидкість фільтрування при форсованому режимі, яка повинна бути не більше, зазначеної в таблиці 19 із [4];

$N_1$  – кількість фільтрів, що перебувають у ремонті (див. п. 10.12.1 із [4]).

Згідно з вимогами таблиці 21 [4] для будь-якого виду завантаження при форсованому режимі швидкість  $\leq 10$  м/год.

Після всіх розрахунків складаємо компоновку станції, наприклад, на рисунку 1.1.

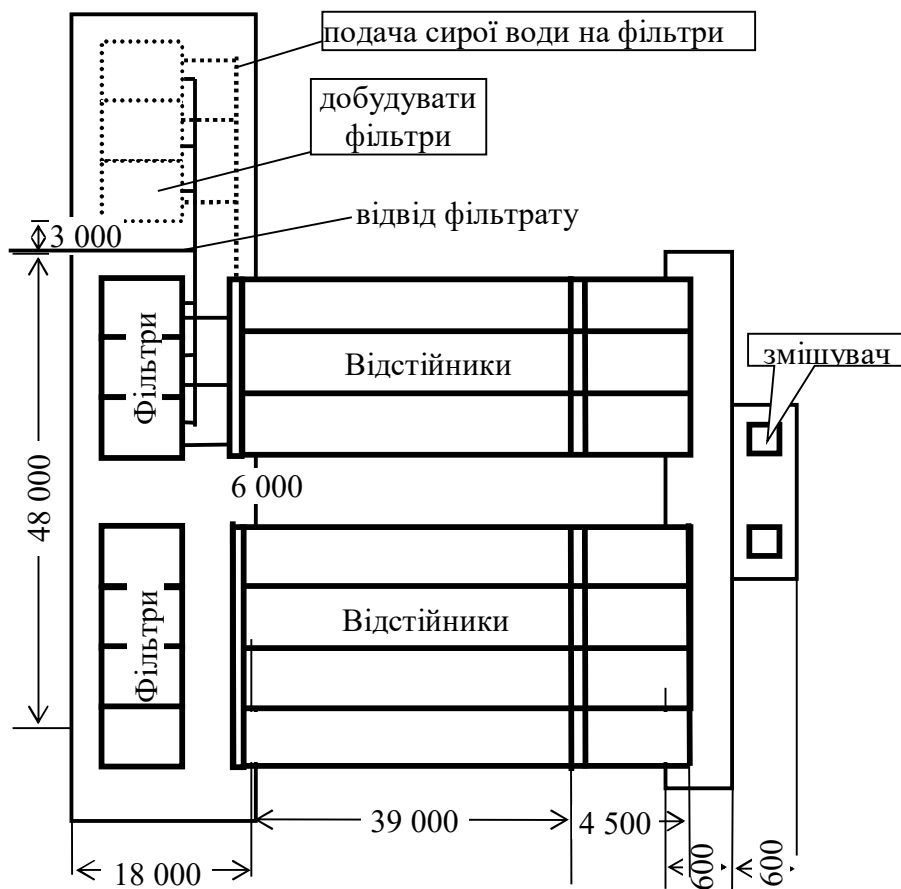


Рисунок 1.1 – Компоновка основних споруд

Отже, реконструкція існуючих швидких фільтрів полягає в такому:

1. Заміна трубчастого дренажу з підтримуючими шарами гравію, на дренаж з полімербетонних плит.
2. Застосування промивки фільтрів, що чергується.

### Розрахунок дренажу

Розрахунок конструкції дренажу для промивання, що чергується

1. Визначають необхідні втрати напору для забезпечення рівномірності промивання і зважування завантаження.
2. Обчислюють діаметр діафрагми патрубків залежно від інтенсивності.
3. Призначають ширину зон і розраховують число патрубків (див. рис. 1.1).
4. Знаходять діаметри патрубків більшої та меншої інтенсивності з урахуванням прийнятого  $K$ .
5. Перевіряють фактичні втрати напору, які повинні бути не менше максимальних за пунктом 1.

Необхідні втрати напору в дренажі визначають за формулою:

$$h_o = \frac{16V_k^2}{2g}, \text{ м}, \quad (1.44)$$

де  $V_k$  – швидкість на початку збірних каналів при розрахунковій інтенсивності промивки, м/с [8];

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Визначаємо критичну інтенсивність промивки. Для кварцового піску ( $\rho_q = 2,65$ ) еквівалентним діаметром 0,092 см при температурі води 20 °С ( $\nu_{20} = 0,01$  см<sup>2</sup>/с) критерій Архімеда обчислюємо за формулою:

$$A_q = \frac{g(\rho_q - 1)d_s^3}{\nu^2}, \quad (1.45)$$

де  $d_e$  – еквівалентний діаметр зерен завантаження, см;

$\nu$  – кінематична в'язкість води, яка приймається залежно від її температури, см<sup>2</sup>/с.

Критичну інтенсивність промивки знаходимо за формулою:

$$V_{кр} = \frac{\nu}{d_s} \cdot \frac{A_q}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{A_q}}, \text{ см/с}, \quad (1.46)$$

а число псевдозрідження:

$$Z = \frac{V_{пр}}{V_{кр}}, \quad (1.47)$$

де  $V_{пр}$  – розрахункова (середня) інтенсивність промивки фільтра, см/с;

$V_{кр}$  – критична інтенсивність промивки, при якій починається зважування завантаження, см/с.



При визначенні числа псевдозрідження для підвищення надійності інтенсивність приймається на 10 % менше розрахункової.

Обчислюють конструктивний параметр дренажу  $A$ :

$$A = \alpha + 1,1 \cdot K \cdot (1 - \alpha), \quad (1.48)$$

де  $\alpha$  – відношення числа вхідних патрубків, що мають менші діаметри, до загального їх числа в осередку фільтра, при 12 патрубках з меншими діафрагмами із загальної кількості;

$K$  – співвідношення інтенсивності промивання в сусідніх зонах.

Втрати напору для зважування завантаження на всій площі розраховують за формулою:

$$h = \frac{0,25}{1 - \left(\frac{A}{Z}\right)^{1,67}}, \text{ м.} \quad (1.49)$$

Визначають діаметр більшого отвору:

$$d_{\text{б}} = d_{\text{до}} \cdot \sqrt{\frac{2K}{K+1}}, \quad (1.50)$$

де  $d_{\text{до}}$  – діаметр отворів діафрагми в патрубках дренажу при постійній по площі інтенсивності:

$$d_{\text{до}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{нр}} \ell_{\text{к}} L_{\text{к}}}{\mu \sqrt{2gh_{\text{д}}}}}, \quad (1.51)$$

де  $\ell_{\text{к}}$ ,  $L_{\text{к}}$  – крок дренажних каналів і їх довжина, см;

$\mu$  – коефіцієнт витрати патрубка з діафрагмою, що приймається попередньо в межах 0,6–0,7, а потім підлягає уточненню.

Коефіцієнт опору цієї діафрагми дорівнює

$$\xi_{\text{дв}} = \frac{1 + 0,5(1 - \bar{f}) + 1,35\sqrt{1 - \bar{f}}}{\bar{f}^2}, \quad (1.52)$$

де  $\bar{f} = (d_{\text{до}} / d_{\text{н}})^2$  – співвідношення площ отвори і патрубка.

Витрати та швидкість через патрубки більшого і меншого витрат складуть:

$$q_{\text{б}} = q_{\text{сп}} \frac{2K}{K+1} \text{ л/с,} \quad (1.53)$$

$$V_{\text{п.б}} = \frac{4q}{\pi d_{\text{н}}^2} \text{ м/с,} \quad (1.54)$$

$$q_{\text{м}} = \frac{q_{\text{б}}}{K} \text{ л/с,} \quad (1.55)$$

$$V_{\text{н.м}} = \frac{V_{\text{п}}}{K} \text{ м/с.} \quad (1.56)$$

Втрата напору в патрубку більшої витрати дорівнює:

$$h = \xi_{п.б} \frac{V_{п.б}^2}{2g} \text{ м.} \quad (1.57)$$

що не відрізняється від попередньо прийнятої втрати напору (1,6 м).

Необхідний коефіцієнт опору патрубка меншої витрати визначають зі співвідношення:

$$\xi_{п.м} = K^2 \cdot \xi_{п.б.} \quad (1.58)$$

Розрахунок відповідного перетину діафрагми виробляють ітераціями за формулою, де в якості початкового можна прийняти  $0,5 \div 1$ :

$$\bar{f} = \sqrt{\frac{1 + 0,5(1 - \bar{f}) + 1,35\sqrt{1 - \bar{f}}}{\xi_{д.м}}}, \text{ м.} \quad (1.59)$$

Підставивши в формулу  $\xi_{д.м}=25,44$ , після третьої ітерації отримаємо  $\bar{f} = 0,311$ , звідки діаметр діафрагми дорівнює:

$$d_{д.м} = d_n \cdot \sqrt{\bar{f}}, \text{ м.} \quad (1.60)$$

Перевіряємо висоту швидкого фільтра, яка складається з висоти дренажу, завантаження і шару води з урахуванням сухого борту (рис. 1.2).

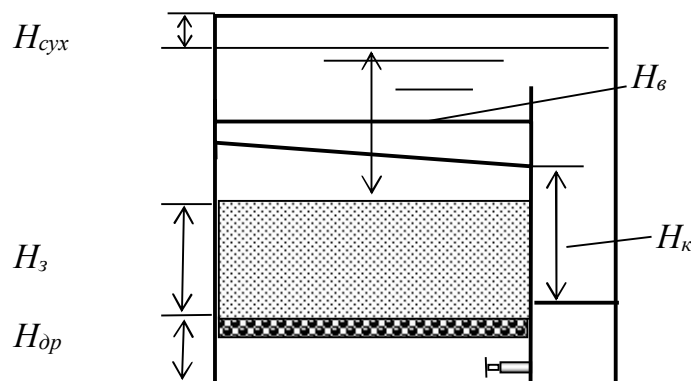


Рисунок 1.2 – Схема швидкого фільтра

Наприклад, отримана висота швидкого фільтра (4,3 м), з урахуванням його реконструкції, не перевищує висоту існуючого фільтра – 4,8 м.

**Завдання.** Перевірте роботу швидких фільтрів (далі ШФ) і визначте необхідність їх добудови після збільшення продуктивності до  $Q_{доб} = 55\,000 \text{ м}^3/\text{добу}$ , розміри ШФ  $6 \text{ м} \times 8 \text{ м}$ , площею  $f = 37,4 \text{ м}^2$ . Скільки необхідно добудувувати ШФ, якщо до реконструкції на станції водопідготовки працювало 6 ШФ?

*Біологічна очистка природних вод.* Якщо заплановано безреагентне поліпшення якості вхідної води перед первинним знезараженням, за рахунок біологічних процесів, точніше, за рахунок нарощування біоценозу на капроновій нитці фільтруючою касети-біореактора [7]. Цей метод дозволить

нам набагато знизити такі показники вхідної води, як: БПК<sub>5</sub>, каламутність, забарвленість, хлорпоглинаємість, перманганатне окислення, що в свою чергу знизить навантаження на очисні споруди та дозволить нам зекономити кошти на коагулянті та насамперед на хлорі, при первинному знезараженні.

### Порядок розрахунку Розрахунок касети, що фільтрує

Для запобігання потрапляння відірвалися пластивців біоценозу у всмоктуючому відділенні перед його вхідним отвором додатково можна влаштовувати фільтруючі касети (рис. 1.3), заповнені великими гранулами пінополістиролу. Осад періодично видаляють за допомогою ежектора.

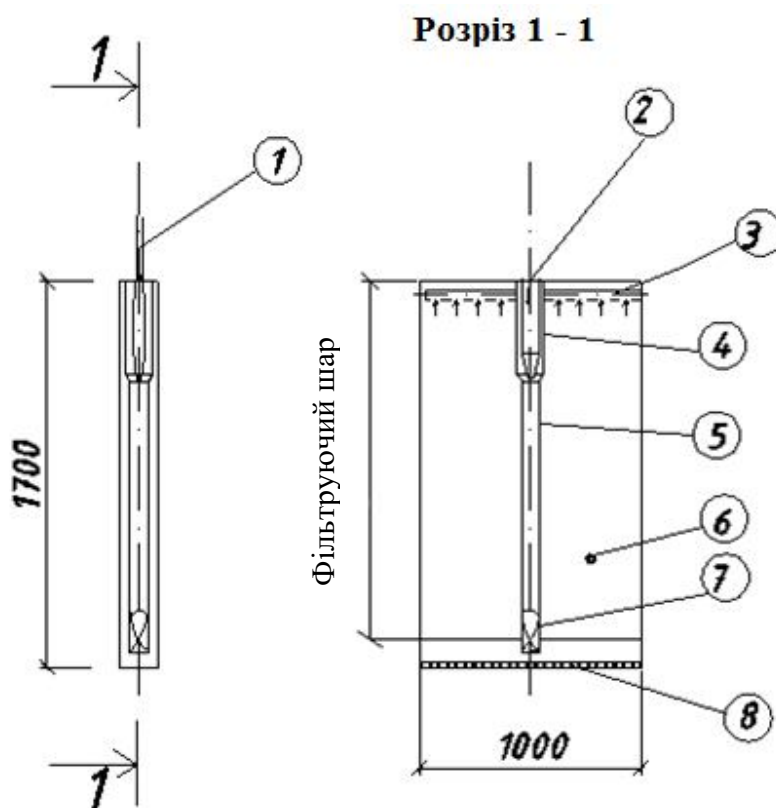


Рисунок 1.3 – Система фільтрів касета:

1 – промивної трубопровід для фільтруючої сітки  $d=40$  мм; 2 – напірний патрубок, з'єднаний із трубопроводом промивної води; 3 – патрубки, що підводять; 4 – колектор; 5 – циліндричний патрубок; 6 – наповнювач; 7 – гвинтова вставка; 8 – перфоровані дно

Визначимо коефіцієнт фільтрації матеріалу касети по формулі:

$$K_n = 1,8 \cdot p \cdot d \frac{1}{2}, \text{ м/с}, \quad (1.61)$$

де  $p$  – пористість завантаження;

$d$  – середній розмір часток завантаження, м.

Коефіцієнт опору касети визначимо за формулою:

$$\zeta M = 2 \cdot g \cdot \frac{\delta}{K_k}, \quad (1.62)$$

де  $K_k \geq (0,7 \dots 1,2)$  прийнята швидкість води на вході в пори матеріалу касети, м/с [4];

$\delta$  – товщина касети, що фільтрує, м;

$g$  – прискорення сили тяжіння, 9,81 м/с<sup>2</sup>.

Втрати напору в незабруднених касетах при нормальних умовах роботи водозабору [4]:

$$h_k = \zeta M \frac{V_k^2}{2g}, \text{ м/с.} \quad (1.63)$$

При тих самих умовах роботи водозабору, але гранично допустимому забрудненні касет ( $K_{к.з} = 1,5$ ) визначимо коефіцієнт гідравлічного опору:

$$\gamma_{к.з} = \frac{\zeta M}{2g\omega^2} \cdot \left( \frac{K_{к.з}}{K_3} \right)^2, \text{ см}^2/\text{см}^3, \quad (1.64)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт можливого забруднення пристрою,  $K_3 = 1,25$  [4];

$\omega$  – площа живого перетину потоку розглянутих пристроїв, м<sup>2</sup>.

Отже, водоприймальний пристрій прийнятого типу і розмірів у всіх можливих режимах його роботи забезпечує необхідні умови для відбору розрахункової витрати води з джерела.

### Розрахунок біореактора

Для зниження органічних домішок у природній воді необхідно передбачити біологічне попереднє очищення на основі природного біоценозу та носіях іммобілізованої мікрофлори в біореакторі. Цей метод застосовують на першій стадії обробки, тобто безпосередньо при заборі води.

Розміщення біореактора можливо безпосередньо в приймальному відділенні водозабору. Прямоточний біореактор (рис. 1.4), розділений по довжині вертикальними перегородками на 5 рівних секцій. У кожній із секцій металевий каркас із закріпленою на ньому насадкою. Насадка виготовлена з капронової текстурованої джгутової нитки довжиною 1,5 м (з урахуванням запасу на кріплення). Насадка на каркасі закріплена горизонтально паралельними смугами, на відстані 10 см одна від одної. Кріплення завантаження здійснюється зверху і знизу до армованої сітці з розміром осередків 0,1 м × 0,1 м. Маса насадки в біореакторі становить 74 кг.

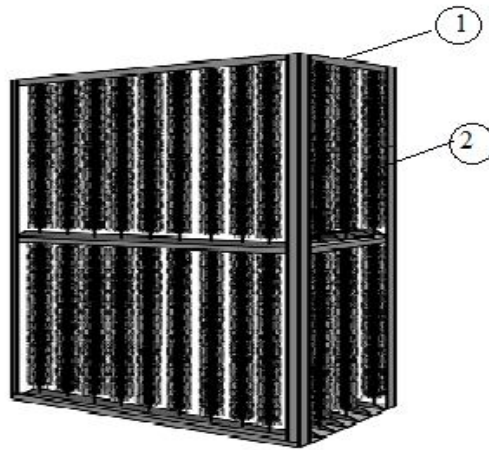


Рисунок 1.4 – Прямоточний біореактор:  
*1 – каркас, 2 – завантаження*

У міру заростання завантаження виробляють її промивку. Цей період роботи біореактора є одним з найважливіших, оскільки від цього залежить подальша ефективність його роботи. Несвоєчасне очищення завантаження від налиплого біомаси може викликати вторинне забруднення води.

Біореактор встановлюється в приймальному відділенні берегового колодязя (рис. 1.5). Вихідна вода надходить через приймальні вікна в приймальне відділення колодязя. Завантаження з волокон розташовують між засувкою і вхідним отвором у всмоктувальне відділення.

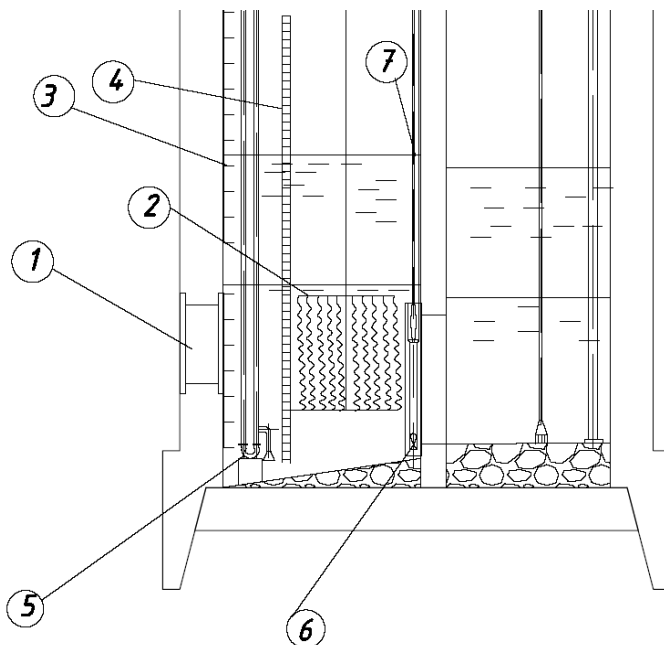


Рисунок 1.5 – Конструкція берегового колодязя з біореактором і фільтруючою касетою:

*1 – водоприймальні отвори; 2 – біореактор з завантаженням; 3 – сходи;  
 4 – утримує сітка; 5 – ежектор; 6 – фільтруюча касета*

Для промивки біореактора та фільтруючих касет передбачають спеціальні резервуари, розташовані в наземній частині колодязя, в яких видаляються забруднення від завантаження. Завантаження і касети витягають ручної або електричної талю. Вільний доступ до завантаження біореактора дозволяє оперативно змінювати ступінь наповнення, виробляти промивку і заміну волокон. За необхідності підвищення концентрації розчиненого кисню до біореактора може бути підведений повітропровід від компресора.

Така конструкція біореактора не вимагає значних витрат, оскільки більшість з перерахованих елементів (гідроелеватор, таль, лебідка тощо) і так встановлюється на водозаборах. Невеликі додаткові витрати пов'язані лише з придбанням завантаження і її монтажем.

Для попереднього очищення в біореакторі вибираємо насадку, яка виготовлена з капронової текстурованої джгутової нитки (ТУ 6-06-С116-87).

Характеристика капронової нитки:

- щільність – 1,14 г/м<sup>3</sup>;
- пористість – 0,52 %;
- питома поверхня – 26,1 м<sup>2</sup>/г;
- вологість – 3,5–5 %;
- розривне напруження – 0,47–0,61 МПа;
- відносна міцність в мокрому стані – 83,8–88 %;
- стійкість до багаторазових вигинів при  $s = 0,5$  МПа, число вигинів – 28,3–24,78 тис.;
- стійкість до стирання при навантаженні 30 Гс, число циклів – 0,12–0,15 тис.;
- температура розм'якшення – 196 °С.

Стійкість до розчинів:

- *NaOH*, *KON*, *Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>*, *NH<sub>4</sub>OH* – цілком стійко;
- *H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>*, *HCl*, *HNO<sub>3</sub>* – нестійка;
- гідрофобність – 78 %.

Повний цикл роботи біореактора розраховується як сума тривалості його роботи до закінчення «зарядки» ( $t_{зар}$ ), корисного періоду роботи ( $t_n$ ), і періоду промивання біореактора водою або регенерацією носіїв від надлишкової біомаси з використанням знезаражувальних реагентів ( $t_{пром}$ ).

$$t_{пов} = t_{зар} + t_n + t_{пром}, \text{ ГОД}, \quad (1.65)$$

де

$$t_{зар} = \frac{19,5 \cdot v^{0,4}}{T^{0,9} \cdot v^{0,63} \cdot \varphi^{0,48} \cdot ПО^{0,33}}, \text{ ГОД}, \quad (1.66)$$

$$t_n = \frac{3321 \cdot t_{кон}^{0,32}}{T^{0,34} \cdot v^{0,63} \cdot \varphi^{0,48} \cdot ПО^{0,33}}, \text{ ГОД}, \quad (1.67)$$

де  $v$  – швидкість фільтрування води через завантаження, м/ч;

$T$  – температура вихідної води, С °;

$ПО$  – перманганатна окиснюваність початкової води, мгО<sub>2</sub>/л.

Елементи наживлення повинні бути стійкими по відношенню до дії мікроорганізмів, мати високу міцність і стійкістю до дії мікроорганізмів, мати високу міцність і стійкість, не розчинятися в агресивних середовищах. Виходячи з діаметра нитки і необхідності ступеня наповнення завантаженням апарату, знаходиться довжина волокон з урахуванням збільшення останньої на 5–10 см для кріплення волокон до каркасу.

Необхідна інтенсивність промивки біореактора вихідної водою рекомендується в межах 12–18 л/см<sup>2</sup>, тривалість промивки – до 4–6 хв.

У міру заростання завантаження необхідно виробляти її промивку.

Промивання потрібна для видалення надлишкового забруднення затриманих завантаженням, і запобігання вторинного забруднення води.

При сильному заростанні завантаження в промивну воду додатково додають знезаражувальний розчин, наприклад, 5 % розчин мідного купоросу з дозою 2–3 мг/л.

У процесі експлуатації, при зміні якості води ступінь наповнення завантаженням біореактора може оперативно змінюватися шляхом регулювання натягу ниток або їх кількості.

Вихідні дані для розрахунку коефіцієнтів у формулах (1.66–1.67).

Таблиця 1.4 – Вихідні дані для розрахунку коефіцієнтів

$t$ °С	$V$ , м/ч	$\varphi$	$T_{конт}$ , Г	$ПО_{вих}$ , мг/л
18	3	0,2	0,13	8

**Завдання.** Запланувати безреагентне поліпшення якості вхідної води перед первинним знезаражуванням, за рахунок біологічних процесів, точніше, за рахунок нарощування біоценозу на капроновій нитці фільтруючої касети-біореактора. Показники вхідної води як: БПК<sub>5</sub> = 5 мг/л, каламутність 250 мг/л, забарвленість 50 град., хлор поглинання 5 мг/л.

*Знезараження води.* У водопровідній воді перед споживачами вміст залишкового хлору  $P_{хл}$  повинен бути не менше [8]:

- вільного хлору 0,3 мг/дм<sup>3</sup>;
- зв'язаного хлору 0,8 мг/дм<sup>3</sup>.

Величина залишкового хлору у воді залежить від якості оброблюваної води  $C_a$ , дози активного хлору  $D_{хл}$  та тривалості контакту хлору з водою:

$$P_{хл} = f(C_a, D_{хл}, T_{хл}), \text{ мг/дм}^3 \quad (1.68)$$

На рисунку 1.6 показано залежність величини залишкового вільного хлору  $P_{хл}$  в очищеній воді від дози активного хлору  $D_{хл}$  після двох годин перебування його у воді ( $T_{хл} = 2$  год). Точка С на графіку називається критичною. Цей графік відповідає якості очищених вод групових водопроводах, що базуються на використанні поверхневих вод басейну Дніпра [8].

Як уже відмічалось, із продовженням часу транспортування води до об'єктів її споживання збільшується потрібна початкова доза розчину гіпохлориту натрію по товарному продукту, яка визначається за формулою:

$$D_{зи} = \frac{D_{хл}}{K}, \text{ г/м}^3, \quad (1.69)$$

де  $D_{хл}$  – потрібна початкова доза активного хлору у воді, г/м<sup>3</sup>;

$K$  – коефіцієнт, який характеризує вміст активного хлору в даному розчині гіпохлориту натрію:

$$K = \frac{C_{акх}}{C_{з.н}}, \quad (1.70)$$

де  $C_{акх}$  – маса активного хлору в 1 м<sup>3</sup> розчину гіпохлориту натрію, кг/м<sup>3</sup>;

$C_{з.н}$  – маса 1 м<sup>3</sup> розчину гіпохлориту натрію, кг/м<sup>3</sup>.

Величину залишкового вільного хлору  $P_{хл}$  в очищеній воді можна розрахувати:

$$P_{хл} = D_{хл} - a \cdot T_{хл}^\alpha, \text{ мг/дм}^3. \quad (1.71)$$

Параметри  $a$  і  $\alpha$  залежать від величини  $D_{хл}$ . У таблиці 1.5 наведено значення цих параметрів для досліджуваних початкових доз активного хлору [8].



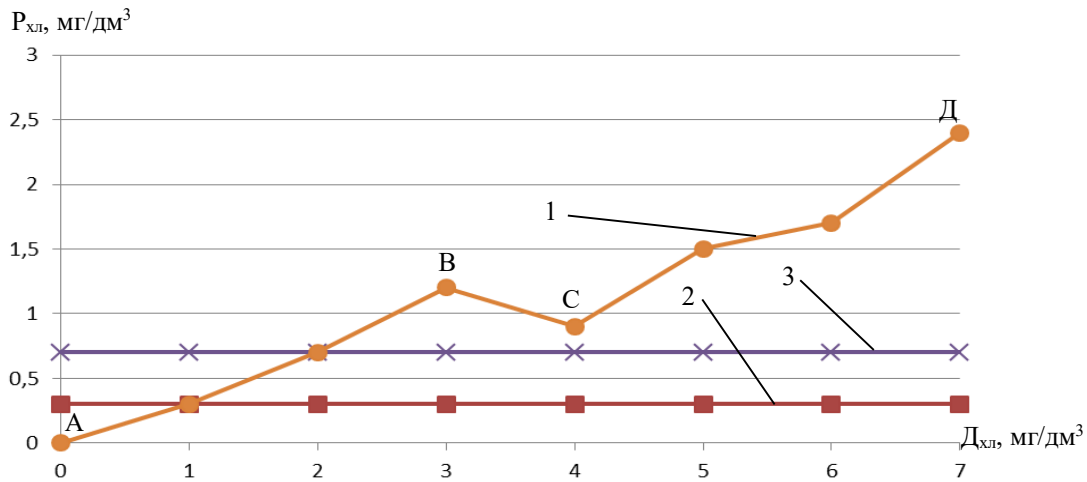


Рисунок 1.6 – Залежність величини залишкового хлору  $P_{xl}$  в очищеній воді від дози активного хлору  $D_{xl}$ :

1 – залишковий вільний хлор для  $T_{xl} = 2$  год; 2 і 3 – мінімальний вміст у водопровідній воді залишкового відповідно вільного ( $0,3$  мг/дм<sup>3</sup>) і зв'язаного ( $0,8$  мг/дм<sup>3</sup>) хлору

Параметри  $a$  і  $\alpha$  для кожного значення  $D_{xl}$  визначались за формулами:

$$\alpha = \frac{\ln(D_{xl} - P_{xl.2}) - \ln(D_{xl} - P_{xl.1})}{\ln T_{xl.2} - \ln T_{xl.1}}; \quad (1.72)$$

$$a = \exp\{\ln(D_{xl} - P_{xl.1}) - \alpha \ln T_{xl.1}\}, \quad (1.73)$$

у яких значеннях  $P_{xl.1}$  і  $P_{xl.2}$  і відповідні їм величини  $T_{xl.1}$  і  $T_{xl.2}$  приймалися із таблиці 1.5.

Значення допустимого часу перебування хлору у воді  $T_{xl.d}$  визначались із умов забезпечення в кінці цього часу величини мінімальної дози залишкового вільного хлору  $P_{xl.min} = 0,3$  мг/дм<sup>3</sup> за формулою:

$$T_{xl.d} = \left( \frac{D_{xl} - 0,3}{a} \right)^{1/\alpha}. \quad (1.74)$$

Таблиця 1.5 – Значення допустимого перебування хлору у воді

Початкова доза активного хлору $D_{xl}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Величина $P_{xl}$ , мг/дм <sup>3</sup> для $T_{xl}$ , год				Параметри рівняння (1.71)		Допустима тривалість перебування хлору у воді $T_{xl}$ , год
	2	4	6	15	$a$	$\alpha$	
1	2	3	4	5	6	7	8
1,68	0,26	0,22	0,13	0,04	1,41	0,05	0,67
2,29	0,65	0,48	0,37	0,11	1,46	0,15	2,86
3,36	1,15	0,85	0,59	0,26	1,91	0,2	6,55
4,65	1,52	1,12	0,88	0,36	2,81	0,17	13,07

На рисунку 1.7 показано графік залежності потрібної початкової дози активного хлору  $D_{xл}$  від потрібного часу перебування хлору у воді, який залежить від довжини шляху  $L$  та швидкості руху води  $V$  від точки уведення гіпохлориту натрію до найвіддаленіших водоспоживачів [8]. Цей графік побудовано за значеннями 1-ї та 8-ї граф таблиці 1.5.

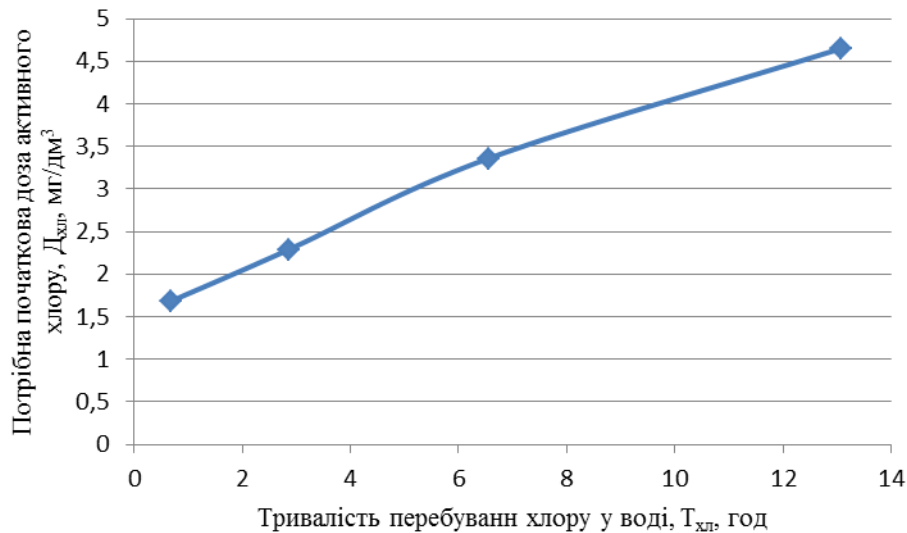


Рисунок 1.7 – Графік залежності потрібної початкової дози активного хлору  $D_{xл}$  від потрібного часу перебування хлору у воді  $T_{xл}$

Як видно з цього графіка, функціональна залежність  $D_{xл} = f(T_{xл})$  є степеневою функцією, яка зображується рівнянням:

$$D_{xл} = 0,3 + bT_{xл}^{\beta}, \text{ мг/дм}^3. \quad (1.75)$$

Параметри  $b$  і  $\beta$  визначено методом найменших квадратів:  $b = 1,51$ ;  $\beta = 0,3$ .

Оскільки

$$T_{xл} = \frac{L}{3,6 \cdot V}, \text{ ГОД}, \quad (1.76)$$

де  $L$  – довжина шляху транспортування води до найвіддаленіших споживачів, км;  
 $V$  – середня швидкість руху води, м/с, то мінімальна початкова доза активного хлору  $D_{xл}$  визначається за формулою:

$$D_{xл} = 0,3 + 1,03 \cdot \left(\frac{L}{V}\right)^{0,3}, \text{ мг/дм}^3. \quad (1.77)$$

Якщо середня швидкість руху води в трубах у межах 1–1,1 м/с, то формула (1.77) має більш простий вигляд [8]:

$$D_{xл} = 0,3 + L^{0,3}, \text{ мг/дм}^3. \quad (1.80)$$

Доза технічного гіпохлориту натрію, яку потрібно вводити в очищену воду для її знезараження, залежить від концентрації в ньому активного хлору  $K_{xл}$ , в

частках одиниці. Отже, загальну дозу гіпохлориту натрію визначають за формулою:

$$D_{г.л} = \frac{0,3 + L^{0,3}}{K_{хл}}, \text{ мг/дм}^3. \quad (1.81)$$

Добову витрату технічного гіпохлориту натрію вираховуємо за формулою:

$$Q_{г.л.доб} = \frac{Q_p(0,3 + L^{0,3})}{K_{хл.ср}}, \text{ дм}^3/\text{добу}, \quad (1.82)$$

де  $Q_p$  – добова витрата води на водопроводі, тис. м<sup>3</sup>/добу;

$K_{хл.ср}$  – середня за добу концентрація активного хлору в розчині гіпохлориту натрію, в частках одиниці.

**Завдання 1.** Знайти дозу розчину гіпохлориту натрію, в якому вміст активного хлору становить  $C_{а.хл} = 0,15$  кг/м<sup>3</sup>, якщо час перебування хлору у воді від точки його введення до найвіддаленішого споживача становить  $T_{хл} = 12$  год.

**Завдання 2.** Треба визначити добову витрату технічного гіпохлориту натрію з середньою концентрацією активного хлору в ньому  $K_{хл.ср} = 0,15$  для знезараження питної води витратою  $Q_p = 9$  тис. м<sup>3</sup>/добу, якщо шлях транспортування води до віддалених споживачів дорівнює  $L = 10$  км, а швидкість руху води  $V = 1$  м/с.

## ЗМ 2 РЕКОНСТРУКЦІЯ І ІНТЕНСИФІКАЦІЯ РОБОТИ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД

*Мета занять:* навчитися визначати необхідність реконструкції і розширення очисних споруд виникає при невідповідності одержуваного ефекту очищення стічних вод необхідного при скиданні їх у природні водойми або використанні в господарських цілях.

### 2.1 Визначення розрахункових витрат стічних вод

#### Порядок розрахунку

Розрахункову добову витрату стічних вод знаходимо за формулою:

$$Q_{\text{розр.доб}} = Q_{\text{сер.доб}} \cdot K_{\text{доб}}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (2.1)$$

де  $K_{\text{доб}}$  – коефіцієнт добової нерівномірності, приймається відповідно до таблиці 2 п. 7.1.6 ДБН [9].

Збільшену пропускну спроможність знаходимо за формулою

$$Q'_{\text{розр.доб}} = (100\% + a\%) \cdot Q_{\text{сер.доб}}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (2.2)$$

де  $a$  – заплановане збільшення пропускну спроможності у відсотках від  $Q_{\text{сер.доб}}$ , %.

Розрахункові максимальні і мінімальні секундні витрати стічних вод, л/с:

$$q_{\text{max.c}} = \frac{Q'_{\text{розр.доб}} \cdot K_{\text{gen.max}}}{86,4}, \text{ л/с}, \quad (2.3)$$

де  $K_{\text{gen.max}}$  – коефіцієнт нерівномірності припливу стічних вод у населеному пункті, знаходимо за таблицею 2 п. 7.1.6 із [13].

$$q_{\text{min.c}} = \frac{Q'_{\text{розр.доб}} \cdot K_{\text{gen.min}}}{86,4} \text{ л/с}. \quad (2.4)$$

**Завдання.** Визначити розрахункову добову, максимальні й мінімальні секундні витрати стічних вод при збільшенні пропускну спроможності на 20 % від  $Q_{\text{сер.доб}}$ ,  $Q_{\text{сер.доб}} = 42\,500 \text{ м}^3/\text{добу}$ , коефіцієнт добової нерівномірності  $K_{\text{доб}} = 1,1$ .

### 2.2 Розрахунок споруд механічного очищення

*Розрахунок регулюючих резервуарів.* Усереднення витрати та концентрацій забруднень стічних вод забезпечує рівномірне навантаження очисних споруд протягом доби, створює стабільні умови для їх роботи, дозволяє істотно послабити шкідливий вплив на біологічні процеси залпових скидів токсичних домішок [10].

Усереднення витрати стічних вод дозволяє зменшити обсяги очисних споруд, що проектуються, розміри яких визначаються зазвичай за максимальними годинним розрахунковими витратами. В ідеальному випадку максимальна добова продуктивність решіток, піскоуловлювачів, первинних і

вторинних відстійників, контактних резервуарів може бути забезпечена подаванням в них максимальної годинної витрати стічних вод протягом 24 год. Однак не завжди доцільно будівництво усереднювачів, розрахованих на усереднення всього добового обсягу витрат стічних вод. Хороші результати можуть бути досягнуті при використанні так званих регулюючих резервуарів значно менших за обсягом [11, 12].

Регулюючі резервуари складаються з розділовою камери, власне регулюючих резервуарів і підкачувальних насосних станції. Розділова камера, влаштовується після решіток і піскоуловлювачів, призначена для відбору з потоку стічних вод деякої їх витрати, коли вона перевищує розрахункову. Відібрані стічні води самопливом надходять до регулюючих резервуари, які працюють зі змінним рівнем рідини завдяки насосної станції, яка відкачує стічні води і посварить їх на очищення в години, коли надходження стічних вод на очисні споруди скорочується.

Регулюючі резервуари доцільно влаштовувати на базі первинних вертикальних або радіальних відстійників, які пристосовані для видалення осаду. Вони розміщуються після піскоуловлювачів. Оскільки створюваний в регулюючих резервуарах осад практично відрізняється від сирого осаду первинних відстійників то в подальшому він може оброблятися разом з ним.

### Порядок розрахунку

Визначаємо середньо секундну витрату стічних вод, що очищуються:

$$Q_{cep}^{cek} = \frac{Q}{24 \cdot 3,6}, \text{ л/с.} \quad (2.5)$$

За таблицею 2 п. 7.1.6 із [9] підбираємо максимальний коефіцієнт годинної нерівномірності водовідведення  $K_{gen.max}$ .

Тоді знаходимо максимальну годинну витрату стічних вод:

$$Q_{год}^{max} = \frac{Q_{cep}^{cek} \cdot K_{gen.max}}{24}, \text{ м}^3/\text{Год.} \quad (2.6)$$

Максимальна витрата стічних вод, яка може подаватися на очистку при забезпеченні умови нормальної роботи усіх споруд для очистки стічних вод (крім аеротенків) становитиме:

$$Q_{год}^{max1} = Q_{год}^{max} \cdot 24, \text{ м}^3/\text{добу.} \quad (2.7)$$

Об'єм регулюючих резервуарів визначаємо для випадку надходження визначаємо для випадку надходження на очисні споруди «нової» середньодобової витрати стічних вод, яку знаходимо за формулою:

$$Q_{cep}^{cek1} = \frac{Q_{год}^{max1}}{24 \cdot 3,6}, \text{ л/с.} \quad (2.8)$$

Для отриманого значення середньосекундної витрати спочатку за таблицею 2 [9] визначаємо значення коефіцієнта годинної нерівномірності водовідведення  $K_{gen.max}$ , після чого з таблиці 3.6 [13], беремо погодинний розподіл витрат стічних вод, які заносимо в другий стовпчик таблиці 2.1. Далі розрахунок ведемо в табличній формі, аналогічно визначення ємності приймального резервуара каналізаційної насосної станції або регулюючого резервуара водонапірної башти [10].

У третій стовпчик таблиці 2.1 заносимо значення середньогодинної витрати стічних вод, вираженої у відсотках до добової витрати.

Таблиця 2.1 – Розрахунок обсягу регулюючих резервуарів

Години доби	Витрата, %	Середня витрата, %	Різниця, %		Залишок
			+	-	
1	2	3	4	5	6
0–1					
1–2					
2–3					
3–4					
4–5					
5–6					
6–7					
7–8					
8–9					
9–10					
10–11					
11–12					
12–13					
13–14					
14–15					
15–16					
16–7					
17–18					
18–19					
19–20					
20–21					
21–22					
22–23					
23–24					
Всього	100	100			

Далі для кожної години доби визначаємо різницю між вираженими у відсотках годинними і середніми витратами стічних вод, яку заносимо в стовпчик 4 – якщо вона додатна, і у стовпчик 5 – якщо вона від’ємна.

У стовпчик 6 заносимо визначену із зростаючим підсумком суму різниць, наведену у стовпках 4 і 5, із якої визначаємо мінімальне і максимальне значення, за абсолютною величиною яких і визначаємо регулюючий об'єм резервуара.

$$W_p = \frac{\text{Залишок}_{\max} + \text{Залишок}_{\min}}{100} \cdot Q_{\text{год}}^{\max 1}, \text{ м}^3. \quad (2.9)$$

Регулюючі резервуари влаштовуються на базі радіальних первинних відстійників, розташовуючи їх після решіток і піскоуловлювачів.

Розміри і кількість відстійників підбираються відповідно розрахованому об'єму регулюючого резервуара.

Зрозуміло, що збільшення витрат стічних вод, що очищаються потребуватиме здійснення додаткових заходів з інтенсифікації роботи аеротенків і споруд для обробки осадів, витрата яких суттєво зросте.

**Завдання.** Запроектувати регулюючі резервуари для очисних споруд продуктивністю  $Q = 27\ 000 \text{ м}^3/\text{добу}$ . Визначити їх обсяг, вибрати місце їх розміщення щодо інших споруд технологічної схеми, підібрати споруди, на базі яких доцільно влаштувати регулюючі резервуари. Визначити нову продуктивність очисних споруд.

*Піскоуловлювачі.* Тип піскоуловлювача вибирають із врахуванням продуктивності очисної станції, необхідної ефективності затримання піску, схеми очищення стічних вод і обробки осадів, загальної компоновки очисних споруд і інших чинників. Аеровані та горизонтальні піскоуловлювачі з прямолінійним рухом рідини використовують при витратах очищуваних стічних вод більше  $10\ 000 \text{ м}^3/\text{добу}$ , горизонтальні з круговим рухом рідини - при витратах до  $70\ 000 \text{ м}^3/\text{добу}$ . Тангенційні піскоуловлювачі рекомендується використовувати при витратах очищуваних стічних вод до  $50\ 000 \text{ м}^3/\text{добу}$ . На малих очисних станціях застосовують вертикальні піскоуловлювачі. Найбільше застосування знайшли піскоуловлювачі з горизонтальним прямолінійним рухом води. Число піскоуловлювачів має бути не менше 2.

### Порядок розрахунку

Визначаємо необхідну площу живого перетину одного відділення піскоуловлювача  $\omega$

$$\omega = \frac{q_{\max}}{n \cdot v_s} \text{ м}^2, \quad (2.10)$$

де  $q_{\max}$  – максимальна секундна витрата стічних вод,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$n$  – кількість відділень піскоуловлювача (не менш двох), шт.;

$v_s$  – швидкість течії води, м/с, приймаємо за таблицею 20 з [9] для піскоуловлювачів при максимальному припливі стічних вод.

За формулою 17 [9] і наведеною формулою 2.11 визначаємо довжину піскоуловлювача:

$$L_s = \frac{1000 \cdot K_s \cdot H_s \cdot v_s}{u_0}, \text{ м.} \quad (2.11)$$

де  $K_s$  – коефіцієнт, що приймається за таблицею 19 [9];

$H_s$  – розрахункова глибина піскоуловлювача, м, яка для аерованих піскоуловлювачів дорівнює половині загальної глибини;

$v_s$  – швидкість руху стічних вод, м/с, приймається за таблицею 20 [9];

$u_0$  – гідравлічна крупність піску, мм/с, яка приймається в залежності від необхідного діаметра часток піску, що затримуються в піскоуловлювачі. Об'ємну вагу піску вологістю 60 % можна прийняти 1,5 т/м<sup>3</sup>.

Загальні розрахункові параметри горизонтального піскоуловлювача прийняті із таблиці 20 [9] і наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технологічні параметри піскоуловлювачів

Гідравлічна крупність піску $u_0$ , мм/с	Швидкість руху стічних вод при припливі		Глибина $H$ , м	Кількість затриманого піску л/чол на добу	Вологість піску, %	Вміст піску в осаді, %
	min	max				
Горизонтальні						
18,7–24,2	0,15	0,3	0,5–2	0,02	60	55–60
Аеровані						
13,2–18,7	0,08	0,12	0,7–3,5	0,03	40	90–97

Площа дзеркала води при максимальному припливі дорівнює:

$$F_s = \frac{q_{\max}}{u_0}, \text{ м}^2. \quad (2.12)$$

Розраховуємо ширину одного відділення піскоуловлювача [14]

$$B = \frac{\omega}{H_s}, \text{ м.} \quad (2.13)$$

Перевірку гідравлічного розрахунку піскоуловлювача робимо на визначення дійсної швидкості руху стічних вод при максимальному припливі:

$$v_s = \frac{q_{\max}}{(B_s \cdot H_s \cdot n_s)}, \text{ м/с} \quad (2.14)$$

і тривалості їх протікання [14]:

$$T = \frac{L_s}{v_s}, \text{ с.} \quad (2.15)$$



Для горизонтальних піскоуловлювачів тривалість протікання стічних вод при максимальному припливі повинна становити не менше 30 і не більше 60 с.

Добовий обсяг осаду, що накопичується в піскоуловлювачі [10, 14]

$$W_{\text{доб}}^{oc} = \frac{N_{np} \cdot q_{oc}}{1000}, \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (2.16)$$

Наведене населення

$$N_{np} = \frac{1000 \cdot Q}{a}, \text{ жит.}, \quad (2.17)$$

де  $a$  – норма водовідведення л/доб на одного жителя, приймається з таблиці 1 п. 7.1.1 [9].

Об'єм бункера першого відділення піскоуловлювача [10, 14]

$$W_{\text{б}} = \frac{W_{\text{сум}} \cdot T_{oc}}{n}, \text{ м}^3. \quad (2.18)$$

Місткість бункера, розрахована при 5-добовому зберіганні піску

$$W_{\text{б}} = W_{oc} \cdot 5, \text{ м}^3. \quad (2.19)$$

Глибина бункера піскоуловлювача

$$h_{\text{б}} = \frac{W}{B^2}, \text{ м}. \quad (2.20)$$

Висота шару осаду на дні піскоуловлювача

$$h_{oc} = \frac{K_n \cdot W_{\text{сум}}}{B \cdot n \cdot L_s}, \text{ м}, \quad (2.21)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу осаду по площі, приймається 3.

Повна будівельна висота піскоуловлювача

$$H_{\text{сум}} = H_s + h_{oc} + h_{\text{б}}, \text{ м}. \quad (2.22)$$

Площа піскових майданчиків

$$F = \frac{W_n \cdot 365}{q_{y\partial}}, \text{ м}^2. \quad (2.23)$$

### Завдання для самоконтролю

**Завдання 1.** Перевірте швидкість течії води в піскоуловлювачі з горизонтальним прямолінійним рухом води після збільшення середньо добової витрати стічних вод, при якому максимальна секундна витрата стічних вод склала 600 л/с, глибина піскоуловлювача  $H_s = 0,5$  м, швидкість течії води в піскоуловлювачі  $v_s = 0,3$  м/с, гідравлічна крупність піску  $u_0 = 18,7$  мм/с.

**Завдання 2.** Визначити і перевірити тривалість протікання стічних вод в піскоуловлювачі з прямолінійним рухом води при максимальному припливі,

якщо довжина піскоуловлювача  $L_s = 14$  м; глибина  $H_s = 0,5$  м; коефіцієнт добової нерівномірності  $K_{gen\ max} = 1,3$ ; швидкість течії води в піскоуловлювачі  $v_s = 0,3$  м/с. На станції водовідведення відбувається збільшення середньодобової витрати стічних вод на 32 %,  $Q_{сер.доб} = 29\ 000$  м<sup>3</sup>/добу.

**Завдання 3.** Визначити тривалість протікання стічних вод у піскоуловлювачі з круговим рухом води при максимальному припливі стічних вод і зовнішньому діаметрі. Довжина піскоуловлювача  $L_s = 12$  м, максимальна швидкість течії води в піскоуловлювачі  $v_s = 0,3$  м/с, коефіцієнт добової нерівномірності  $K_{gen\ max} = 1,25$ , якщо середньодобова витрата стічних вод збільшиться на 32 %,  $Q_{сер.доб} = 22\ 000$  м<sup>3</sup>/добу.

*Первинний відстійник.* Основними методами інтенсифікації роботи первинних відстійників є преаерація, біокоагуляція, обладнання первинних відстійників тонкошаровими блоками, переобладнання відстійників во флотатори або флотаційні біокоагулятори, попередня обробка стічних вод реагентами.

Методи преаерації та біокоагуляції детально розглянуті в [10–17]. Тонкошарові відстійники. Ефективним засобом поліпшення первинного освітлення стічних вод може бути обладнання відстійників трубчастими або поличними блоками, що забезпечують роботу відстійників в режимі тонкошарового відстоювання [15]. Такими блоками, виготовленими частіше з пластмас або полімерних плівок, можуть бути обладнані вертикальні, горизонтальні і радіальні відстійники.

У тонкошарових відстійниках відстійна зона ділиться на ряд шарів (ярусів) невеликої глибини 0,025–0,2 м [15]. Процес відстоювання в них відбувається досить швидко, оскільки шлях руху осаджуваних частинок в десятки разів менше, ніж у звичайних відстійниках. Рівномірний розподіл потоку стічних вод, забезпечений на початку споруди, зберігається по всій її довжині, завдяки чому коефіцієнт об'ємного використання зони освітлення в тонкошарових відстійниках  $K_{set}$  може досягати 0,7–0,8.

Основними елементами тонкошарових відстійників є пластини [10], що об'єднуються в блоки, які потім певним чином розміщуються в обсязі споруди. Пластини найчастіше виготовляються з пластмаси, проте вони також можуть бути виготовлені з металевих і азбестоцементних листів, скла або з тонких полімерних плівок товщиною 0,15–0,5 мм. За конструкцією тонкошарові блоки бувають поличними (пластинчастими), коли ярусу утворені плоскими або гофрованими листами або полицями, і трубчастими – з тонкошаровими

елементами у вигляді труб різного поперечного перерізу (круглого, прямокутного, багатокутного). Для забезпечення сповзання осаду з поверхні пластин або труб вони встановлюються в блоках під кутом  $\alpha = 45-60^\circ$ .

Залежно від взаємного напрямку руху води і осаду можливі три схеми роботи тонкошарових відстійників: протиточні – коли рідина і осад рухаються в протилежних напрямках, прямоточна коли рідина і осад рухаються в одному напрямку і перехресна коли рідина і осад рухаються в перпендикулярних напрямках. У напрямку руху потоку рідини тонкошарові відстійники бувають з висхідним, з низхідним і комбінованим рухом рідини.

У залежності від взаємного напрямку руху води й осаду можливі три схеми роботи тонкошарових відстійників: **протиточна** – коли рідина і осад рухаються у протилежних напрямках, **прямоточна** – коли рідина і осад рухаються в одному напрямку і **перехресна** – коли рідина і осад рухаються у перпендикулярних напрямках. За напрямком руху потоку рідини тонкошарові відстійники бувають з **висхідним**, з **низхідним** і **комбінованим** рухом рідини.

Поличні і трубчасті тонкошарові відстійники по ефективності затримання завислих речовин практично не відрізняються один від одного. Близько також технологічні показники відстійників, які працюють по противоточній, прямоточній або перехресній схемами. Вибір тієї чи іншої конструкції тонкошарових відстійників для конкретних умов здійснюється на основі техніко-економічних розрахунків. Для очищення міських стічних вод найчастіше використовують тонкошарові відстійники, що працюють за протиточною схемою (рис. 2.1) [10].

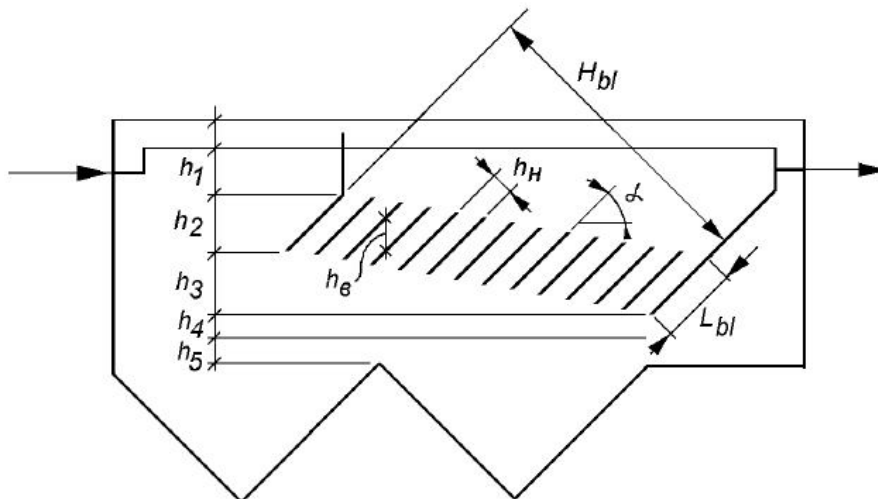


Рисунок 2.1 – Схема тонкошарового відстійника з протиточною схемою №1

Схема на рисунку 2.1 застосовується, коли з води потрібно видалити легкі домішки (мастило, нафтопродукти і т.п.).

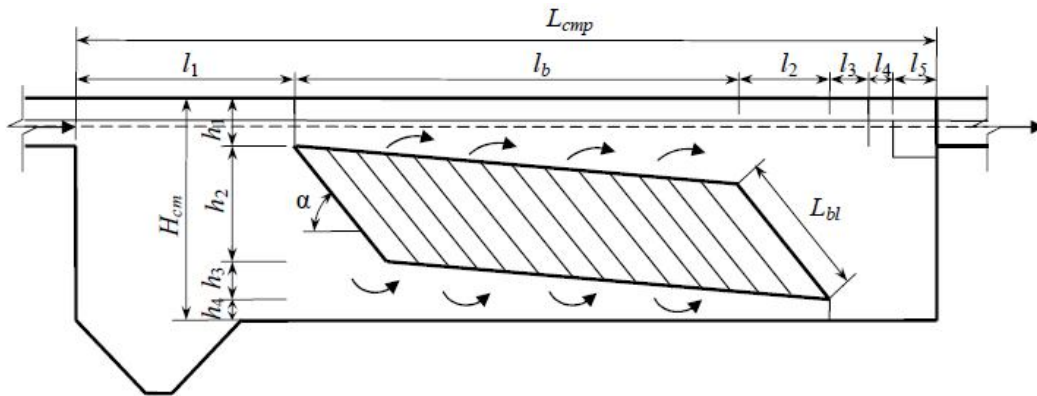


Рисунок 2.2 – Схема тонкошарового відстійника з протиточною схемою №2 [14]

Схема на рисунку 2.2 застосовується для видалення важких домішок.

Тонкошарові елементи проектують таким чином, щоб в них був забезпечений ламінарний рух води, тобто щоб число Рейнольдса не перевищувало 500 [10]. Цим умовам відповідають значення швидкості руху потоку рідини в міжблочному просторі тонкошарових відстійників, що не перевищують 10 мм/с.

Оскільки відстоювання стічних вод у тонкошарових відстійниках відбувається в ламінарному режимі [10], то час проходження частинкою зависі відстані між пластинами по вертикалі  $h_n$  буде дорівнювати часу проходження потоком рідини тонкошарового блоку з довжиною пластин  $L_{bl}$ , тобто

$$\frac{h_n}{u_0} = \frac{L_{bl}}{v}, \text{ м}, \quad (2.24)$$

звідки довжина пластин блоку повинна складати

$$L_{bl} = \frac{v_w h_{ii}}{u_0}, \text{ м}, \quad (2.25)$$

де  $u_0$  – гідравлічна крупність частинок зависі, що підлягають затриманню, мм/с.  
 $v$  – швидкість руху потоку рідини у міжблочному просторі, м/с.

Зазвичай довжину пластин приймають з коефіцієнтом запасу 1,2–1,5.

Загальна ширина тонкошарових блоків  $B_{bl}$  приймається конструктивно, виходячи з ширини секції відстійника, розмірів матеріалу аркушів блоків і умов їх монтажу.

Обов'язковою умовою, яка повинна виконуватися при конструюванні тонкошарових відстійників, має бути щільне стикування пластин в блоках, що встановлюються поряд.

Перевагами тонкошарових відстійників є їх компактність (завдяки малій необхідній довжині блоку), високий ефект освітлення (до 70–80 %), можливість ефективного освітлення стічних вод при високих концентраціях завислих речовин, погано осідають [10].

*Флотаційні біокоагулятори.* Процес освітлення стічних вод можна інтенсифікувати також шляхом переобладнання первинних відстійників в так звані флотаційні біокоагулятори.

Можливі схеми переобладнання в флотаційні біокоагулятори горизонтальних, вертикальних і радіальних відстійників і рекомендації по їх розрахунку наведені в літературі [10–12, 16, 17]. При переобладнанні первинних відстійників в флотаційні біокоагулятори приймають: тривалість перебування в флотаційного камері суміші очищаються стічних вод і робочої рідини – 35–40 хв; коефіцієнт рециркуляції (відношення витрати робочої рідини і очищаються стічних вод) – 0,5–0,7; тиск насичення робочої рідини повітрям – 0,45–0,50 МПа; дозу повітря – 2–3 % від сумарної витрати робочої рідини і очищаються стічних вод; вологість віддаленого шламу – 94–96 %. Винос завислих речовин з флотаційного біокоагуляторів не перевищує 200 мг/л (у складі завислих речовин, що виносяться, основна частина – це життєздатний активний мул).

Переобладнання первинних відстійників в флотаційні біокоагулятори дозволяє скоротити тривалість первинного освітлення стічних вод до 30–40 хв, на 30–40 % знизити БСК<sub>5</sub> стічних вод, що надходять в аеротенки. Зниження БСК у флотаційних біокоагуляторів відбувається за рахунок видалення з стічних вод частини розчинних і колоїдних забруднень. Одночасно відбувається також зниження концентрацій СПАР, жирів, нафтопродуктів, іонів важких металів та інших забруднень. Отримання флотаційного шламу зниженою вологості дозволяє виключити з технологічної схеми ущільнювачі надлишкового активного мулу, зменшити обсяги метантенків або інших споруд для обробки осадів і шламів. Недоліком флотаційного біокоагуляції є великі витрати електроенергії для перекачування робочої рідини під значним тиском.

*Попередня обробка стічних вод реагентами.* Інтенсифікація первинного відстоювання можлива шляхом введення в стічні води реагентів, а саме сульфату алюмінію, хлориду заліза, сульфатів окисного і закису заліза, катіонні поліелектроліти. Для поліпшення утворення пластівців мінеральні коагулянти можуть використовуватися в поєднанні з поліакриламідом, при необхідності може здійснюватися підлужування стічних вод вапном або іншими лужними реагентами. На вибір виду і доз реагентів впливають склад стічних вод, необхідний ступінь їх очищення, а також техніко-економічні міркування.

Використання реагентів на стадії попереднього очищення забезпечує не тільки істотне підвищення ефекту просвітлення стічних вод, а й видалення значної частини колоїдних і розчинних забруднень, зокрема таких, що важко окисляються, як нафтопродукти, барвники, ПАР тощо. Одночасно відбувається зниження концентрацій іонів важких металів та сполук фосфору. Зниження БСК і ХСК, концентрація завислих речовин і домішок, що досягається при реагентній обробки, дозволяє значно поліпшити роботу біологічних очисних споруд.

Водночас необхідно враховувати, що реагентна обробка стічних вод пов'язана з використанням дорогих реагентів і з будівництвом реагентного господарства, призводить до істотного збільшення кількості утворених опадів як по сухим речовиною, так і за обсягом. Тому рішення про використання реагентів для інтенсифікації очищення стічних вод на діючих спорудах повинно прийматися на основі всебічного аналізу ситуації.

### Порядок розрахунку

*Реконструкція існуючих відстійників у тонкошарові при противоточній схемі роботи рисунок 2.1.* При необхідності підвищення ефективності відстоювання знаходимо значення гідравлічної крупності за формулою [14]:

$$u_0 = \frac{1000 \cdot H_{set} \cdot K_{set}}{t_{set} \left( \frac{K_{set} \cdot H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}}, \quad (2.26)$$

Довжина пластин в блоці повинна становити [14, 15]:

$$L_{bl} = \frac{v_w h_{ti}}{U_0} \cdot k_{dis}, \text{ м}, \quad (2.27)$$

де  $h_{ti}$  – висота ярусу тонкошарового блоку, м, що дорівнює  $H_{set}$  з таблиці 21 [9];

$K_{dis}$  – коефіцієнт зносу виділених часток (при плоских пластинах  $K_{dis}=1,2$ ); при рифлених пластинах  $K_{dis}=1$ ) [14, 15];

$v_w$  – швидкість робочого потоку, мм/с, приймається з таблиці 21 [9];

$u_0$  – гідравлічна крупність частинок, що осаджуються, мм/с.

Згідно з п. 10.2.4.8 [13] кут нахилу стінок осадкових приямків приймається від  $50^\circ$  до  $55^\circ$ .

Продуктивність одного відстійника при збільшенні витрати стічних вод, становитиме [10]:

$$q_{set} = \frac{Q_1}{N \cdot 24}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (2.28)$$

де  $Q_1$  – «нова» витрата стічних вод,  $\text{м}^3/\text{добу}$ ;

$N$  – кількість секцій відстійника, шт.

Продуктивність тонкошарових відстійників з блоками, що працюють за противоточною схемою, визначається за формулою В.3 додатку В [9]:

$$q_{set} = 3,6 \cdot K_{set} \cdot L_{set} \cdot B_{set} \cdot W \cdot \cos(90 - \alpha), \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.29)$$

де  $K$  – коефіцієнт використання об'єму, приймається з таблиці 21 [9];

$L$  – довжина блоку, м;

В цьому випадку довжина блоку по нормалі становитиме [10]:

$$L = \frac{q_{set}}{3,6 \cdot K \cdot L \cdot B \cdot W \cdot \cos(90 - \alpha)}, \text{ м}. \quad (2.30)$$

Відстань між пластинами блоку по нормалі становить:

$$l' = h \cdot \operatorname{tg}(90 - \alpha), \text{ м}. \quad (2.31)$$

Для встановлення можливості розташування тонкошарового блоку в горизонтальному відстійнику необхідно визначити координати його крайніх точок (А і Е). Схема розташування тонкошарового блоку в відстійнику зображена на рисунку 2.3 [10].

Виходячи з цього кількість пластин в блоці буде становити:

$$n = \frac{L}{l'}, \text{ м}. \quad (2.32)$$

Для визначення горизонтальної координати точки А розглянемо  $\triangle ABD$  і  $\triangle KBC$ . Завдання полягає у визначенні  $AK = AB - BK$ . З  $\triangle ABD$  визначаємо АВ:  $\angle KBC = \alpha = 60^\circ$ , тоді:

$$AB = \frac{AD}{\sin \alpha}, \text{ м}. \quad (2.33)$$

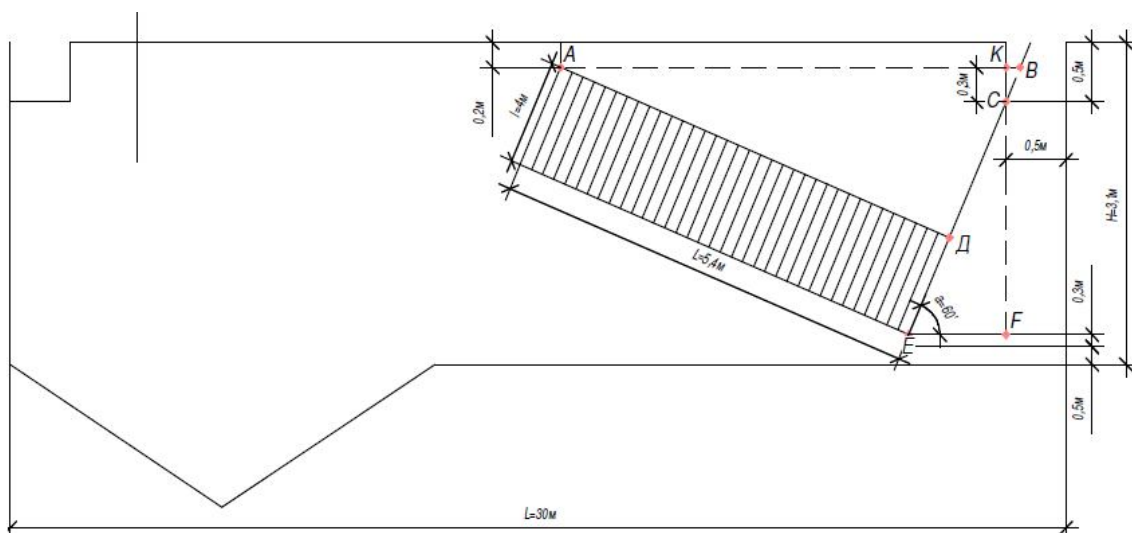


Рисунок 2.3 – Схема розміщення тонкошарового блоку в відстійнику

З  $\triangle KBC$  визначаємо  $KB$ :  $\angle KBC = \alpha = 60^\circ$ , тоді:

$$KB = \frac{KC}{\operatorname{tg} \alpha}, \text{ м}. \quad (2.34)$$

Знаходимо,  $AK = AB - KB$  м.

Горизонтально координата точки А (тобто відстань від торця відстійника до точки А) на тонкошаровому блоці становитиме:  $AB + 0,5$  м.

Розташування тонкошарового блоку в відстійнику з координатами точок зображено на рисунку 2.1.

При визначенні будівельної висоти відстійника крім висоти пластин  $h_2$  також враховують: висоту борту відстійника  $h_6 = 0,3$  м, висоту шару води над полицями  $h_1 = 0,1-0,5$  м, висоту зони, від якої залежить рівномірність розподілу води між ярусами  $h_3 = 0,2-0,5$ , висоту нейтрального шару  $h_4 = 0,1-0,2$  м, а також висоту шару осаду  $h_5 = 0,3$  м.

### Порядок розрахунку

*Реконструкція існуючих відстійників у тонкошарові відстійники з протиточною схемою роботи рисунок 2.2.*

Розраховуємо необхідний ефект освітлення у відстійниках,  $E$ :

$$E = \frac{C_{en} - C_{ex}}{C_{en}} \cdot 100, \%, \quad (2.35)$$

де  $C_{en}$  – початкова концентрація завислих речовин в стічній воді, що надходять у відстійник, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{ex}$  – допустима кінцева концентрація завислих речовин в освітленій воді, мг/дм<sup>3</sup>.

Визначається значення гідравлічної крупності,  $U_0$  за формулою 2.26.

Приймаємо кількість відділень відстійника  $n$ , але не менш двох.

За формулою 2.27 визначаємо довжину пластини у ярусі  $L_{bl}$ .

Призначаємо ширину тонкошарового блоку, що дорівнює ширині секції відстійника  $B_{bl} = B_{set}$  в межах, що наведені у таблиці 21 [9].

Визначаємо довжину зони тонкошарового відстоювання  $l_b$ :

$$l_b = \frac{q_w}{3,6 \cdot n \cdot B_{bl} \cdot K_{set} \cdot v_w}, \text{ м}, \quad (2.36)$$

де  $q_w$  – максимальна годинна витрата води, м<sup>3</sup>/год;

$K_{set}$  – коефіцієнт використання об'єму [9, табл. 21].

Приймаємо кут нахилу пластин тонкошарового блоку  $\alpha = (45-60^\circ)$ .

Приймаємо по таблиці 4.3 висоту ярусу тонкошарового блоку  $h_{bl} = 0,15-0,2$  м, швидкість робочого потоку, що дорівнює  $v_w = 2-10$  мм/с, і коефіцієнт використання об'єму  $K_{set} = 0,5-0,7$ .



За формулою (6.31) [10] знаходимо довжину пластини в блоці ярусу тонкошарового блоку,  $L_{bl}$ :

$$L_{bl} = \frac{v_w \cdot h_{bl} \cdot K_3}{u_0}, \text{ м}, \quad (2.37)$$

де  $v_w$  – швидкість руху потоку у міжполичному просторі приймається не більше 10 мм/с;

$h_{bl}$  – висота ярусу тонкошарового блоку, м, що дорівнює висоті  $H_{set}$ , за таблицею 6.8 з [10];

$K_3$  – коефіцієнт запасу, приймається 1,2–1,5.

Розраховуємо висоту тонкошарового блоку  $H_{bl}$ :

$$H_{bl} = \frac{q_w \cdot h_{ti}}{3,6 \cdot n \cdot B_{bl} \cdot L_{bl} \cdot K_{set} \cdot u_0}, \text{ м}, \quad (2.38)$$

де  $n$  – кількість секцій відстійників;

$q_w$  – максимальна годинна витрата води, м<sup>3</sup>/год.

Знаходимо число ярусів в тонкошаровому блоці

$$n_{bl} = \frac{H_{bl}}{h_{bl} \cdot \cos \alpha}, \text{ шт.} \quad (2.39)$$

Загальна довжина  $L_{cmp}$  відстійника визначається за формулою:

$$L_{cmp} = L_b + l_1'' + l_2'' + l_3'' + l_4'' + l_{II}'', \text{ м}, \quad (2.40)$$

де  $l_1''$  – довжина зони визначається з умови формування потоку перед розподілом між ярусами. У цьому ж обсязі відбувається виділення великих механічних домішок при цьому приймається в інтервалі 1–1,5 м:

$$l_2'' = L_{bl} \cdot \sin(90 - \alpha), \text{ м}, \quad (2.41)$$

$$l_3'' = 0,3 \text{ м}; \quad l_4'' = 0,05-0,1 \text{ м}; \quad l_{II}'' = 0,4-0,5 \text{ м}.$$

Загальна глибина води в відстійнику уст, м, визначається як сума висот різних зон

$$H_{cmp} = h_m + h_2 + h_3 + h_4, \text{ м}, \quad (2.42)$$

де

$$h_2 = L_{bl} \sin \alpha; \text{ м}, \quad (2.43)$$

$$h_m \geq 0,1 \text{ м}; \quad h_3 = 0,2-0,5 \text{ м}; \quad h_4 = 0,1-0,2 \text{ м}.$$

Визначаємо кількість осаду  $Q_{mud}$ , м<sup>3</sup>/год, що утворюється за добу.

$$Q_{mud} = \frac{Q \cdot (C_{en} - C_{ex})}{(100 - P_{mud}) \cdot \gamma_{mud} \cdot 10^4}, \quad (2.44)$$

де  $Q$  – добова витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/добу;

$P_{mud}$  – вологість осаду, що дорівнює 94–96 %;

$\gamma_{mud}$  – щільність осаду, що дорівнює 1 г/см<sup>3</sup>.

Визначається місткість прямоку одного відстійника для збору осаду

$$W_{mud} = \frac{1}{6} (B_{set} - 0,5) \cdot (B_{set}^2 + 0,5 \cdot B_{set} \cdot 0,25) \cdot tg\alpha, \text{ м}^3, \quad (2.45)$$

де  $\alpha$  – кут нахилу стінок прямоку, рівний  $50^\circ$ – $65^\circ$ .

Перераховуємо період між вивантаження осаду з відстійника Т:

$$T = \frac{24 \cdot n \cdot W_{mud}}{Q_{mud}}. \quad (2.46)$$

Розраховане значення Т має бути: при видаленні осаду під гідростатичним тиском – не більше 48 год, при видаленні осаду механічним способом – не більше 8 год.

### Порядок розрахунку

*Вертикальний відстійник із нисхідно-висхідним рухом рідини, що переобладнано у флотаційний біокоагулятор.*

Діаметр вертикальної циліндричної перегородки, що відокремлює центральну зону флотації від периферійної зони освітлених стічних вод визначаємо за формулою:

$$D_\phi = \sqrt{\frac{Q_{год} \cdot (1+k)}{N \cdot 0,785 \cdot q}}, \text{ м}, \quad (2.47)$$

де  $Q_{год}$  – годинна витрата очищених стічних вод після реконструкції,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$k$  – коефіцієнт рециркуляції при флотаційній біокоагуляції;

$N$  – кількість відстійників, що переобладнуються в флотаційні біокоагулятори, шт;

$q$  – навантаження на зону флотації,  $\text{м}^3/\text{м}^2$  годину.

Згідно з рекомендаціями [16] висоту шару флотошлему приймаємо рівною 0,3 м, а висоту нейтрального шару (від випускних вікон стічних вод вниз шару флотошлему) – 0,4 м.

$$h_\phi = \frac{Q_{год} \cdot (1+k) \cdot t_\phi}{60 \cdot 0,785 \cdot D_\phi^2 \cdot N}, \text{ м}, \quad (2.48)$$

де  $t_\phi$  – тривалість флотації, хв.

Глибина занурення циліндричної перегородки становитиме:

$$h_s = h_u + h_n + h_\phi + 0,5, \text{ м}, \quad (2.49)$$

де  $h_u$  – товщина флотошлему, м;

$h_n$  – товщина нейтрального шару, м;

$h_\phi$  – висота зони флотації, м;

0,5 – відстань, на яку перегородка повинна бути нижче за радіальні дірчасті трубопроводи робочої рідини, м.

При швидкості виходу стічних вод з водорозподільних вікон 0,8 м/с [16], площа водорозподільних вікон, що припадає на один флотаційний біокоагулятор, буде становити:

$$F_{\epsilon} = \frac{Q_{\text{час}}}{N \cdot V_{\epsilon} \cdot 3600}, \text{ м}^2. \quad (2.50)$$

Оскільки є діаметр зони флотації  $D_{\phi}$ , то приймаємо водорозподільник вікон [16]. Площа одного вікна при цьому становитиме:

$$F_{\epsilon 1} = \frac{F_{\epsilon}}{D}, \text{ м}^2. \quad (2.51)$$

Приймаємо відношення висоти до ширини вікна Н:В = 1:2.

Звідки:

$$H = \sqrt{\frac{F_{\epsilon 1}}{2}}, \text{ м}. \quad (2.52)$$

Фактична швидкість виходу стічних вод з водорозподільних вікон складе:

$$V_{\epsilon} = \frac{Q_{\text{час}}}{N \cdot N_{\epsilon} \cdot F_{\epsilon 1} \cdot 3600}, \text{ м/с}, \quad (2.53)$$

що знаходиться в допустимих межах  $V_{\epsilon} = (0,7...0,9)$  м/с.

Приймаємо відстань між водорозподільними вікнами, см. У такому випадку периметр центральної труби становитиме:

$$L_{\text{ц.тр.}} = B \cdot D_{\phi} + 0,1 \cdot D_{\phi}, \text{ м}, \quad (2.54)$$

а її діаметр:

$$d_{\text{ц.тр.}} = \frac{L_{\text{ц.тр.}}}{\pi}, \text{ м}. \quad (2.55)$$

Приймаємо центральну трубу умовним проходом, мм. Кількість радіальних розподільчих дірчастих трубопроводів приймаємо, штук, швидкість руху рідини в трубах – 1,5–2 м/с, а у отворах – 1,8–2,2 м/с [16].

Діаметр розподільних трубопроводів повинен складати:

$$D_{\text{пп}} = \sqrt{\frac{Q_{\text{час}}^{\text{max}} \cdot K}{N \cdot n_{\text{пп}} \cdot v_{\text{пп}} \cdot 3600 \cdot 0,785}}, \text{ м}. \quad (2.56)$$

Приймаємо розподільні трубопроводи умовним діаметром, мм. Визначаємо кількість отворів у розподільчих трубопроводах одного флотаційного біокоагулятора прийнятого раніше діаметром отворів рівним

$$N_{\text{оме}} = \frac{Q_{\text{год}}^{\text{max}} \cdot K}{N \cdot v_{\text{оме}} \cdot 3600 \cdot d_{\text{оме}}^2 \cdot 0,785}, \text{ од}. \quad (2.57)$$

У розрахунку на один радіальний розподільник трубопроводів робочої рідини знаходимо кількість отворів. Отвори розміщуємо по обидва боки

трубопроводу в горизонтальній площі на різній висоті один від іншого для забезпечення рівномірного розподілу робочої рідини в плані зони флотації.

Флотаційні біокоагулятори містять радіальні лотки для збирання флотаційного шламу і радіальними скребками для його згрібання до лотків.

При тривалості насичення робочої рідини повітрям 3–5 хв [16], обсяг напірного бака повинен бути:

$$V_{н.б} = 1,25 \frac{Q_{час}^{max} \cdot K \cdot t}{60}, \text{ м}^3. \quad (2.58)$$

Приймаємо стандартний напірний бак об'ємом. Для подачі робочої рідини приймаємо робочий і резервний насоси марки К, з відповідними подачею, м<sup>3</sup>/год і напором, м вод. ст.

Величина БПК<sub>5</sub> стічних вод після очищення у флотаційному біокоагуляторі визначається за формулою [15, 16]:

$$L_5 = L_0 - \Gamma \cdot \Pi_p, \text{ мг/дм}^3, \quad (2.59)$$

де  $L_0$  – початкова БПК<sub>5</sub> стічних вод, мг/л;

$\Gamma$  – БПК<sub>5</sub>/г сухої речовини зростання активного мула – питома сорбція зростання активного мулу ([15], рис. 13.2);

$\Pi_p$  – приріст мулу, г/л.

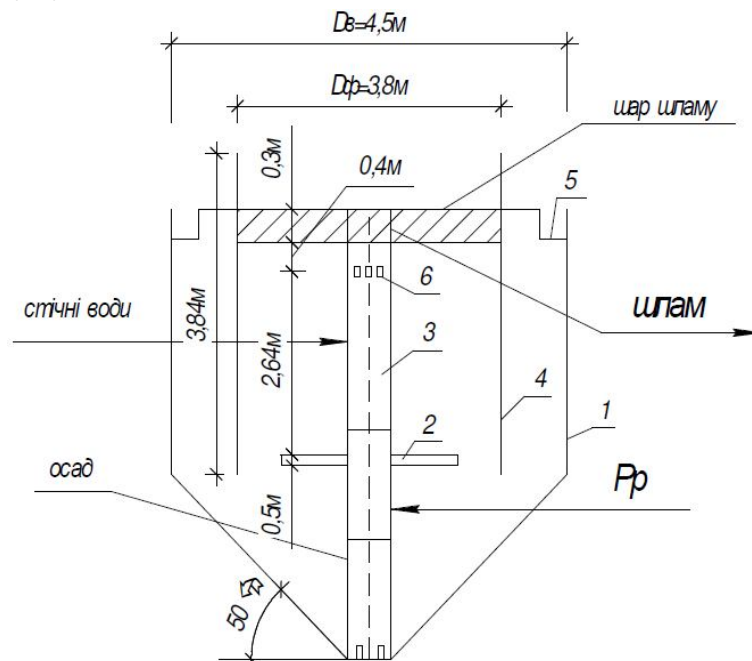


Рисунок 2.4 – Вертикальний відстійник, переобладнаний в флотаційний біокоагулятор:

- 1 – корпус;
- 2 – радіальні розподільні дірчасті трубопроводи робочої рідини;
- 3 – центральна труба;
- 4 – циліндрична вертикальна перегородка;
- 5 – кільцевої водозбірний лоток з водозливом, 6 – вікна для розподілу очищаються стічних вод

## Завдання для самоконтролю

**Завдання 1.** Для освітлення стічних вод на очисних спорудах продуктивністю  $Q = 48$  тис. м<sup>3</sup>/добу використовується 6 секцій горизонтальних відстійників глибиною проточної частини  $H = 3,1$  м, шириною  $B = 9$  м, довжиною  $L = 30$  м. Для інтенсифікації роботи відстійників запроєктувати тонкошарові блоки за умови, що витрата стічних вод, зростає до 75 тис. м<sup>3</sup>/добу, а затриманню підлягають завислі речовини з гідравлічною крупністю  $U_0 = 1,0$  мм/с. Зобразити схему установки тонкошарових блоків в відстійниках.

**Завдання 2.** У зв'язку з необхідністю підвищення ефективності роботи очисних споруд каналізації була проведена реконструкція 8 горизонтальних відстійників тонкошаровими блоками з протиточною схемою роботи. Ширина секції відстійника 9 м, кут нахилу пластин  $\alpha = 60^\circ$ , гідравлічна крупність  $U_0 = 0,091$  мм/с, швидкість робочого потоку  $v_w = 8$  мм/с, коефіцієнт використання об'єму  $K_{set} = 0,7$ , добова витрата стічних вод  $Q = 25\ 600$  м<sup>3</sup>/добу, максимальна годинна витрата  $q_w = 1650$  м<sup>3</sup>/год, висота ярусу тонкошарового блоку для протиточної схеми роботи складе 0,025–0,2 м. Розрахуйте тонкошарові відстійники з протиточною схемою роботи.

### 2.3 Розрахунок споруд біологічного очищення

*Аеротенках.* Інтенсифікацію роботи аеротенків можна здійснювати за кількома напрямками, головним з яких є збільшення маси активного мулу, бере участь в процесі біологічного очищення стічних вод. Збільшення маси активного мулу в аеротенках може бути досягнуто:

- 1) без зміни режиму роботи вторинних відстійників шляхом влаштування регенераторів (якщо вони були відсутні або збільшенням їх частки від загального обсягу аеротенках), пристроєм в аеротенках спеціального завантаження, яке покривається плівкою мікроорганізмів (так звані біотенках);
- 2) зі зміною режиму роботи вторинних відстійників шляхом обладнання їх тонкошаровими блоками або переобладнання в флотаційні муловідокремлювачі;
- 3) пристроєм між аеротенками і вторинними відстійниками спеціальних фільтруючих елементів (так звані фільтротенки);
- 4) здійсненням поділу мулової суміші за допомогою ультрафільтраційних мембран (так звані мембранні біореактори).

Слід розуміти, що збільшення маси активного мулу і окисної потужності аеротенків зажадає і відповідного збільшення окислювальної здатності використовуваних систем аерації для забезпечення біохімічного процесу киснем. Це досягається використанням високопродуктивних механічних,

пневмомеханічних або струминних аераторів, збільшенням глибини занурення аераторів (шахтні або вежні аеротенки), застосування чистого кисню або збагаченого киснем повітря (оксітенкі).

При проектуванні струминних аераторів типу «кільцеве сопло» для біологічного очищення стічних вод в аеротенках.

### Порядок розрахунку

При проектуванні струминних аераторів типу «кільцеве сопло» для біологічного очищення стічних вод в аеротенках.

Середньо секундна витрата стічних вод, становить:

$$Q_{pp}^{cek} = \frac{Q}{24 \cdot 3,6}, \text{ л/с.} \quad (2.60)$$

За таблицею 2 [15] визначаємо коефіцієнт нерівномірності водовідведення  $K = 1,8$ . У цьому випадку розрахункова витрата стічних вод, становитиме:

$$Q_{zoo}^{max} = \frac{Q}{24} \cdot K \text{ м}^3/\text{год.} \quad (2.61)$$

Витрата робочої рідини (мулової суміші), що подається на струменеві аератори, визначаємо за формулою 10.69 [10]:

$$Q_{pp} = \frac{q_0 \cdot (L_{en} - L_{ex}) \cdot Q_{час}^{max}}{p \cdot m \cdot K_e}, \text{ м}^3/\text{год.}, \quad (2.62)$$

де  $q_0$  – питома витрата кисню для повної біологічної очистки стічних вод ([9], додаток В, п. В.2.7), мг/мг, приймаємо  $q_0 = 1,1$  мг/мг;

$p$  – коефіцієнт використання кисню повітря, частка одиниці,  $p = 0,1-0,15$ .

$m$  – вміст кисню в атмосферному повітрі,  $m = 270$  г/м<sup>3</sup>;

$K_e$  – коефіцієнт ежекції,  $K_e = 1,5$ .

Кількість встановлюваних струминних аераторів приймається виходячи з умови забезпечення ефективного перемішування мулової суміші в аеротенку з конкретними розмірами. З конструктивних міркувань приймаємо кількість струминних аераторів  $n$  штук. В такому випадку витрата робочої рідини, що подається на один струминний аератор, складе:

$$Q_{pp}^1 = \frac{Q_{pp}}{n}, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (2.63)$$

Внутрішній діаметр повітряної трубки (рис. 2.5) повинен складати:

$$d_n^1 = \sqrt{\frac{Q_{pp}^1 \cdot K_1}{V_n \cdot 0,785 \cdot 3600}}, \text{ м.} \quad (2.64)$$

де  $V_n$  – швидкість руху повітря в повітряній трубці, м/с.

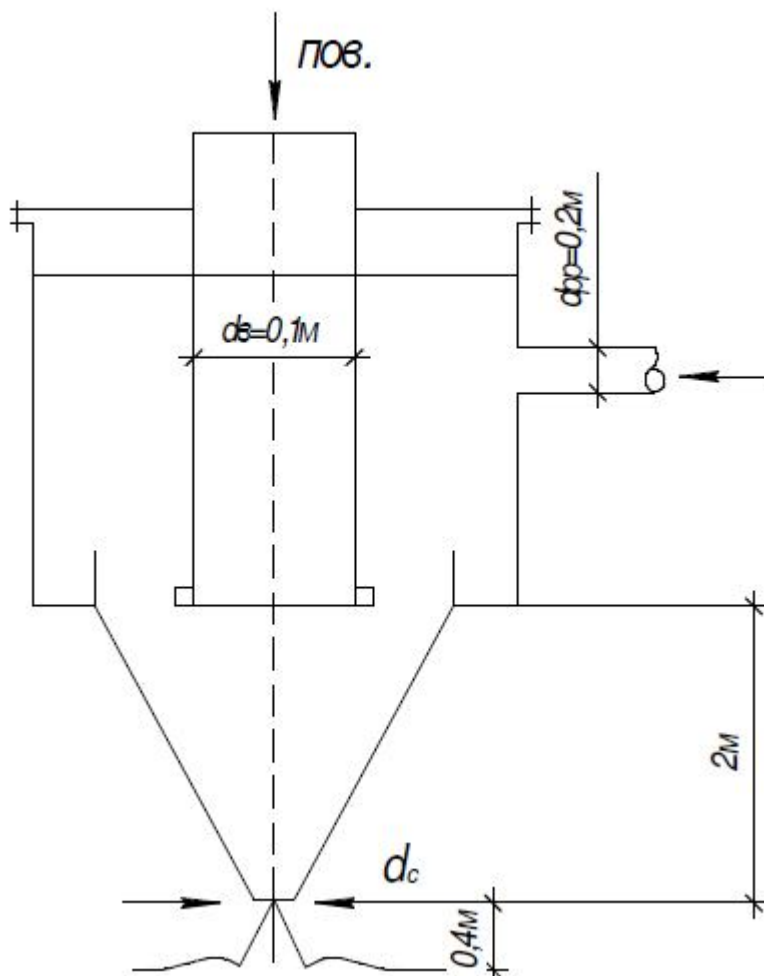


Рисунок 2.5 – Схема струминного аератора типу «кільцеве сопло»

На підставі розрахунку приймаємо стандартну трубу умовним проходом у мм, зовнішнім діаметром  $d_n^3$  на 9 мм більше.

Площа кільцевого сопла струминного аератора (між повітряною трубкою і гирлом сопла) визначається за швидкістю в ньому робочої рідини становить в м/с. У цьому випадку площа кільцевого сопла повинна становити:

$$F_{k.c} = \frac{Q_{pp}^1}{3600 \cdot V_n}, \text{ м}^2. \quad (2.65)$$

Внутрішній діаметр гирла сопла становитиме:

$$d_{k.c} = \sqrt{\frac{F_{k.c.} + 0,785 \cdot d_n^2}{0,785}}, \text{ м}. \quad (2.66)$$

Для фіксації повітряної трубки в кільцевому соплі передбачаємо влаштування пристрої на ній п металевих стрижнів діаметром в мм.

Внутрішній діаметр сопла становитиме:

$$d_c = \sqrt{\frac{Q_{pp}^1 \cdot K_3}{3600 \cdot V_c \cdot 0,785}}, \text{ м}, \quad (2.67)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт, що враховує збільшення обсягу робочої рідини внаслідок підсмоктування повітря  $K_3 = 1,5$ ;

$V_c$  – швидкість руху робочої рідини в кільцевому соплі,  $V_c = 8$  м/с.

При швидкості руху 1,5 м/с, діаметр трубопроводу, по якому робоча рідина підводиться до струминного аератора, становитиме:

$$d_{pp} = \sqrt{\frac{Q_{pp}^1}{3600 \cdot V_c \cdot 0,785}}, \text{ м}. \quad (2.68)$$

Приймаємо підвідний трубопровід умовним діаметром в мм.

Для подачі робочої рідини на струминні аератори можна використовувати насоси марок СМ, СД, К, КМ, Д мінімальним тиском 12 м.

*Аеротенки-витіснювачі з регенераторами.* При БСК<sub>повн</sub> стічних вод, які надходять на очистку до 300 мг·О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, доцільно застосовувати аеротенки-витіснювачі, а аеротенки-змішувачі – при БСК<sub>повн</sub> до 1 000 мг·О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Аеротенки-витіснювачі без регенераторів рекомендується використовувати для очищення міських і близьких до них за складом виробничих стічних вод при БСК<sub>повн</sub> не більше 150 мг·О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

При БСК<sub>повн</sub> стічних вод понад 120 мг·О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> тобто  $L_{en} = 215 > 120$  мг·О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, необхідно передбачати регенерацію активного мулу [9].

### Порядок розрахунку

Розраховуємо ступінь рециркуляції активного мулу  $R_i$  за формулою:

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i}, \quad (2.69)$$

де  $a_i$  – доза активного мулу, г/дм<sup>3</sup>;

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

Визначаємо БСК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить в аеротенк з урахуванням розведення рециркуляційною витратою:

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex} \cdot R_i}{1 + R_i}, \text{ мг} \cdot \text{О}_2 / \text{дм}^3, \quad (2.70)$$

де  $L_{en}$  – БСК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить, мг·О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;

$L_{ex}$  – БСК<sub>повн</sub> очищеної стічної води, мг·О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;



Розраховуємо тривалість обробки води в аеротенках:

$$t_{av} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{L_{mix}}{L_{ex}}, \text{ год.} \quad (2.71)$$

Розраховуємо дозу активного мулу в регенераторі:

$$a_r = a_i \left( \frac{1}{2 \cdot R_i} + 1 \right), \text{ Г/Л.} \quad (2.72)$$

Розрахуємо питому швидкість окислення:

$$\rho = \rho_{max} \frac{L_{ex} \cdot C_0}{L_{ex} \cdot C_0 + K_e \cdot C_0 + K_0 \cdot L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_i}, \text{ мг/дм}^3 \text{ БСК}_{\text{повн}} / (\text{Г} \cdot \text{год}) \quad (2.73)$$

де  $\rho_{max}$  – максимальна швидкість окислення, яка приймається для міських стічних вод  $\rho_{max} = 85$  мг БСК<sub>повн</sub>/Г·год [9];

$C_0$  – концентрація розчиненого кисню в аеротенках,  $C_0 = 2$  мг/дм<sup>3</sup> [9];

$K_e$  – константа, що характеризує властивості органічних забруднюючих речовин, для міських стічних вод  $K_e = 33$  мг БСК<sub>повн</sub> [9];

$K_0$  – константа, що характеризує вплив кисню, для міських стічних вод  $K_0 = 0,625$  мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> [9];

$\varphi$  – коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу,  $\varphi = 0,07$  л/Г [9].

Визначаємо загальну тривалість окислення органічних забруднень

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i \cdot a_r \cdot (1 - s) \cdot \rho}, \text{ год.} \quad (2.74)$$

Знаходимо тривалість регенерації

$$t_r = t_0 - t_{av}, \text{ год.} \quad (2.75)$$

Тривалість перебування в системі аеротенк-регенератор

$$t_{a-r} = (1 + R_i) \cdot t_{av} + R_i \cdot t_r, \text{ год.} \quad (2.76)$$

Розраховуємо середню дозу мулу в системі аеротенк-регенератор

$$a_{mix} = \frac{(1 + R_i) \cdot t_{av} \cdot a_i + R_i \cdot t_r \cdot a_r}{t_{a-r}}, \text{ Г/Л.} \quad (2.77)$$

Розрахуємо навантаження на активний мул

$$q_i = \frac{24 (L_{en} - L_{ex})}{a_{mix} (1 - S) t_{a-r}}, \text{ мг/л БПК}_{\text{повн}} / (\text{Г} \cdot \text{добу}). \quad (2.78)$$

Визначаємо загальний обсяг аеротенках і регенератора за формулою:

$$W_{at} = q_w \cdot t_{av}, \text{ м}^3. \quad (2.79)$$

Визначаємо обсяг регенератора  $W_r$ :

$$W_r = q_w \cdot R_i \cdot t_r, \text{ м}^3. \quad (2.80)$$

Загальний обсяг:

$$W_{заг} = W_{at} + W_r, \text{ м}^3. \quad (2.81)$$

*Розрахунок зон нітріденітрифікації аеротенків.* Для видалення зі стічної води розчинених сполук азоту та фосфору, які викликають процес евтрофікації водних об'єктів, прийнято рішення використовувати метод глибокого видалення азоту у всіх трьох його формах (азот амонійний, нітрити та нітрати), тобто біологічна нітріденітрифікація. Цей біологічний метод видалення біогенних елементів не вимагає дорогих і дефіцитних реагентів, не призводить до збільшення вмісту солі стічних вод, а обсяги опадів при цьому не збільшуються.

*Нітрифікаторов.* В процесі нітрифікації відбувається окислення амонію киснем до нітритів і нітратів. Оптимальними умовами для нітрифікуючих бактерій такі: значення рН = 8,4, температура 30 °С. Нітрифікація найбільш ефективно протікає в аеротенках-змішувачах при дотриманні певного віку активного мулу, який становить від 5 до 70 і більше доби. Аеротенки-нітрифікатори доцільно застосовувати при відсутності в стічних водах сторонніх органічних домішок.

### Порядок розрахунку

Визначаємо питому швидкість зростання нітрифікуючих мікроорганізмів:

$$\mu_n = \frac{K_{pH} \cdot K_T \cdot K_{oc} \cdot K_c \cdot C_{nex} \cdot \mu_{max}}{K_n + C_{nex}}, \text{ доба}^{-1}, \quad (2.82)$$

де  $K_{pH}$  – коефіцієнт, що враховує вплив рН води [2];

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує вплив температури води [2];

$K_{oc}$  – коефіцієнт, що враховує вплив концентрації розчинного кисню, що визначається за формулою:

$$K_{oc} = \frac{C_o}{(K'_o + C_o)}, \quad (2.83)$$

де  $C_o$  – концентрація розчинного кисню в муловій суміші, рівний 2 мг/дм<sup>3</sup>;

$K'_o$  – константа напівнасичення, рівна 2 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;

$K_c$  – коефіцієнт, що враховує вплив токсичних компонентів, що визначається за формулою:

$$K_c = \frac{J}{(J + C_i)}, \quad (2.84)$$

де  $J$  – константа напівнасичення інгібітору, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_i$  – концентрація інгібітору, мг/дм<sup>3</sup>.

Оскільки речовин, що пригнічують процес нітрифікації, в стічній воді немає, коефіцієнт, що враховує вплив токсичних компонентів, дорівнює 1:

$\mu_{\max}$  – максимальна швидкість росту нітрифікуючих мікроорганізмів, що дорівнює  $1,77 \text{ доби}^{-1}$  при рН = 8,4 і температурі  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$K_n$  – константа напівнасичення амонійного азоту, що дорівнює  $25 \text{ мг/дм}^3$ ;

$C_{nex}$  – концентрація амонійного азоту в очищеній воді,  $\text{мг/дм}^3$ .

Знаходимо мінімальний вік нітрифікуючого мулу:

$$\theta = \frac{1}{\mu_n}, \text{ доба.} \quad (2.85)$$

За таблицею 8.1 [18] визначаємо концентрацію нітрифікуючого мулу при віці мулу 15 діб: концентрація мулу  $a_{is} = 0,048 \text{ г/дм}^3$ , питома швидкість окислення  $\rho_n = 17,4 \text{ мг/(г}\cdot\text{год)}$ , приріст мулу  $P_i = 0,16 \text{ мг/мг } N - NH_4^+/\text{дм}^3$ .

Визначаємо мінімальну допустиму концентрацію амонійного азоту в надходить стічній воді:

$$C_{nen \text{ min}} = \frac{0,02 \cdot a_i \cdot \theta}{a_{is}}, \text{ мг/дм}^3, \quad (2.86)$$

де  $a_i$  – допустимий винос нітрифікуючого мулу з вторинних відстійників,  $\text{мг/дм}^3$ .

Визначаємо обсяг аеротенків-нітрифікаторів:

$$W_n = \frac{Q_w \cdot t_{atm}}{24}, \text{ м}^3, \quad (2.87)$$

де  $Q_w$  – добова витрата води,  $\text{м}^3/\text{добу}$ ;

$t_{atm}$  – мінімальний період аерації в аеротенку-змішувачі, год.

Призначимо мінімальний період аерації.

*Денітрифікатор.* Як денітрифікатор застосовується реактор без завантаження, що працює за принципом витіснювача. В якості поживного середовища в денітрифікатор подається метанол. Доза органічного субстрату-метанолу прийнята зі співвідношення БСКметан:  $N-NO_3=4:1$  [9, 10, 18].

### Порядок розрахунку

Визначаємо граничну дозу денітрифікуючого мулу:

$$a_i^{dn \text{ max}} = \frac{1000 \cdot s}{J_i}, \quad (2.88)$$

де  $J_i$  – муловий індекс,  $\text{см}^3/\text{г}$ .

Питома швидкість денітрифікації:

$$\rho^{dn} = \rho_{\max}^{dn} \cdot \frac{C_{ex}^{dn}}{(C_{ex}^{dn} + K_{dn}) \cdot (1 + \varphi_{dn} \cdot a_i^{dn})}, \text{ мг } N - NO_3 / (\text{Г} \cdot \text{год}), \quad (2.89)$$

де  $\rho_{\max}^{dn}$  – максимальна швидкість денітрифікації, мг  $N - NO_3 / (\text{Г} \cdot \text{год})$ , приймаємо за таблицею 8.2 [18],  $\rho_{\max}^{dn} = 58,8$  мг  $N - NO_3 / (\text{Г} \cdot \text{год})$ ;

$K_{dn}$  – константа Міхаеліса-Ментен, мг  $N - NO_3 / \text{л}$ , приймаємо за таблицею 8.2 [18],  $K_{dn} = 40$  мг  $N - NO_3 / \text{л}$ ;

$\varphi_{dn}$  – коефіцієнт інгібування денітрифікації продуктами метаболізма активного мула, л/г, приймаємо за таблицею 8.2 [18],  $\varphi_{dn} = 0,19$  л/г;

$a_i^{dn}$  – доза денітрифікуючого мула, г/дм<sup>3</sup>, кА повинна бути не більше граничної дози  $a_{i \max}^{dn}$ ;

$C_{ex}^{dn}$  – концентрація азоту в очищеній воді, мг  $N - NO_3 / \text{дм}^3$ .

Для проведення денітрифікації вибираємо реактор-денітрифікатор, що працює в режимі витіснення, і за формулою 2.90 визначаємо тривалість перебування стічної води в денітрифікаторі:

$$t_{dnv} = \left[ (C_{en}^{dn} - C_{ex}^{dn}) + 2,3 \cdot K_{dn} \cdot \lg \frac{C_{en}^{dn}}{C_{ex}^{dn}} \right] \cdot \frac{1 + \varphi_{dn} \cdot a_i^{dn}}{\rho^{dn} \cdot a_i^{dn}}, \text{ год}, \quad (2.90)$$

де  $C_{en}^{dn}$  – концентрація азоту на вході в денітрифікатор, мг  $N - NO_3 / \text{дм}^3$ .

Обсяг денітрифікатора розраховуємо:

$$W_{dn} = \frac{Q_w \cdot t_{dn}}{24}, \text{ м}^3. \quad (2.91)$$

Необхідний обсяг аеротенках складе

$$W_{av} = W_n + W_{dn} + W_r, \text{ м}^3. \quad (2.92)$$

Приймаємо аеротенк-витіснювач за таблицею 13 додатків з [18] за загальним обсягом підбираємо типовий проект аеротенка-витіснювача.

*Аераційна система аеротенків.* Розраховуємо приріст активного мулу за формулою

$$P_i = 0,8 \cdot C_{cdp} + K_g \cdot L_{en}, \text{ мг/дм}^3, \quad (2.93)$$

де  $C_{cdp}$  – концентрація завислих речовин в стічній воді, що надходять в аеротенк,  $C_{cdp} = 120$  мг/дм<sup>3</sup>;

$K_g$  – коефіцієнт приросту, який приймається для міських стічних вод рівним 0,3.

*Розрахуємо систему аерації коридорних аеротенків.* В аеротенках-витіснювачах з регенераторами пневматичні аератори розташовуються уздовж

однієї стіни коридору. У регенераторі, на початку аеротенків-витиснювачів розташовується в два рази більше аераторів.

Визначається розчинність кисню у воді  $C_a$ :

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) \cdot C_T, \text{ мг/дм}^3, \quad (2.94)$$

де  $h_a$  – глибина занурення аератора, м

$$h_a = H_{at} - 0,3, \text{ м}, \quad (2.95)$$

$H_{at}$  – робоча глибина аеротенках, м;

$C_T$  – розчинність кисню у воді в залежності від температури і тиску, мг/дм<sup>3</sup>, приймається за таблицею 3.2 [18] при температурі води 22° С,  $C_T = 8,67$  мг/дм<sup>3</sup>.

Розраховуємо питому витрату повітря  $q_{air}$ :

$$q_{air} = \frac{q_0(L_{en} - L_{ex})}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_T \cdot K_3 \cdot (C_a - C_o)}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (2.96)$$

де  $q_0$  – питома витрата кисню повітря, мг/мг знятої БСК<sub>повн</sub>, що приймається при очищенні до БСК<sub>повн</sub> до 15-20 мг/дм<sup>3</sup> – 1,1, при очищенні до БСК<sub>повн</sub> понад 20 мг/дм<sup>3</sup> – 0,9;

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує тип аератора, для дрібнопузирчастій аерації приймається за таблицею 3.3 [18] в залежності від співвідношення площ зони, що аерірується і аеротенка  $f_{az}/f_{at}$  ( $K_1 = 0,75$ );

$K_2$  – коефіцієнт, залежний від глибини занурення аератора  $h_a$ , приймається за таблицею 3.4 [18];

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує температуру стічних вод, визначається за формулою:

$$K_T = 1 + 0,02(T_w - 20), \quad (2.97)$$

де  $T_w$  – середньомісячна температура стічної води за літній період, °С;

$K_3$  – коефіцієнт якості води, що приймається для міських стічних вод 0,85, а при наявності в них СПАР – в залежності від співвідношення  $f_{az}/f_{at}$  за таблицею 3.3 [18], для виробничих стічних вод, при відсутності дослідних даних,  $K_3 = 0,7$ ;

$C_o$  – концентрація розчиненого кисню, мг/л, ( $C_o = 2$  мг/л).

Для аерації приймаємо дрібнопухирцеві аератори з фільтрувальних керамічних пластин, співвідношення площ аеріруємої зони і аеротенках  $f_{az}/f_{at} = 0,2$ . За таблицею 3.3 [18] находимо значення коефіцієнта, що враховує тип аератора:  $K_1 = 0,75$ , за тією же таблицею находимо коефіцієнт якості води при наявності в ній СПАР:  $K_3 = 0,85$ . За таблицею 3.4 [18] інтерполяцією находимо коефіцієнт, залежний від глибини занурення аератора, наприклад:  $K_2 = 2,52 + (2,92 - 2,52) \cdot (4,2 - 4) = 2,6$ .

За формулою (2.97) визначаємо коефіцієнт, що враховує температуру стічних вод:

$$K_T = 1 + 0,02(22 - 20) = 1,04.$$

Визначаємо середню інтенсивність аерації  $J_a$ :

$$J_a = \frac{q_{air} \cdot H_{at}}{t_{at}}, \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{год}), \quad (2.98)$$

де  $t_{at}$  – період аерації, год.

Інтенсивність аерації на першій половині аеротенках і регенератора

$$J_{a1} = 1,33 \cdot J_a \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год}). \quad (2.99)$$

Інтенсивність аерації на другій половині аеротенках

$$J_{a2} = 0,67 \cdot J_a \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

Якщо обчислене значення  $J_a > J_{a,max}$  для прийнятого  $K_1$  (табл. 3.3 [12]), то збільшиться співвідношення  $f_{az}/f_{at}$  і повторюється розрахунок  $q_{air}$  і  $J_a$ .

Якщо значення  $J_a < J_{a,min}$   $K_2$  (табл. 3.4 [18]), то приймається  $J_a = J_{a,min}$ , потім визначається питома витрата повітря при середній інтенсивності аерації за формулою:

$$q_{air} = \frac{J_a \cdot t_{at}}{H_{at}}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (2.100)$$

Визначаємо загальну витрату повітря  $Q_{air}$ :

$$Q_{air} = q_{air} \cdot q_w, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.101)$$

де  $q_w$  – розрахункова витрата стічної води, м<sup>3</sup>/год.

*Вторинні горизонтальні відстійники.* Стічні води надходять в аеротенки після споруд механічної очистки. Стічна вода після аеротенків містить активний мул. Для виділення зі стічної води активного мулу застосовують вторинні відстійники того ж типу, що і первинні.

Перевіримо роботу вторинних горизонтальних відстійників.

### Порядок розрахунку

Розраховуємо навантаження води на поверхню відстійника за формулою:

$$q_{ssa} = \frac{4,5 \cdot K_{ss} \cdot H_{set}^{0,8}}{(0,1 \cdot J_i \cdot a_i)^{0,5-0,01a_i}}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (2.102)$$

де  $H_{set}$  – робоча глибина відстійника, м;

$a_i$  – доза активного мулу в аеротенках, не більше 15 г/дм<sup>3</sup>;

$a_t$  – необхідна концентрація мулу в освітленій воді, не менше 10 мг/дм<sup>3</sup>;

$K_{ss}$  – коефіцієнт використання обсягу зони відстоювання, що приймається для радіальних відстійників – 0,4, вертикальних – 0,35, вертикальних із периферійним впуском – 0,5, горизонтальних – 0,45;

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

Приймаємо  $n$  відділень відстійника.

Визначаємо площу одного відділення відстійника за формулою:

$$F = \frac{q_w}{n \cdot q_{ssa}}, \text{ м}^2, \quad (2.103)$$

де  $q_w$  – максимальна годинна витрата, м<sup>3</sup>/год;

Приймаємо ширину відділення  $B_{set}$  у м. Находимо довжину відстійника  $L_{set}$  за формулою

$$L_{set} = \frac{q_w}{n \cdot B_{set}}, \text{ м}. \quad (2.104)$$

Визначаємо повну будівельну висоту відстійника на виході за формулою

$$H = H_{set} + H_1 + H_2 + H_3, \text{ м}, \quad (2.105)$$

де  $H_1$  – висота борта над шаром води, що дорівнює 0,3–0,5 м;

$H_2$  – висота нейтрального шару (від дна на виході), що дорівнює 0,3 м;

$H_3$  – висота шару мулу, що дорівнює 0,3–0,5 м.

Визначаємо кількість осаду (активного мулу), що виділяється при відстоюванні.

Кількість осаду (активного мулу)  $Q_{mud}$  розраховуємо за формулою:

$$Q_{mud} = \frac{Q \cdot (1000 \cdot a_i - a_t)}{(100 - p_{mud}) \cdot \gamma_{mud} \cdot 10^4}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.106)$$

де  $p_{mud}$  – вологість активного мулу, що дорівнює 99,2–99,7 %;

$\gamma_{mud}$  – щільність активного мулу, що дорівнює 1 г/см<sup>3</sup>.

Визначаємо місткість прямоку одного відстійника для збору осаду за формулою:

$$W_{mud} = \frac{1}{6} \cdot (B_{set} - 0,5) \cdot (B_{set}^2 + 0,5 \cdot B_{set} + 0,25) \cdot \text{tg} \alpha, \text{ м}^3, \quad (2.107)$$

де  $\alpha$  – кут нахилу стінок прямоку, рівний 50°–65°.

Знаходимо період між вивантаження осаду з відстійника за формулою

$$T = \frac{24 \cdot n \cdot W_{mud}}{Q_{mud}}, \text{ год}. \quad (2.108)$$

Розраховане значення  $T$  має бути: при видаленні осаду під гідростатичним тиском – не більше 48 год, а механічним способом – 8 год.

### Завдання для самоконтролю

**Завдання 1.** Добова витрата міських стічних вод  $Q = 25\,900$  м<sup>3</sup>/добу, вміст азоту амонійного в стічних водах, що надходять на нітрі-денітрифікацію  $C_{nen} = 93$  мг/дм<sup>3</sup>, вміст азоту амонійного в очищених стічних водах має бути  $C_{nex} = 4$  мг/дм<sup>3</sup>, рН стічних вод 8,15, середньомісячна температура стічної води

за літній період  $T_w = 22$  °С. Розрахувати аеротенки-нітріфікатори в аеротенках-змішувачах.  $K_T = 1$  при 20° С,  $K_T = 1,79$  при 25 °С;  $K_{pH} = 0,84$  при  $pH = 8$ ,  $K_{pH} = 1$  при  $pH = 8,4$ .

**Завдання 2.** Розрахункова витрата міських стічних вод  $q_w = 1\ 250$  м<sup>3</sup>/год, концентрація азоту нітратного в стічних водах, що надходять на денітрифікацію:  $C_{en}^{dn} = 58$  мг N-NO<sub>3</sub>/дм<sup>3</sup>, в очищених стічних водах концентрація азоту нітратного  $C_{ex}^{dn} = 14,5$  мг N-NO<sub>3</sub>/дм<sup>3</sup>; застосовуваний вуглецевий субстрат – метанол. Муловий індекс  $J_i = 100$  см<sup>3</sup>/г, максимальна швидкість денітрифікації  $\rho_{max}^{dn} = 58,8$  мг N-NO<sub>3</sub>/(г·год), константа Міхаеліса – Ментен  $K_{dn} = 40$  мг/дм<sup>3</sup>; коефіцієнт інгібування денітрифікації продуктами метаболізму активного мулу,  $\varphi_{dn} = 0,17$  дм<sup>3</sup>/г; доза денітрифікуючого мулу  $a_{i\ max}^{dn} = 3$  г/дм<sup>3</sup>. Розрахувати денітрифікатор проточного типу.

**Завдання 3.** Добова витрата міських стічних вод  $Q = 65\ 940$  м<sup>3</sup>/добу, концентрація азоту нітратного в стічних водах, що надходять на денітрифікацію:  $C_{en}^{dn} = 32$  мг·N-NO<sub>3</sub>/дм<sup>3</sup>, в очищених стічних водах концентрація азоту нітратного  $C_{ex}^{dn} = 6$  мг·N-NO<sub>3</sub>/дм<sup>3</sup>; застосовуваний вуглецевий субстрат – етанол. Муловий індекс  $J_i = 100$  см<sup>3</sup>/г, максимальна швидкість денітрифікації  $\rho_{max}^{dn} = 44,9$  мг·N-NO<sub>3</sub>/(г·год), константа Міхаеліса – Ментен  $K_{dn} = 25$  мг·N-NO<sub>3</sub>/дм<sup>3</sup>; коефіцієнт інгібування денітрифікації продуктами метаболізму активного мулу,  $\varphi_{dn} = 0,17$  дм<sup>3</sup>/г; доза денітрифікуючих мулу  $a_{i\ max}^{dn} = 3$  г/дм<sup>3</sup>. Розрахувати денітрифікатор проточного типу.

*Біологічні фільтри.* Головним методом інтенсифікації біологічних фільтрів потрібно вважати заміну традиційного об'ємного завантаження на площинне пластмасове, що дозволяє різко збільшити окислювальну потужність біофільтра, відмовитися від штучної вентиляції завантаження і навіть (у деяких випадках) від первинного освітлення стічних вод [10-12]. Сприяє покращенню роботи біофільтра, влаштування вентиляції завантаження «зверху-вниз», здійснення рециркуляції з використанням надлишкової біоплівки, переклад частини крапельних біофільтрів в режим роботи високонавантажувани і пристрої таким чином двоступеневі біофільтри, використання біофільтрів в комбінованих схемах з аеротенках.



## Порядок розрахунку

На очищення надходять суміші міських і виробничих стічних вод. Тоді середнє значення БСК<sub>повн</sub> становитиме:

$$L_{en}^{mix} = \frac{L_{en} \cdot q + L_{расч} Q_{расч}}{Q + Q_{расч}}, \text{ мг/л.} \quad (2.109)$$

При висококонцентрованої суміші міських і виробничих стічних вод треба приймати двохступінчасту біологічну очистку із застосуванням на першому місці біофільтрів з площинним завантаженням. Експериментальні дослідження показали [10-12], що при навантаженні  $q_{вир} = 35$  г·БПК<sub>повн</sub>/(м<sup>2</sup>·добу), ефективність очищення стічних вод з БПК<sub>повн</sub> складає 75 %.

Отже, на другу сходинку будуть надходити стічні води з БПК<sub>повн</sub>:

$$L_{en}^1 = L_{en}^{mix} \cdot \frac{(100 - 75)}{100}, \text{ мг/л.} \quad (2.110)$$

Визначаємо необхідну кількість високонавантажених біофільтрів другого ступеня:

$$K = \frac{L_{en}^1}{L_{ex}}, \text{ од.} \quad (2.111)$$

За таблицею 38 [18] визначаємо біофільтр за висотою  $H$  м при середньорічній температурі стічних вод  $T$  °С, питомій витраті повітря  $V$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> і гідравлічному навантаженні на поверхню біофільтра  $q$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·добу). За коефіцієнтом  $K$  визначаємо потрібна чи ні рециркуляція, якщо  $K = 7,54$ , то рециркуляція не потрібна.

Площа поверхні завантаження біофільтрів другого ступеня повинна становити:

$$S_2 = \frac{Q_{обц}}{q}, \text{ м}^2, \quad (2.112)$$

а обсяг завантаження:

$$W = S_2 \cdot H, \text{ м}^3. \quad (2.113)$$

Приймаємо до застосування на другому ступені біологічного очищення кількість  $n$  біофільтрів діаметром  $D$  м, висотою  $H$  м і загальним об'ємом завантаження в м<sup>3</sup>.

Площа поверхні завантаження біофільтра першого ступеня повинна бути:

$$S_1 = \frac{L_{en}^{mix} \cdot Q_{заг}}{q_{розр}}, \text{ м}^2. \quad (2.114)$$

Треба розглядати усі види площинного завантаження в можливості застосування для біофільтрів першого ступеня. Наприклад:

1. Блоків із гофрованих азбестоцементних листів із питомою площею

поверхні  $S = 56 \text{ м}^2/\text{м}^3$  і пористістю  $P = 80 \%$ ;

2. Блоків із гофрованих і плоских пластмасових листів із питомою площею поверхні  $S = 170 \text{ м}^2/\text{м}^3$  і пористістю  $P = 80 \%$ .

Розраховується необхідний об'єм завантаження біофільтрів першого ступеня за варіантами за формулою:

$$W_n = S_l / S, \text{ м}^3; . \quad (2.115)$$

За об'ємом завантаження одного існуючого на очисних спорудах біофільтра підбираємо скільки (за варіантами) з таким об'ємом у нас буде біофільтрів.

Потім приймається більш відповідний варіант реконструкції очисних споруд. Тоді у існуючих високонавантажуваних біофільтрах здійснюється заміна об'ємного завантаження на площинне з блоків з гофрованих і плоских листів з питомою площею поверхні  $S \text{ м}^2/\text{м}^3$  і вони використовуються як біофільтри першого ступеня. Для цього слід додатково запроектиувати і побудувати вторинні відстійники, насосну станцію для подачі стічних вод на біофільтри другого ступеня і забезпечити подачу повітря в біофільтри з питомою витратою, яка визначається за формулою (21) [16]:

$$B = \frac{(L_{en}^{mix} - L_m^1)}{21}, \text{ м}^2/\text{м}^3. \quad (2.116)$$

На другому етапі біологічного очищення будуть застосовуватися інші існуючі високонавантажувані біофільтри.

## 2.4 Розрахунок споруд доочищення

### *(Інтенсифікація процесів очищення стічних вод)*

Інтенсифікація роботи фільтрів досягається їх переобладнанням у фільтри з плаваючим завантаженням, а також в аераційні фільтри. Для поліпшення роботи біологічних ставків застосовують штучну аерацію, культивування водорості і вищої водної рослинності влаштовують в багатоступінчастих біоствах. Можливо також використання технологічних схем реагентного доочищення стічних вод.

### Порядок розрахунку

*Піщані фільтри.* Розрахуємо зернисті фільтри для доочищення стічної води при необхідній ступінь глибокого очищення за завислими речовинами –  $E_{зр}$  і  $BCK_{повн} - E_{БПК}$ :

$$E_{зр} = \frac{100 \cdot (C_{ex}^1 - C_{ex}^2)}{C_{ex}^1}, \%, \quad (2.117)$$

$$E_{БСК} = \frac{100 \cdot (L_{ex}^1 - L_{ex}^2)}{L_{ex}^1}, \%. \quad (2.118)$$

Виходячи з даних за умовами застосовності та ефективності очищення, які наведені в таблиці 7.1 [14], вибираємо фільтри, що аеріруються. Потім робимо розрахунок відповідно до обраного типу.

За таблицею 7.2 [14] вибираються необхідні для подальшого розрахунку параметри – швидкість фільтрування при нормальному ( $v_\phi$ ) і форсованому режимі ( $v_{\phi.\phi}$ ), м/год, інтенсивність промивки водою і повітрям  $w$ , л/(с·м<sup>2</sup>), а також тривалість промивки  $t$ , хв, і тривалість фільтроциклу  $T_\phi$ , годину і виписуємо ці розрахункові параметри:

- швидкість фільтрування при нормальному режимі роботи  $v_\phi = 6-7$  м/год;
- швидкість фільтрування при форсованому режимі роботи  $v_{\phi.\phi} = 7-8$  м/год;
- інтенсивність промивки водою  $w_2 = 16-18$  л/(с·м<sup>2</sup>);
- тривалість промивки  $t_2 = 7-8$  хв;
- тривалість фільтроциклу  $T_\phi = 24$  год.

Визначається розрахункова витрата стічної води, яка подається на фільтри  $Q_\phi$ , м<sup>3</sup>/добу:

$$Q_\phi = 20,4 \cdot q_w, \quad (2.119)$$

де  $q_w$  – максимальний годинний приплив стічної води, м<sup>3</sup>/год.

Знаходиться кількість промивок кожного фільтра за добу  $n$ :

$$n = \frac{24}{T_\phi}, \text{ од.} \quad (2.120)$$

Розраховується загальна площа фільтрів  $F_\phi$ , м<sup>2</sup>:

$$F_\phi = \frac{Q_\phi \cdot (1+m)}{v_\phi \cdot \left( T - \frac{n \cdot t_4}{60} \right) - 0,06 \cdot n \cdot (w_1 \cdot t_1 + w_2 \cdot t_2 + w_3 \cdot t_3)}, \text{ м}^2, \quad (2.121)$$

де  $m$  – коефіцієнт, що враховує витрату води на промивку барабанних сіток, рівний 0,003–0,005;

$w_1$  – інтенсивність, л/(с·м<sup>2</sup>) початкового розпушення верхнього шару завантаження тривалістю  $t_1$ , хв;

$w_2$  – інтенсивність подачі води, л/(с·м<sup>2</sup>) із тривалістю водоповітряного промивання  $t_2$ , хв;

$w_3$  – інтенсивність промивання, л/(с·м<sup>2</sup>) тривалістю  $t_3$ , хв;

$t_4$  – тривалість простою фільтра у зв'язку з промиванням, рівна 20 хв;

$T$  – тривалість роботи станції протягом доби, год.

Визначається число секцій фільтрів  $N$  і площа однієї секції фільтра:

$$N = 0,5 \sqrt{F_\phi}, \text{ од.} \quad (2.122)$$

Загальна кількість секцій фільтрів  $N$  повинно бути не менше чотирьох: один в резерві, один на промиванні і два робочих:

$$F_1 = \frac{F_\phi}{N}, \text{ м}^2. \quad (2.123)$$

За розрахованої площі  $F_1$  приймаємо розміри в плані одного фільтра.

Розраховуємо швидкість фільтрування води при форсованому режимі роботи (тобто при відключенні фільтрів на промивання і ремонт):

$$v_{\phi.\phi.} = \frac{v_\phi \cdot N}{N - N_p}. \quad (2.124)$$

Розраховане значення повинно бути не більше табличного значення (табл. 7.2 [14]).

*Розрахунок переобладнаних піщаних фільтрів із завантаженням з спіненого полістиролу.* Подача стічних вод на фільтри буде здійснюватися рівномірно зануреним насосом з резервуару біологічно очищених стічних вод. Витрата доочищуваних стічних вод при цьому становитиме:

$$Q_{\text{зод}} = \frac{Q_{\text{доб}}}{24}, \text{ м}^3/\text{Год}. \quad (2.125)$$

Фактична швидкість фільтрації стічних вод при цьому складе:

$$v = \frac{Q_{\text{зод}}}{N \cdot 0,785 \cdot D^2}, \text{ м/Год}, \quad (2.126)$$

що перебуває в рекомендованих межах [19].

Фільтруючий шар фільтра влаштовується з пінополістиролу діаметром гранул 8–12, 4–6, 2–3, 1–2 і 0,5–1 мм завтовшки шару відповідно 200, 300, 300, 200 і 200 мм. Таким чином, загальна товщина фільтруючого шару становитиме 1 200 мм.

Верхня дренажна система ФПО влаштовується у вигляді зварної решітки на яку зверху укладається верхній розподільний шар з відмитого гравію розміром 30–50 мм завтовшки 0,25 м.

Гирі розширенні завантаження фільтра при промиванні на 60 % [19] його товщина становитиме  $1,2 \cdot 1,6 = 1,9$  м.

Для забезпечення необхідної інтенсивності промивки  $q = 0,015 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  при її тривалості  $t = 3$  хв. [19], висота шару води в надфільтровому просторі повинна бути не менше  $0,015 \cdot 360 = 2,7$  м.

Нижня збірна система промивної води проектується у вигляді центрального колектора і шести радіальних дірчастих труб.

При швидкості промивної води в центральному колекторі  $v_{цк} = 1,5$  м/с, його діаметр повинен бути рівним:

$$d = \sqrt{\frac{q \cdot F}{v_{цк} \cdot 0,785}}, \text{ м}, \quad (2.127)$$

де  $F$  – площа фільтра, м<sup>2</sup>.

Діаметр центрального колектора приймаємо умовним проходом в мм. У кожного з фільтрів передбачається по  $n$  радіальних дірчастих труб.

При швидкості руху промивної води в дірчастих трубах  $V_{дм} = 1,5$  м/с, а їх діаметр повинен бути:

$$d_{дм} = \sqrt{\frac{q \cdot F}{v_{дм} \cdot 0,785 \cdot n}}, \text{ м}. \quad (2.128)$$

Приймаємо дірчасті труби умовним діаметром в мм. Відведення промивної води здійснюється через отвори діаметром в мм, які направляються вниз під кутом 45° до вертикальної площини, що проходить через вісь труби. Відведення доочищених стічних вод з фільтра здійснюється через нижню дренажну систему.

Розраховуємо загальну висоту фільтра, яка складається з 0,4 – відстані від дна фільтра до нижньої межі розширеного шару завантаження, м; з 1,90 – товщина шару завантаження фільтра при його промиванні, м; 0,25 – товщини верхнього розподільного шару з решітками для підтримки фільтруючого завантаження в зануреному стані, м; 2,7 – висота шару води в над фільтровому просторі до початку промивання, м; 0,25 – висота борту, м.

Маючи фактичну висоту існуючих фільтрів, для забезпечення необхідної тривалості промивки надфільтрові простори обох фільтрів з'єднуються.

### Завдання для самоконтролю

**Завдання 1.** Максимальна часова витрата міських стічних вод становить  $q_{\text{макс.час}} = 2\ 200$  м<sup>3</sup>/год; вміст завислих речовин і БСК<sub>повн</sub> у біологічно очищеній стічній воді відповідно  $C_{en} = 18$  мг/л і  $L_{en} = 15$  мг/л, вміст завислих речовин і БСК<sub>повн</sub> в воді після глибокого очищення повинно бути  $C_{ex} = 5$  мг/л і  $L_{ex} = 5$  мг/л. Станція очистки працює цілодобово. Розрахувати зернисті фільтри для доочищення стічної води. Швидкість фільтрування при нормальному режимі роботи  $v_n = 6-7$  м/год; швидкість фільтрування при форсованому режимі роботи  $v_{ф.ф} = 7-8$  м/год, інтенсивність промивки водою  $w_2 = 16-18$  л/(с·м<sup>2</sup>); тривалість промивки  $t_2 = 7-8$  хв; тривалість фільтроциклу  $T_{\phi} = 24$  год; коефіцієнт, що враховує витрату води на промивку барабанних сіток  $m = 0,003-0,005$ .

**Завдання 2.** На міських очисних спорудах для доочищення стічних вод використовуються два фільтри з піщаним завантаженням діаметром  $D = 4$  м загальною висотою  $H = 4,0$  м. Витрата стічних вод, становить  $4\ 000$  м<sup>3</sup>/добу. Здійснити реконструкція фільтрів в зв'язку зі збільшенням витрат стічних вод, що очищаються до  $Q_{\text{доб}} = 2\ 600$  м<sup>3</sup>/добу.

## 2.5 Розрахунок споруд знезараження

Реальними практичними технологіями, які пройшли перевірку на діючих великомасштабних спорудах очищення води, є хлорування, озонування і ультрафіолетове (УФ) опромінення. Кожна з цих технологій має переваги і недоліки по прийнятності в технологічному процесі, характером впливу на воду і його наслідків, економічної ефективності, можливостям і витрат на впровадження технології в існуючі системи водоочищення. Вибір конкретної технології повинен ґрунтуватися на комплексному аналізі цих переваг і недоліків з гігієнічної, техніко-експлуатаційної та економічної точок зору.

### Порядок розрахунку

Розрахунок хлораторної. Максимальна часова витрата:

$$q_{\text{макс.час}} = \frac{Q_{\text{расч.сут}}}{24}, \text{ м}^3/\text{ГОД}. \quad (2.129)$$

Приймаємо дозу хлору для дезінфекції вод –  $D_{\text{хл}} = 3$  г/м<sup>3</sup>.

Витрата хлору за 1 годину при максимальній витраті:

$$q_{\text{хл}} = \frac{D_{\text{хл}} \cdot Q_{\text{макс.час}}}{1000}. \quad (2.130)$$

Необхідна кількість балонів-випарників для забезпечення отриманої продуктивності в годину:

$$n = \frac{q_{\text{бал}}}{S_{\text{бал}}}, \text{ од.}, \quad (2.131)$$

де  $S_{\text{бал}}$  – вихід з одного балона, 0,7 кг/год.

Приймаємо балони місткістю 40 л, що містять 50 кг рідкого хлору.

Хлордозаторна забезпечується підведенням води питної якості з тиском не менше 0,4 МПа і витратою

$$Q = q_{\text{хл}} \cdot q_{\text{в}}, \quad (2.132)$$

де  $q_{\text{в}}$  – норма витрати води на 1 кг хлору, 0,4 м<sup>3</sup>/кг.

Хлорна вода для дезінфекції стічної води подається перед лотком Паршаля, з горловиною 300 мм для подальшого змішування зі стічною водою в контактних резервуарах. Для забезпечення контакту хлору зі стічною водою запроектовані контактні резервуари по типу горизонтальних відстійників.

Об'єм резервуарів знаходимо за формулою:

$$V_{к.р.} = \frac{q_{\text{макс.час}} \cdot T}{60}, \text{ м}^3, \quad (2.133)$$

де  $T = 30$  хв – тривалість контакту хлору зі стічною водою.

При швидкості руху стічних вод в контактних резервуарах 10 мм/м довжина резервуара становить:

$$L = v \cdot T, \text{ м}. \quad (2.134)$$

Площа поперечного перерізу:

$$\omega' = \frac{V_{к.р.}}{L}, \text{ м}^2. \quad (2.135)$$

При глибині  $H$  м і шириною кожної секції  $b$  м число секцій становить:

$$n = \frac{\omega'}{b \cdot H}, \text{ шт.} \quad (2.136)$$

Фактична тривалість контакту води з хлором у годину максимального припливу води:

$$T = \frac{V_{к.р.}}{q_{\text{макс.час}}} = \frac{n \cdot b \cdot H \cdot L}{q_{\text{макс.час}}}, \text{ год.} \quad (2.137)$$

*Установка для УФ (бактерицидної) знезараження стічних вод.* Ультрафіолет має досить високий віруцидний ефект при реальних для практики дозах 16–40 мДж/см<sup>2</sup>. Максимальна робоча напруга, що використовується при експлуатації УФ-обладнання, – 380 В.

### Порядок розрахунку

Визначаємо необхідну потужність потоку бактерицидного опромінення:

$$F_{\text{бак}} = - \frac{q_{\text{макс.час}} \cdot \alpha_{\text{ног}} \cdot k \cdot \lg\left(\frac{P}{P_0}\right)}{1563,4 \cdot \eta_n \cdot \eta_o}, \text{ Вт}, \quad (2.138)$$

де  $q_{\text{макс.год}}$  – максимальна годинна витрата води, м<sup>3</sup>/год;

$\alpha_{\text{ног}}$  – коефіцієнт опромінення води УФ опроміненням, см<sup>-1</sup>, (для підземних вод 0,1 см<sup>-1</sup>, для поверхневих і стічних 0,15 см<sup>-1</sup>);

$k$  – коефіцієнт опору бактерій 2 500 мкВт · с/см<sup>2</sup>;

$\eta_n$  – коефіцієнт використання бактерицидного потоку ламп (для заглибних 0,9, для непогружних 0,75);

$\eta_o$  – коефіцієнт використання УФ випромінювання, 0,9 – залежить від терміну служби лампи;

$\left(\frac{P}{P_0}\right)$  – ступінь знезараження, що враховує колі-індекс очищеної води (P) і

води, що надходить на очистку (P<sub>0</sub>).

Кількість ламп для установки розраховуємо виході від продуктивності  $2\ 000\ \text{м}^3/\text{год}$ :  $2\ 000: 15,66 = 130$  од.

Витрата електроенергії

$$E = 60 \cdot n / 30, \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{м}^3.$$

Визначають довжину і ширину кожного контактного каналу.

### Завдання для самоконтролю

**Завдання 1.** Розрахувати хлораторну установку на рідкому хлорі та споруди для змішування і контакту води з хлором для очисної станції, що працює на повну біологічну очистку с аеротенками продуктивністю  $q_{\text{розр.доб}} = 43\ 000\ \text{м}^3/\text{добу}$ . Доза хлору для дезінфекції вод  $D_{\text{хл}} = 3\ \text{г}/\text{м}^3$ ; хлордозаторна забезпечується підведенням води питної якості з тиском не менше  $0,4\ \text{МПа}$ ; норма витрати води на  $1\ \text{кг}$  хлору,  $0,4\ \text{м}^3/\text{кг}$ .

**Завдання 2.** Розрахувати бактерицидну установку для дезінфекції стічних вод, що пройшли доочистку на фільтрах при витраті стічних вод  $Q_{\text{сер.доб}} = 35\ 000\ \text{м}^3/\text{добу}$ . Колі-індекс  $3\ 000$  од/л, колі-індекс очищеної води  $3$  од/л. Коефіцієнт опромінення води УФ опроміненням для підземних вод  $0,1\ \text{см}^{-1}$ ; для поверхневих і стічних  $0,15\ \text{см}^{-1}$ ; коефіцієнт опору бактерій  $2\ 500\ \text{мкВт} \cdot \text{с}/\text{см}^2$ ; коефіцієнт використання бактерицидного потоку ламп (для заглибних  $0,9$ , для не занурюваних  $0,75$ ); коефіцієнт використання УФ випромінювання  $0,9$ .



## **3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ**

### **3.1 Структура й оформлення розрахунково-графічної роботи**

Розрахунково-пояснювальна записка повинна містити до 20–25 сторінок друкованого тексту. Розділи записки повинні мати наскрізну нумерацію. Всі таблиці, рисунки та сторінки повинні мати нумерацію, має бути зміст записки, вступ та список використаних джерел. Структура розрахунково-графічної роботи (далі – РГР) повинна бути такою:

1) титульний аркуш – виконують за відповідною формою, прийнятою для оформлення розрахунково-пояснювальних записок (згідно з ДСТУ). На титульному аркуші повинні бути позначені назва (тема) РГР, прізвища студента й викладача дисципліни (дод. А);

2) зміст.

До змісту належать:

- вступ;
- послідовно перераховані найменування всіх завдань;
- список використаних джерел;

3) елементи основної частини РГР.

Склад, зміст і обсяг розділів основної частини РГР визначаються одержаним завданням на його виконання;

4) список використаних джерел.

Перелік джерел, на які зроблені посилання у відповідних місцях тексту, складають у тому порядку, в якому вони згадуються в тексті. Окрім літературних джерел, у список включають перелік використовуваної нормативної документації (ГОСТ, ДБН, СНіП, ДСТУ, ТУ та інші);

Оформлення РГР здійснюють відповідно до вимог оформлення розрахунково-пояснювальних записок (згідно з ДСТУ), тобто:

– РГР виконують на аркушах формату А4 без рамки з полями: верхнє і нижнє – 20, ліве – не менше 25, праве – не менше 10 мм;

– текст РГР оформлюють шрифтом Times New Roman чорного кольору, 14 кегль, 1,5 інтервали.; заголовки можуть бути виділені шрифтом 14 пт. Абзаци в тексті відступають від тексту на 1–1,25 см;

– нумерацію сторінок РГР проставляють у правому верхньому кутку арабськими цифрами без крапки. Нумерація сторінок – наскрізна, включає ілюстрації (рисунки) й таблиці, розташовані на окремих сторінках, а також додатки. Структурні елементи РГР – ВСТУП, ВИСНОВКИ, СПИСОК

ВИКОРИСТАННИХ ДЖЕРЕЛ – не нумерують;

- усі розділи РГР починають з нової сторінки;
- кожне нове завдання РГР пишуть прописними (заголовними) буквами без крапки в кінці, не підкреслюючи.

### 3.2 Рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи

РГР складається із шести завдань різної складності з реконструкції або інтенсифікації очисних споруд водовідведення. Кожне завдання має на меті навчити студента, мислити і висловлюватися як технолог очисних споруд. Завдання на РГР студент бере з таблиці вихідних даних до кожного завдання за останнім номером залікової книжки.

#### Завдання 1

Запроектувати регулюючі резервуари для очисних споруд продуктивністю  $Q$ . Визначити їх об'єм, вибрати місце їх розміщення стосовно інших споруд технологічної схеми, підібрати споруди, на базі яких доцільно влаштувати регулюючі резервуари. Визначити нову продуктивність очисних споруд. Варіанти вихідних даних наведені в таблиці 3.1. Номер варіанта приймається згідно з останньою або двома останніми цифрами залікової книжки.

Таблиця 3.1 – Варіанти вихідних даних

№ з/к	$Q$ , м <sup>3</sup> /добу	№ з/к	$Q$ , тис. м <sup>3</sup> /добу	№ з/к	$Q$ , тис. м <sup>3</sup> /добу
1	10 000	11	35 000	21	16 000
2	12 000	12	34 000	22	17 000
3	13 000	13	33 000	23	18 000
4	14 000	14	32 000	24	19 000
5	15 000	15	31 000	25	20 000
6	16 000	16	30 000	26	21 000
7	39 000	17	29 000	27	22 000
8	38 000	18	28 000	28	23 000
9	37 000	19	27 000	29	24 000
10	36 000	20	26 000	30	25 000

#### Завдання 2

Для освітлення стічних вод на очисних спорудах продуктивністю  $Q$  використовується  $n$  секцій горизонтальних відстійників глибиною проточної частини  $H$ , шириною  $B$ , довжиною  $L$ . Для інтенсифікації роботи відстійників запроектувати тонкошарові блоки за умови, що витрата стічних вод, що очищуються зростає до 10 %, а затриманню підлягають завислі речовини з гідравлічною крупністю  $U_0$ . Зобразити схему встановлення тонкошарових блоків

у відстійниках. Варіанти вихідних даних наведені в таблиці 3.2. Номер варіанта приймається згідно з останньою або двома останніми цифрами залікової книжки.

Таблиця 3.2 – Варіанти вихідних даних

№ з/к	Q, м <sup>3</sup> /добу	n	H, м	B, м	L, м	U <sub>0</sub> , мм/с
1	27 000	4	3,15	6	24	0,62
2	28 000	4	3,15	6	24	0,63
3	41 000	6	3,15	6	24	0,64
4	42 000	6	3,15	6	24	0,65
5	51 000	4	3,1	9	30	1,0
6	52 000	4	3,1	9	30	0,67
7	76 000	6	3,1	9	30	0,66
8	77 000	6	3,1	9	30	0,68
9	102 000	8	3,1	9	30	0,72
10	103 000	8	3,1	9	30	0,76
11	26 000	4	3,15	6	24	0,69
12	27 000	4	3,15	6	24	0,73
13	42 000	6	3,15	6	24	0,74
14	43 000	6	3,15	6	24	0,75
15	52 000	4	3,1	9	30	1,1
16	53 000	4	3,1	9	30	0,77
17	77 000	6	3,1	9	30	0,76
18	79 000	6	3,1	9	30	0,78
19	104 000	8	3,1	9	30	1,2
20	105 000	8	3,1	9	30	0,96
21	26 000	4	3,15	6	24	0,92
22	25 000	4	3,15	6	24	0,93
23	39 000	6	3,15	6	24	0,84
24	40 000	6	3,15	6	24	0,85
25	49 000	4	3,1	9	30	0,9
26	50 000	4	3,1	9	30	0,87
27	74 000	6	3,1	9	30	0,86
28	75 000	6	3,1	9	30	0,88
29	100 000	8	3,1	9	30	0,83
30	90 000	8	3,1	9	30	0,82

### Завдання 3

Для первинного освітлення стічних вод з максимальною годинною витратою  $Q$  використовується  $n$  вертикальних відстійника з нисхідно-восхідним рухом рідини діаметром  $D$ . Робоча глибина відстійника  $H$ , висота конічної частини відстійника  $h_k$ . Необхідно інтенсифікувати роботу відстійників шляхом їх переобладнання у флотаційні біокоагулятори із збільшенням їх

продуктивності до 15 %. Визначити БПК<sub>5</sub> стічних вод, якщо БПК<sub>5</sub> неочищених стічних вод скидає  $L_0$ , а доза надлишкового мулу, тобто приріст мулу  $P_p$ . Варіанти вихідних даних наведені в таблиці 3.3. Номер варіанта приймається згідно з останньою або двома останніми цифрами залікової книжки.

Таблиця 3.3 – Варіанти вихідних даних

№ з/к	Q, м <sup>3</sup> /доб	n	D	H	h <sub>к</sub>	L <sub>0</sub>	P <sub>p</sub>
1	770	2	4	4,1	1,8	180	190
2	780	2	4	4,1	1,8	170	180
3	1 670	4	6	4,1	2,8	160	170
4	1 680	4	6	4,1	2,8	190	200
5	1 700	4	6	4,2	3,3	200	210
6	1 800	4	6	4,2	3,3	170	190
7	4 000	6	9	4,2	5,1	150	160
8	5 000	6	9	4,2	5,1	210	220
9	500	4	4	2,1	1,8	160	180
10	600	4	4	2,1	1,8	170	190
11	2 000	4	6	3	2,8	190	210
12	1 200	4	6	3	2,8	170	180
13	1 400	6	6	2,1	2,8	150	170
14	1 300	6	6	2,1	2,8	170	180
15	1 500	4	6	3	3,3	200	210
16	1 600	4	6	3	3,3	170	190
17	3 000	6	9	3	5,1	150	160
18	3 500	6	9	3	5,1	210	220
19	4 000	2	4	4,1	1,8	180	190
20	5 000	2	4	4,1	1,8	170	180
21	6 000	4	6	4,1	2,8	160	170
22	3 200	4	6	4,1	2,8	190	200
23	3 900	6	6	4,2	3,3	200	210
24	2 500	6	6	4,2	3,3	170	190
25	1 700	4	9	4,2	5,1	150	160
26	1 100	4	9	4,2	5,1	210	220
27	400	3	4	2,1	1,8	160	180
28	500	3	4	2,1	1,8	170	190
29	600	2	6	3	2,8	190	210
30	900	2	6	3	2,8	170	180

#### Завдання 4

Запроектувати струминні аератори типу «кільцеве сопло» або «шахтний водозлив» для біологічної очистки стічних вод в аеротенках. БПК<sub>повн</sub> неочищених стічних вод  $L_{en}$ , БПК<sub>повн</sub> очищених стічних вод  $L_{ex}$ , витрата стічних

вод, що очищуються  $Q$ . Підібрати насоси для подачі робочої рідини на струминні аератори, навести схему аератора. Варіанти вихідних даних наведені в таблиці 3.4. Номер варіанта приймається згідно з останньою або двома останніми цифрами залікової книжки.

Таблиця 3.4 – Варіанти вихідних даних

№ з/к	$Q$ , м <sup>3</sup> /доб	$L_{en}$ , мг/л	$L_{ex}$ , мг/л
1	7 700	320	4
2	7 800	310	15
3	1 670	300	10
4	1 680	330	6
5	1 700	340	15
6	1 800	350	5
7	4 000	290	9
8	5 000	300	12
9	5 000	280	3,5
10	6 000	310	4
11	2 000	320	6
12	4 200	330	9
13	5 400	340	6
14	6 300	350	10
15	7 500	360	4
16	8 600	290	6
17	3 000	300	15
18	3 500	125	15
19	4 000	135	17
20	5 000	165	4
21	6 000	155	12
22	3 200	145	6
23	3 900	210	10
24	2 500	200	12
25	8 700	190	9
26	9 100	140	15
27	8 400	150	12
28	8 500	160	4
29	9 600	170	6
30	9 000	180	12

### Завдання 5

Біологічна очистка міських стічних вод здійснюється на шести біофільтрах висотою завантаження  $H$  і діаметром  $D$ . Загальний об'єм гравійного завантаження усіх біофільтрів складає  $W = 10\,848$  м<sup>3</sup>, питома

витрата повітря, що подається у завантаження біофільтрів становить  $q_0$ . Добова витрата стічних вод, що очищуються становить  $Q$ , БПК<sub>повн</sub> стічних вод, що очищуються становить  $L_{en}$ , БПК<sub>повн</sub> очищених стічних вод  $L_{ex}$ , середньо зимова температура стічних вод, що очищуються  $T$ .

У зв'язку із підключенням до міської каналізаційної мережі хімічного і гідролізного заводів необхідно здійснити реконструкцію біофільтрів. Стічні води підприємств будуть подаватись рівномірно із витратою  $Q_{вир}$ . БПК<sub>повн</sub> суміші виробничих стічних вод  $L_{вир}$ , середньо зимова температура  $T$ . БПК<sub>повн</sub> очищених стічних вод повинна становити  $L_{ex}$ . Варіанти вихідних даних наведені в таблиці 3.5. Номер варіанта приймається згідно з останньою або двома останніми цифрами залікової книжки.

Таблиця 3.5 – Варіанти вихідних даних

№ з/к	Q, м <sup>3</sup> /добу	H, м	D, м	q <sub>0</sub> , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	L <sub>en</sub> , мг/л	L <sub>ex</sub> , мг/л	T, °C	Q <sub>вир</sub> , м <sup>3</sup> /добу	L <sub>en</sub> , мг/л	L <sub>ex</sub> , мг/л	T <sub>вир</sub> , °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	27 000	2	27	8	260	20	8	8 000	1 400	25	12
2	28 000	3	25	8	250	23	10	9 000	1 300	24	11
3	41 000	4	30	8	240	25	12	8 500	1 250	23	10
4	42 000	2	21	10	230	24	14	7 500	1 200	22	8
5	51 000	3	18	10	220	20	8	7 000	1 100	21	8
6	52 000	4	15	10	260	20	8	8 000	1 400	25	12
7	22 000	2	12	12	250	23	10	9 000	1 300	24	11
8	17 700	3	6	12	240	25	12	8 500	1 250	23	10
9	10 200	4	27	12	230	24	14	7 500	1 200	22	8
10	10 300	2	25	8	220	20	8	7 000	1 100	21	8
11	26 000	3	30	8	260	20	8	8 800	1 600	20	10
12	27 000	4	21	8	250	23	10	8 700	1 350	21	12
13	42 000	2	18	10	240	25	12	8 900	1 550	22	14
14	43 000	3	15	10	230	24	14	6 000	900	25	12
15	52 000	4	12	10	220	20	8	5 000	950	24	10
16	53 000	2	6	12	260	20	8	5 600	1 000	23	8
17	77 000	3	27	12	250	23	10	4 900	1 100	25	14
18	79 000	4	25	12	240	25	12	6 800	1 200	20	12
19	10 400	2	30	8	230	24	14	6 900	1 300	21	10
20	10 500	3	21	8	220	20	8	7 000	1 400	22	8
21	26 000	4	18	8	260	20	8	7 100	1 500	23	10
22	25 000	2	15	10	250	23	10	7 250	1 550	24	12
23	39 000	3	12	10	240	25	12	7 300	1 600	25	14

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
24	40 000	4	6	10	230	24	14	7 400	1 650	20	8
25	49 000	2	27	12	220	20	8	7 500	1 700	21	10
26	50 000	3	25	12	260	20	8	7 600	1 800	22	12
27	74 000	4	30	12	250	23	10	7 700	1 900	23	14
28	75000	2	21	8	240	25	12	7 800	2 000	24	8
29	10 000	3	18	8	230	24	14	7 900	1 950	23	10
30	90 000	4	15	8	220	20	8	8 000	1 800	22	12

### Завдання 6

На міських очисних спорудах для доочистки стічних вод використовуються два фільтри із піщаним завантаженням діаметром  $D$  загальною висотою  $H$ . Витрата стічних вод, що очищуються становить  $Q$ . Здійснити реконструкція фільтрів у зв'язку із збільшенням витрати стічних вод, що очищуються до  $Q_{доб}$ . Варіанти вихідних даних наведені в таблиці 3.6. Номер варіанта приймається згідно з останньою або двома останніми цифрами залікової книжки.

Таблиця 3.6 – Варіанти вихідних даних

№ з/к	$Q$ , м <sup>3</sup> /добу	$D$ , м	$H$ , м	$Q_{доб}$ , м <sup>3</sup> /добу
1	2	3	4	5
1	770	4	4,1	1 440
2	780	4	4,1	1 460
3	1 670	6	4,1	2 400
4	1 680	6	4,1	2 600
5	1 700	6	4,2	2 800
6	1 800	6	4,2	2 900
7	2 400	9	4,2	3 100
8	2 500	9	4,2	3 200
9	500	4	2,1	900
10	600	4	2,1	1 000
11	2 000	6	3	2 900
12	1 200	6	3	1 900
13	1 400	6	2,1	2 000
14	1 300	6	2,1	2 100
15	1 500	6	3	2 400
16	1 600	6	3	1 440
17	3 000	9	3	1 460
18	3500	9	3	2 400
19	4 000	4	4,1	2 600

## Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5
20	5 000	4	4,1	2 800
21	6 000	6	4,1	2 900
22	3 200	6	4,1	3 100
23	3 900	6	4,2	3 200
24	2 500	6	4,2	900
25	1 700	9	4,2	1 000
26	1 100	9	4,2	2 900
27	400	4	2,1	1 900
28	500	4	2,1	2 000
29	600	6	3	2 100
30	900	6	3	2 400



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною : Затверджено МОЗ України 12.05.2010. – Київ, 2010. – 25 с.
2. Орлов В. Ю. Интенсификация работы водоочистных сооружений / В. Ю. Орлов, И. Б. Шевчук. – Киев : Будівельник, 1989. – 128 с.
3. Реконструкція та інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення : навч. посібник / [О. А. Василенко, П. О. Грабовський, Г. М. Ларкіна та ін.]. – Київ – Одеса : КНУБА, ОДАБА, 2007. – 299 с.
4. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 172 с.
5. Пособие по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294854/4294854010.pdf>
6. Фрог Б. Н. Водоподготовка : учеб. пособие для вузов / Б. Н. Фрог, А. П. Левченко. – М. : Издательство МГУ, 1996. – 680 с.
7. Водозаборно-очистные сооружения и устройства : учеб. пособие для студентов вузов / М. Г. Журба, Ю. И. Вдовин, Ж. М. Говорова, И. А. Лушкин ; Под ред. М. Г. Журбы. – М. : ООО «Издательство Астрель» : ООО «Издательство АСТ», 2003. – 569 с.
8. Хоружий П. Д. Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П. Д. Хорунжий, Т. П. Хомуцька, В. П. Хоружий. – Київ : Аграрна наука, 2008. – 543 с.
9. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 2013. – 134 с.
10. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посібник / В. А. Ковальчук. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.
11. Синев О. П. Интенсификация биологической очистки сточных вод / О. П. Синев. – Київ : Техніка, 1983. – 110 с.
12. Сіньов О. П. Інтенсифікація роботи і реконструкція каналізаційним очисних споруд : навч. посібник / О. П. Сіньов. – Київ : ІСДО, 1994. – 136 с.

13. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Справочник проектировщика / Н. И. Лихачев, И. И. Ларин, С. А. Хаскин и др. ; Под общ. ред. В. Н. Самохина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1981. – 639 с.
14. Гудков А. Г. Механическая очистка сточных вод : учеб. пособие / А. Г. Гудков. – Вологда : ВоГТУ, 2003. – 152 с.
15. Проектирование сооружений для очистки сточных вод / Всесоюз. комплекс, н.-и. и конструкт.-технолог. ин-т водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии. – М. : Стройиздат, 1990. – 192 с.
16. Синев О. П. Расширение и реконструкция очистных сооружений / О. П. Синев, А. И. Мацнев, А. П. Игнатенко. – Київ : Будівельник, 1981. – 44 с.
17. Мацнев А. И. Очистка сточных вод флотацией / А. И. Мацнев. – Київ : Будівельник, 1984. – 132 с.
18. Гудков А. Г. Биологическая очистка сточных вод : учеб. пособие / А. Г. Гудков. – Вологда : ВоГТУ, 2002. – 127 с.
19. Журба М. Г. Пенополистирольные фильтры / М. Г. Журба. – М. : Стройиздат, 1992. – 176 с.

ДОДАТОК А

**Зразок оформлення титульного аркуша**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

Кафедра водопостачання, водовідведення і очищення вод

РОЗРАХУНКО-ГРАФІЧНА РОБОТА

з дисципліни

***«РЕКОНСТРУКЦІЯ І ІНТЕНСИФІКАЦІЯ РОБОТИ ОЧИСНИХ СПОРУД  
ВОДОПРОВІДНО-КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ»***

на тему: **«Реконструкція і інтенсифікація роботи  
каналізаційних очисних споруд»**

Студента 5 курсу гр. МРВВР 20\_\_-1  
спеціальності 194 – Гідротехнічне  
будівництво, водна інженерія та водні  
технології

П.І.Б.

Керівник: доц. Г. І. Благодарна

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_ ЄКТС \_\_\_\_\_

Члени комісії \_\_\_\_\_

м. Харків – 20\_ рік

*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації

до організації самостійної роботи, проведення практичних занять  
та виконання розрахунково-графічної роботи  
з навчальної дисципліни

**«РЕКОНСТРУКЦІЯ І ІНТЕНСИФІКАЦІЯ РОБОТИ ОЧИСНИХ СПОРУД  
ВОДОПРОВІДНО-КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ»**

*(для студентів I курсу освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»  
усіх форм навчання за спеціальністю  
194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)*

Укладач **БЛАГОДАРНА** Галина Іванівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна.*  
*За авторською редакцією*  
Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2019, поз. 114 М.

---

Підп. до друку 23.04.2019. Формат 60 × 84/16.  
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 5,0  
Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017.