

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО  
ГОСПОДАРСТВА

**І. О. Гуцал**

## ***МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ***

ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ  
ТА ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З ДИСЦИПЛІНИ

### ***«ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИСТКИ ВОДНО-ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ»***

#### **Модуль 2: «ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД»**

(для студентів 4 курсу денної форми навчання напряму підготовки  
0926 «Водні ресурси», 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)»  
спеціальності „Водопостачання та водовідведення”)

**Харків  
ХНАМГ  
2009**

Методичні вказівки до виконання курсової роботи та проведення практичних занять з дисципліни «Технологія очистки водно-дисперсних систем», Модуль 2: «Технологія очистки стічних вод» (для студентів 4 курсу денної форми навчання напряму підготовки 0926 «Водні ресурси», 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» спеціальності «Водопостачання та водовідведення») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: І. О. Гуцал. – Х.: ХНАМГ, 2009. – 58 с.

Укладач: І. О. Гуцал

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Є. Б. Сорокіна

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очистки вод, протокол № 1 від 29.08.2009 р.

## ВСТУП

Предметом вивчення дисципліни: „Технологія очистки водно-дисперсних систем”, Модуль 2: «Технологія очистки стічних вод», є теорія, методи, розрахунок очисних споруд, способи очищення і знешкодження господарсько - побутових стічних вод міст та промислових стоків, утилізація висококонцентрованих компонентів, можливість повторного використання очищених стічних вод, злив їх за межі підприємства, що дає можливість оздоровлювати навколишнє середовище.

Подання навчального матеріалу, його структура і зміст мають на меті навчити студентів самостійній інженерній діяльності в області очистки стічних вод.

Основні завдання дисципліни складаються з формування знань та вмінь, що необхідно для виконання професійних завдань за спеціальністю 6.092600 - „Водопостачання та водовідведення”.

У вказівках подані теоретичні й практичні рекомендації, потрібні для вирішення відповідних інженерних завдань, пов'язаних з розрахунками та проектування споруд очищення стічних вод.

Методика розрахунку заснована на рекомендаціях СНіПу 2.04.03-85 і вітчизняному досвіді експлуатації очисних споруд системи водовідведення. Для полегшення виконання курсової роботи та практичних занять наведений необхідний додатковий матеріал.

## ЗМ. 2.1. ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДА ОЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД

### 1. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИТРАТ СТИЧНИХ ВОД

Розрахункову добову витрату стічних вод у населеному пункті визначають як суму витрат побутових стічних вод від населення і розрахункових добових витрат стічних вод, скинутих у міську каналізацію промпідприємством за сумарним графіком припливу.

Середньодобова витрата побутових стічних вод від населення, м<sup>3</sup>/доб.:

$$Q_{\text{СР,ДОБ}}^{\text{ПОБ}} = \frac{1,05 \cdot N \cdot q_{\text{ж}}}{1000}, \text{ м}^3/\text{доб.}, \quad (1.1)$$

де 1,05 – коефіцієнт, що враховує витрату стічних вод від підприємств ісцевої промисловості й невраховані витрати;

N – кількість жителів міста на розрахунковий період;

q<sub>ж</sub> – норма водовідведення на одного жителя, л/доб.

$$Q_{\text{СР,ДОБ}}^{\text{ПОБ}} = \frac{1,05 \cdot 96000 \cdot 320}{1000} = 32256 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Середньодобові витрати стічних вод від підприємств Q<sub>пп1</sub> і Q<sub>пп2</sub> наведені в завданні до проекту.

До неврахованих витрат стічних вод міста відносяться:

- приплив поверхневих і ґрунтових вод у систему водовідведення (приймаємо за СНіПом [1,п.2,10]);
- виробнича і завезена ззовні продукція: вода мінеральна і ситро, молочні продукти – 0,2-0,5% проектної потужності, сніготанення.

Середньодобова витрата стічних вод

$$Q_{\text{СР,ДОБ}} = Q_{\text{СР,ДОБ}}^{\text{ПОБ}} + Q_{\text{ПП1}} + Q_{\text{ПП2}}, \text{ м}^3/\text{доб.}, \quad (1.2)$$

$$Q_{\text{СР,ДОБ}} = 32256 + 2200 + 2300 = 36756 \text{ м}^3/\text{доб.},$$

Розрахункова добова витрата стічних вод відповідно до СНіПа [1.п.2,3]

$$Q_{\text{Роз.ДОБ}} = Q_{\text{СР,ДОБ}} \cdot K_{\text{ДОБ}}, \quad (1.3)$$

де K<sub>доб</sub> – коефіцієнт добової нерівномірності, прийнятий згідно із СНіП

У проекті коефіцієнт добової нерівномірності прийнятий 1,15.

$$Q_{\text{Роз.ДОБ}} = 36756 \times 1,15 = 42269,4 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Розрахункові максимальні й мінімальні секундні витрати стічних вод, л/с, слід визначати як добутки середньо секундних витрат стічних вод за добу най-

більшого водовідведення на загальні коефіцієнти нерівномірності  $K_{gen.max}$  і  $K_{gen.min}$ , наведені у табл. 2 СНіПа [1]:

$$q_{max.c} = \frac{Q_{Poz.Доб} \cdot K_{gen.max}}{86400},$$

$$q_{min.c} = \frac{Q_{Poz.Доб} \cdot K_{gen.min}}{86400},$$

$$q_{max.c} = \frac{56052.9 \cdot 1.49}{86,400} = 966.7 \text{ л/с},$$

$$q_{min.c} = \frac{56052.9 \cdot 0.67}{86,400} = 434.7 \text{ л/с}.$$

Максимальні й мінімальні годинні витрати визначають, виходячи з максимального і мінімального секундних витрат.

## 2. СКЛАД СТИЧНИХ ВОД ДО І ПІСЛЯ ОЧИСНИХ СПОРУД

### 2.1. Визначення усереднених концентрацій забруднень змішаного стоку

Концентрація забруднень у стічних водах від підприємств наведена у за-  
вданні.

Концентрацію забруднень у побутових стічних водах від населення ви-  
значають за зваженими речовинами –  $C_{en}$  і БПК<sub>повн</sub> –  $L_{en}$ , виходячи з питомого  
водовідведення  $q_{ж}$ .

Концентрація зважених речовин у стічних водах від населення, мг/л:

$$C_{en}^{ПОВ} = \frac{65 \cdot 1000}{q_{ж}}, \text{ мг/л}, \quad (2.1)$$

$$C_{en}^{ПОВ} = \frac{65 \cdot 1000}{320} = 203.13 \text{ мг/л}.$$

Концентрація органічних речовин по БПК<sub>повн</sub> у побутових стічних водах  
після відстоювання, мг/л:

$$L_{en}^{ПОВ} = \frac{40 \cdot 1000}{q_{ж}}, \text{ мг/л}; \quad (2.2)$$

$$L_{\text{ЕЛ}}^{\text{ПОБ}} = \frac{40 \cdot 1000}{320} = 125 \text{ мг/л.}$$

Середню концентрацію забруднень у загальному стоку води від міста визначають як середньозважену величину, мг/л

за зваженими речовинами

$$C_{\text{en}} = \frac{C_{\text{en}}^{\text{ПОБ}} \cdot Q_{\text{ДОБ}}^{\text{ПОБ}} + C_{\text{en}}^{1\text{ПР}} \cdot Q_{\text{ДОБ}}^{1\text{ПР}} + C_{\text{en}}^{2\text{ПР}} \cdot Q_{\text{ДОБ}}^{2\text{ПР}}}{Q_{\text{ДОБ}}^{\text{ПОБ}} + Q_{\text{ДОБ}}^{1\text{ПР}} + Q_{\text{ДОБ}}^{2\text{ПР}}}, \text{ мг/л;} \quad (2.3)$$

$$C_{\text{ЕЛ}} = \frac{203.13 \cdot 32256 + 400 \cdot 2200 + 500 \cdot 2300}{32256 + 2200 + 2300} = 233.5 \text{ мг/л,}$$

за БПК

$$L_{\text{en}} = \frac{L_{\text{en}}^{\text{ПОБ}} \cdot Q_{\text{ДОБ}}^{\text{ПОБ}} + L_{\text{en}}^{1\text{ПР}} \cdot Q_{\text{ДОБ}}^{1\text{ПР}} + L_{\text{en}}^{2\text{ПР}} \cdot Q_{\text{ДОБ}}^{2\text{ПР}}}{Q_{\text{ДОБ}}^{\text{ПОБ}} + Q_{\text{ДОБ}}^{1\text{ПР}} + Q_{\text{ДОБ}}^{2\text{ПР}}}, \text{ мг/л} \quad (2.4)$$

$$L_{\text{ЕЛ}} = \frac{125 \cdot 32256 + 250 \cdot 2200 + 850 \cdot 2300}{32256 + 2200 + 2300} = 177.85 \text{ мг/л.}$$

## 2.2. Припустимі концентрації основних забруднюючих речовин у суміші побутових і виробничих стічних вод

Припустимі концентрації основних забруднюючих речовин у суміші побутових і виробничих стічних вод при надходженні на споруди біологічного очищення (у середньодобовій пробі) слід приймати згідно з «Правилами прийому виробничих стічних вод у систему каналізації населених пунктів».

Вміст біогенних елементів повинен бути не менше 5 мг/л азоту (N) і 1 мг/л фосфору (P) на кожні 100 мг/л БПК<sub>повн.</sub>. У противному разі необхідні біогенні добавки.

У складі й концентрації забруднюючих речовин у стічних водах необхідно враховувати їх зміст у вихідній водопровідній воді, а також забруднюючі речовини від споруд з обробки осадів стічних вод, від промивних вод споруд глибокого очищення.

Розрахунок споруд біологічної очистки виконують за БПК<sub>повн.</sub>, для побутових стічних вод приймають БПК<sub>повн.</sub> = БПК<sub>20</sub>.

### 3. ВИЗНАЧЕННЯ ПРИВЕДЕНОГО ЧИСЛА ЖИТЕЛІВ

Приведене число жителів – це сума фактичного числа жителів міста і фіктивного числа жителів, що обчислюється за забрудненнями, які надходять від промислових підприємств.

Приведене число жителів визначають двічі: за зваженими речовинами і БПК<sub>повн.</sub>, згідно з кількістю відповідного виду забруднень у змішаному стоку і норми цього виду забруднень, що приходить на одного жителя за добу.

*N<sub>прив.</sub> за зваженими речовинами*

$$N_{ПРИВ}^{ВВ} = \frac{C_{en} \cdot Q_{расч.доб.}}{65}, \text{ люд.} \quad (3.1)$$

$$N_{ПРИВ}^{ВВ} = \frac{203.13 \cdot 56052.9}{65} = 175170 \text{ люд.}$$

*N<sub>прив</sub> за БПК*

$$N_{ПРИВ}^{БПК} = \frac{L_{en} \cdot Q_{расч.доб.}}{40}, \text{ люд.} \quad (3.2)$$

$$N_{ПРИВ}^{БПК} = \frac{125 \cdot 56052.9}{40} = 175165 \text{ люд.}$$

Приведене число жителів за кількістю зважених речовин використовують при розрахунку споруд механічної очистки, а за БПК – при розрахунку споруд біологічної очистки.

### 4. ВИЗНАЧЕННЯ ПРИПУСТИМОЇ ЯКОСТІ СТИЧНИХ ВОД, СКИНУТИХ У ВОДОЙМУ

Згідно з п.6.1 СНіП (1) ступінь очищення стічних вод, скинутих у водні об'єкти, повинен відповідати вимогам САНПіНу (2) повторно використовуваних – санітарно-гігієнічним, а також технологічним вимогам споживача.

Правилами охорони поверхневих вод від забруднень стічними водами нормуються гранично припустимі концентрації забруднень і гранично припустиме зниження концентрацій розчиненого кисню в суміші стічних вод і води водозбору (табл.4.1.). Для забезпечення цих умов стічні води перед спуском у водозбір повинні бути очищені.

Таблиця 4.1

<b>Показники складу і властивостей води водозбору</b>	<b>Категорія водозбору</b>		
	<i>Івид водо-користування</i>	<i>Івид водо-користування</i>	<i>Рибогосподарське призначення</i>
<b>Зважені речовини</b>	<i>Вміст зважених речовин, мг/л, не повинен збільшуватися більше ніж на:</i>		
	0,25	0,75	0,25
<b>Розчинений кисень</b>	<i>У кожний період року в пробі, відібраній до 12 год. дня концентрація O<sub>2</sub> мг/л повинно бути не менше</i>		
	4	4	6
<b>БПК</b>	<i>Повна потреба води в кисні при 20<sup>0</sup> С, мг/л, не повинна перевищувати</i>		
	3	6	3

Необхідний ступінь очищення міських стічних вод повинен бути визначений за показниками: БПК<sub>повн</sub>, розчинений кисень і зважені речовини.

Крім того, при скиданні у водозбори, що використовуються для централізованого господарсько-питного водопостачання, необхідно стежити за якістю води в межах класу, до якого відноситься джерело водопостачання.

#### 4.1 Визначення вмісту зважених речовин, припустимих до скидання у водойму

Припустиму концентрацію зважених речовин у стічних водах, мг/л, які спущені у водойму, відповідно до санітарних правил, визначають за формулою

$$C_{EX} = \left( \frac{\gamma \cdot Q_e}{q} + 1 \right) \cdot C_{ГПК} + C_p, \text{ мг/л}, \quad (4.1)$$

де  $C_{ГПК}$  – гранично припустиме за санітарними правилами збільшення вмісту зважених речовин у водоймі після спуску стічних вод (залежно від виду водокористування), мг/л;

$C_p$  – вміст зважених речовин у воді водойми до спуску стічних вод, мг/л;

$\gamma$  - коефіцієнт змішування;

$Q_v$  – витрата води у водоймі, м<sup>3</sup>/с;

$q$  - витрата стічних вод у середньодобова, м<sup>3</sup>/с.

$$C_{EX} = \left( \frac{0,76 \cdot 11}{0,425} + 1 \right) \cdot 0,25 + 6 = 10,92 \text{ мг/л}.$$



#### 4.2. Визначення значення БПК<sub>повн.</sub> L<sub>ex</sub> у стічній воді, припустиме до скидання у водойму

Концентрацію органічних забруднень за БПК<sub>повн.</sub>, мг/л, у стічних водах, припустимих для спуску у водойму, розраховують за формулою

$$L_{EX} = \frac{\gamma \cdot Q}{q \cdot 10^{-K_1 t}} (L_{ГПК} - L_p \cdot 10^{-K_2 t}) + \frac{L_{ГПК}}{10^{-K_1 t}}, \quad (4.2)$$

де L<sub>ex</sub> – БПК<sub>повн.</sub> стічної рідини, що повинна бути досягнута у процесі очищення, мг/л;

L<sub>p</sub> – БПК<sub>повн.</sub> річкової води до місця випуску стічних вод, мг/л;

L<sub>ГПК</sub> – гранично припустиме БПК<sub>повн.</sub> суміші річкової і стічної води у розрахунковому створі, мг/л.

K<sub>1</sub> і K<sub>2</sub> – константи швидкості споживання кисню стічною і річковою водою.

Значення констант K<sub>1</sub> і K<sub>2</sub> коливаються залежно від температури середовища, мінливості органічних речовин і т.п. У розрахунках слід приймати: при температурі води 20<sup>0</sup>С середнє значення константи K<sub>1</sub>, рівне 0,1; константи K<sub>2</sub>, рівне 0,2;

t- тривалість, доб., переміщення води від місця випуску стічних вод до розрахункового пункту в добу, дорівнює відношенню відстані L<sub>ф</sub>, м, по фарватеру від місця випуску стічних вод до розрахункового пункту к середній швидкості плину води у ріці на даній ділянці V<sub>p</sub>, м/с,

$$t = \frac{L_{\phi} + 1000}{V_p \cdot 86400} = \frac{1970 + 1000}{0,45 \cdot 86400} = 0,076 \text{ доб.}$$

$$L_{EX} = \frac{0,76 \cdot 11}{0,425 \cdot 10^{-0,1 \cdot 0,076}} (3 - 3 \cdot 10^{-0,2 \cdot 0,076}) + \frac{3}{10^{-0,1 \cdot 0,076}} = 4.87 \text{ мг/л.}$$

#### 4.3. Визначення необхідного ступеня очищення за розчиненим у воді киснем

Розрахунок припустимої максимальної величини БПК<sub>повн.</sub> скинутих у водойму стічних вод, мгО<sub>2</sub>/л, виходячи з вимог санітарних правил у збереженні у водоймі мінімального вмісту розчиненого кисню О<sub>2</sub> виконують за рівнянням

$$O_{EX} = \frac{\gamma \cdot Q}{0,4 \cdot q} (O_p - 0,4 \cdot L_p - O_{ГПК}) - \frac{O_{ГПК}}{0,4}, \text{ мгО}_2 / \text{л} \quad (4.3)$$

де γ - коефіцієнт змішання;

Q – витрата води у водоймі, м<sup>3</sup>/с;

q - витрата стічних вод, що надходять у водойму, м<sup>3</sup>/с;

O<sub>p</sub> - вміст розчиненого кисню у річковій воді до місця спуску стічних вод, мг/л (з завдання);

L<sub>p</sub> – БПК<sub>повн.</sub> річкової води, мг/л;

O<sub>ГПК</sub> – мінімальна концентрація розчиненого кисню, мг/л, яка повинна зберегтися у водоймі після спуска стічних вод (з табл.4.1)

$$O_{EX} = \frac{0,76 \cdot 11}{0,4 \cdot 0,425} (7,9 - 0,4 \cdot 3 - 6) - \frac{6}{0,4} = 19,4, \text{ мгО}_2 / \text{л.}$$

#### 4.4. Визначення необхідного ефекту очищення стічних вод, що скидаються у водойму

Ефект очищення стічних вод визначають як частку від розподілу різниці значення показника забруднення у воді, що надходить на очищення, і значення показника, встановленого розрахунком для скидання у водойму, з урахуванням правил спуску стічних вод у водойму, на значення показника забруднення у воді, що надходить на очищення.

Якщо значення показника забруднення, розраховане за правилами спуску стічних вод у водойму, погіршує стан водойми до переведення його в більш низький клас, то треба зменшити до необхідного ступеня значення показника в стічній воді, що скидається у водойму.

Необхідний ефект очищення за зваженими речовинами і БПК обчислюють за виразом (%)

$$\mathcal{E} = \frac{C_{en} - C_{ex}}{C_{en}} \cdot 100\% \quad (4.4)$$

$$\mathcal{E} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{L_{en}} \cdot 100\% \quad (4.5)$$

де  $C_{en}$  – концентрація зважених речовин у стічній воді, що надходить на очищення, мг/л.

$C_{ex}$  – припустимий вміст зважених речовин у стічній воді, що спускається у водойму, мг/л.

$L_{en}$  – значення БПК<sub>повн.</sub> у стічній воді, що надходить на очищення, мг/л.

$L_{ex}$  – значення БПК<sub>пол</sub> у стічній воді, що скидається у водойму, мг/л.

$$\mathcal{E} = \frac{203.13 - 10.92}{203.13} \cdot 100 = 94.6\%$$

Необхідний ефект очищення за БПК<sub>повн.</sub> визначають за виразом (%)

$$\mathcal{E} = \frac{125 - 4.87}{125} \cdot 100 = 96.1\% .$$

## 5. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ОЧИЩЕННЯ І СКЛАДУ СПОРУД ОЧИСНОЇ СТАНЦІЇ

Вибір і обґрунтування технологічної схеми очищення міських стічних вод, що являють собою суміш побутових і виробничих стічних вод багатогалузевої промисловості, залежить від кількості й фізико-хімічного стану забруднень, що містяться в них, а також від вимог щодо очищення.

Механічне очищення здійснюють для виділення зі стічних вод нерозчинених забруднень шляхом проціджування, відстоювання і фільтрування.

При механічному очищенні затримується не більше 60% зважених речовин, що осаджуються. Більш високий ефект досягається шляхом застосування різних способів інтенсифікації. До них відносять преаерацію, біокоагуляцію та освітлення у зваженому шарі.

Механічне очищення як самостійний метод застосовують у тих випадках, коли звільнену від забруднень воду використовують повторно у виробництві чи за місцевими й санітарними умовами її можна скинути у водойму. В інших випадках механічне очищення є попередньою стадією перед біохімічною.

Механічний спосіб дозволяє знизити загальну кількість забруднень від початкового на 40–50%.

Біохімічні методи очищення базуються на життєдіяльності мікроорганізмів, що сприяють окислюванню чи відновленню органічних речовин, які знаходяться у стічній рідині у вигляді тонких суспензій, колоїдів і в розчинів.

Для біохімічного очищення стічних вод у штучних умовах застосовують біологічні фільтри й аеротенки. У цих спорудах процес очищення протікає більш інтенсивно, ніж у природних умовах. Інтенсивністю процесу очищення стічних вод у тій чи іншій споруді визначають окислювальну потужність споруди, під якою розуміється кількість грамів кисню, одержуваного з 1 м<sup>3</sup> споруди за добу і використовуване для зниження БПК стічних вод, окислювання амонійних солей до нітритів і нітратів, а також підвищення вмісту в стічних водах розчиненого кисню. Розмір окисної потужності для різних споруд коливається в широких межах.

Біохімічний метод дозволяє знизити кількість забруднень на 65 – 95% і довести воду до кондиції технічної води, придатної до повторного застосування у технічному водопостачанні, для зрошення в сільському господарстві при скиданні у відкриті водойми без небезпеки забруднення.

Розробку технологічних схем і компоновку очисних станцій слід виконувати на підставі норм, правил, нормативних вказівок і спеціальних рекомендацій науково-дослідних інститутів, а також досвіду експлуатації діючих споруд.

Більшість великих міських очисних станцій, побудованих раніше, мають двоступеневу схему: механічне і біохімічне очищення. У зв'язку з підвищеними вимогами до ступеня очищення стічних вод і охорони навколишнього середовища від забруднень все частіше проектують очисні станції за триступеневою схемою з глибоким очищенням, доочищенням біологічно очищених стічних вод. Існує багато типів очисних споруд і велика розмаїтість технологічних схем, використовуваних при двох і триступінчастому очищенні.

Вибір майданчика для будівництва очисної станції проводять згідно з проектом планування і забудови міста, а при наявності схеми районного планування – з цією схемою. При цьому слід враховувати далеку перспективу розвитку міста, розширення території міста, забезпечення під'їзними коліями, умови водогазотепло та електропостачання станції.

Майданчик для будівництва станції очищення стічних вод слід вибирати, як правило, з підвітряного боку для панівних вітрів теплого періоду року стосовно житлової забудови і нижче населеного пункту за течією ріки. Вона повинна по можливості мати ухил, що забезпечує самотпливний рух стічних вод по спорудах і відведення поверхневих вод, розташовуватися на території, не затоплюваної паводковими водами, з низьким рівнем ґрунтових вод, забезпечувати раціональне розміщення споруд на території як на розрахунковий період, так і на перспективний розвиток станції.

Орієнтований вибір основних споруд станції очищення необхідно зробити по даним табл.5.1.

Таблиця 5.1.

№ п/п	Споруди для очистки	Продуктивність очисної станції,м³/доб				
		До 5000	До 10000	До 30000	До 50000	Більш 50000
1	2	3	4	5	6	7
Споруди для механічної очистки						
1	Решітки	+	+	+	+	+
2	Пісковловлювачі горизонтальні: - з прямолінійним рухом води; - аеріровані; - з коловим рухом води.					
		+	+	+	+	+
		-	-	+	+	+
		+	+	+	+	+
Відстійники						
3	Двурічкові	+	+	-	-	-
4	Вертикальні	+	+	-	-	-
5	Горизонтальні	-	-	+	+	+
6	Радіальні	-	-	+	+	+
Споруди для обробки осаду стічних вод						
7	Мулоушільнювач	-	+	+	+	+
8	Метантенки	-	+	+	+	+
9	Аеробні стабілізатори	+	+	+	-	-
10	Мулові площадки	+	+	+	+	+
11	Вакуум-фільтри	-	-	-	+	+
12	Центрифуги	-	+	+	+	+
Споруди для біологічної очистки стічних вод						
13	Біофільтри	+	+	+	-	-
14	Біологічні ставки	+	-	-	-	-
15	Аерофільтри	-	+	+	+	-
16	Аеротенки	+	+	+	+	+
Вторинні відстійники						
17	Вертикальні	+	+	-	-	-
18	Горизонтальні	-	-	+	+	+
19	Радіальні	-	-	+	+	+

Примітка: знак «+» - рекомендується; знак «-» - не рекомендується.

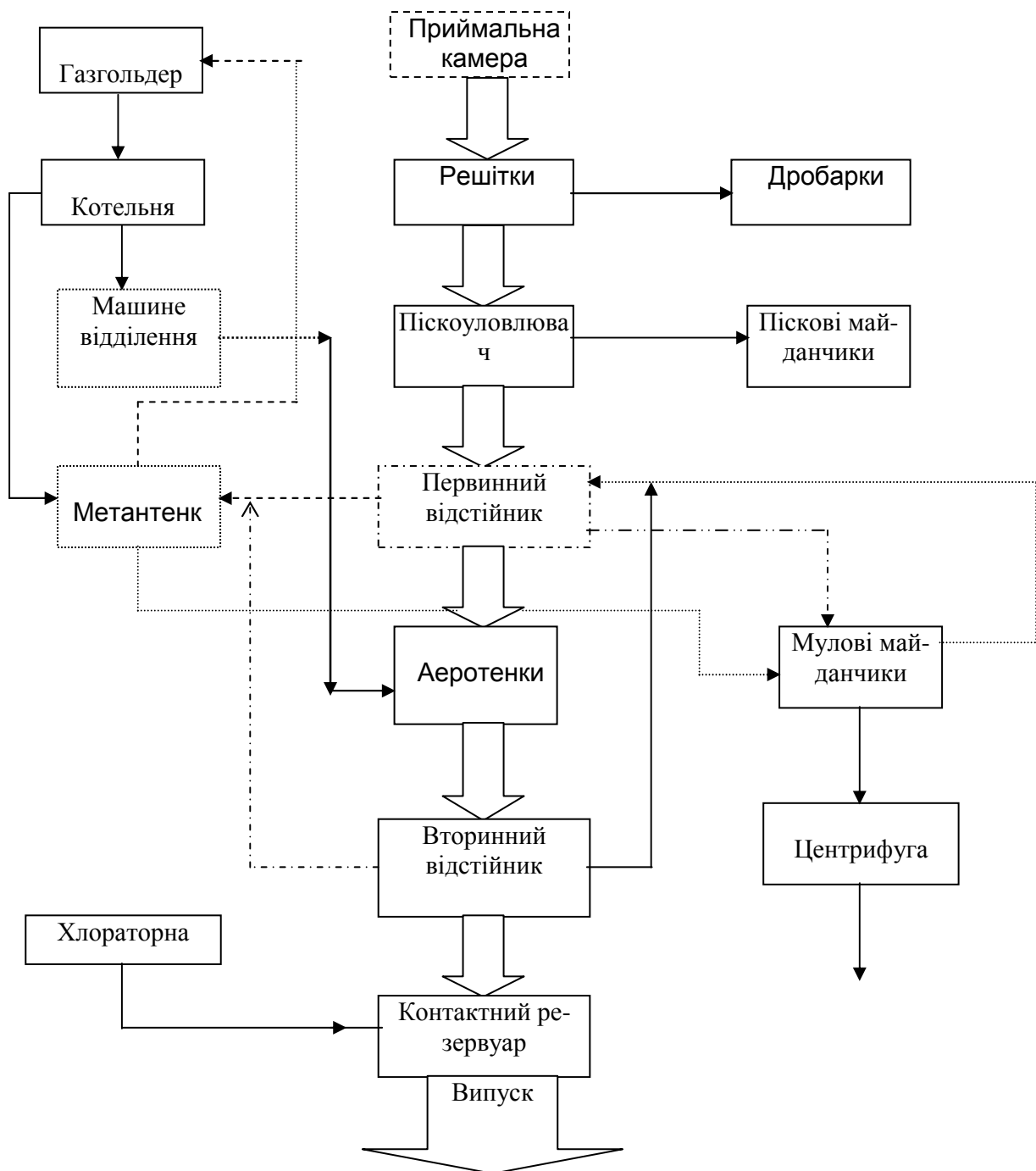


Рис. 5.1 - Технологічна схема очищення стічних вод

Після визначення складу споруд приступають до їхнього розрахунку. Очисні споруди розраховують за ходом стічної води: приймальня камера, решітки, піскоуловлювачі, водовимірювальні пристрої, відстійники. При розрахунку ґрат і пісколовочок спочатку виконують гідравлічний розрахунок підвідних каналів, і лотків, тому що рівень води в лотках входить до розрахунку живого перерізу потоку у решітках і пісковловлювачах.

## ЗМ. 2.2. МЕХАНІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД

### 6. РОЗРАХУНОК СПОРУД ДЛЯ МЕХАНІЧНОЇ ОЧИСТКИ

#### 6.1. Приймальна камера

Приймальну камеру розраховують за витратою, прийнятою з коефіцієнтом 1,4. Ширину її приймають за шириною приміщення ґрат,  $Y=1856$  мм; швидкість руху води рівною швидкості води в лотку перед ґратами,  $U_1=0.93$  м/с; оцінку рівня води – за профілем руху води по спорудженнях. Інші розміри приймають конструктивно.

$$Q=966,7 \cdot 1,4 = 1352.38 \text{ л/с} = 116845.63 \text{ м}^3/\text{доб.} = 4868.57 \text{ м}^3/\text{год} = 1.35 \text{ м}^3/\text{с}.$$

#### 6.2 Решітки

Вихідні дані (витрати в м<sup>3</sup>/сек):

Середній секундний

$$q_{\text{сер}} = 0.778$$

Максимальний секундний

$$q_{\text{макс}} = 1.319$$

Мінімальний секундний

$$q_{\text{мін}} = 0.407$$

Таблиця 6.1 - Технічні характеристики решіток типу МГ і РМВ

Марка	Q, м <sup>3</sup> /доб	Розміри каналу перед решітками, мм		Площа проходу решіток, м <sup>2</sup>	Ширина решіток Вр, мм
		В	Н		
РМВ-1000	26	1000	1000	0.3	-
МГ9Т	33	1000	1200	0.38	1425
МГ7Т	35	800	1400	0.39	1338
МГ11Т	50	1000	1600	0.57	1520
МГ10Т	65	1000	2000	0.74	1580
МГ8Т	110	1400	2000	1.25	1955
МГ12Т	130	1600	2000	1.5	2175
МГ6Т	165	2000	2000	1.9	2675
МГ5Т	185	2000	3000	2.1	2175
РМВ	17	600	800	0.2	-

Визначаємо площу живого перетину робочих решіток:

$$F = \frac{q_{\text{макс}}}{v} = \frac{1.319}{0.9} = 1.47 \text{ м}^2, \quad (6.1)$$

де  $v$  - швидкість руху рідини в прозорах решіток, м/сек ( $v = 0.8-1.0$  м/с). Приймаємо  $v = 0.9$  м/с.

По табл. 6. 1. приймаємо решітку марки МГ10Т (площа проходу  $f=0.74$  м<sup>2</sup>).

Тоді число робочих решіток складе:

$$N = \frac{F}{f} = \frac{1,47}{0,74} = 2_{шт.} \quad (6.2)$$

Кількість резервних решіток - 1.

Основні показники прийнятих решіток

<i>пропускна здатність(двох робітників решіток)</i>	<i>65тис. м<sup>3</sup>/доб</i>
<i>площа проходу решіток</i>	<i>0,74м<sup>2</sup></i>
<i>ширина прозорів</i>	<i>b=0.016м</i>
<i>товщина стрижнів</i>	<i>s=0.008м</i>
<u><i>стрижні прямокутного перетину</i></u>	
<i>ширина решіток</i>	<i>Bp=1580мм</i>
<i>ширина каналу перед решітками</i>	<i>B=1000мм</i>
<i>глибина каналу перед решітками</i>	<i>H=2000мм.</i>

Число прозорів у решіток  $n$  можна визначити

$$B_p = nb + (n-1)s \quad (6.3)$$

$$1580 = n \cdot 16 + (n-1) \cdot 8$$

звідки;

$$n = \frac{1580 + 8}{24} = 66 \text{ шт.}$$

Розрахункове наповнення перед решітками

$$h_{max} = \frac{q_{max} \cdot K_1}{b \cdot v \cdot n \cdot N} = \frac{1.319 \cdot 1.05}{0.016 \cdot 0.90 \cdot 66 \cdot 2} = 0.74 \text{ м} \quad (6.4)$$

де  $K_1$ - коэф. враховує стиснення потоку граблями  $K_1 = 1.05$

Таблиця 6.2 - Дані гідравлічного розрахунку каналу, що підводить стічні води

Розрахункові дані	Витрата , л/сек		
	$Q_{сер}=389$	$Q_{max}=659,5$	$Q_{min}=203.5$
Ухил $i$	0.0008	0.0008	0.0008
Ширина $B_k$ , м	1.0	1.0	1.0
Наповнення $h$ , м	0.48	0.74	0.31
Швидкість $v$ , м/с	0.80	0.91	0.66

Оскільки робочих решіток 2, то канал, що підводить, до кожної з них розраховується на половину розрахункової витрати.

Швидкість у розширеній частині каналу перед ґратами при мінімальному припливі стічних вод повинне бути не менш 0,4м/сек щоб уникнути замулення каналу

$$v = \frac{q}{BhN} = \frac{0.407}{1.0 \cdot 0.31 \cdot 2} = 0,66 \text{ м/с} \quad (6.5)$$

де  $h_{min}$ - наповнення в каналі при мінімальному припливі.

$$\text{Втрати напору в решітках визначаємо} \quad h = \zeta \frac{v^2}{2g} K \quad (6.6)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що враховує збільшення втрат напору в решітках внаслідок засмічення її покидьками,  $K = 3$ ;

$\zeta$  - коефіцієнт місцевого опору решіток.

$$\zeta = \beta \left( \frac{s}{b} \right) \sin \alpha^{4/3}, \quad (6.7)$$

де  $\beta = 2,45$ ;  $\alpha$  - кут нахилу решіток до обрію  $\alpha = 60^\circ$

$$\zeta = 2.42 \left( \frac{0.008}{0.016} \right)^{4/3} * 0.85 = 0.83,$$

$$h = 0.83 \frac{0.9^2}{2 * 9.81} * 3 = 0.1 \text{ м} = 10 \text{ см}.$$

Визначаємо розміри камери решіток в плані.

$$L_1 = \frac{B - B}{2 \tan 20} = \frac{1.580 - 1.00}{2 * 0.364} = 0.8 \text{ м} \quad L_2 = \frac{L_1}{2} = \frac{0.8}{2} = 0.40 \text{ м} \quad (6.8)$$

Загальна будівельна довжина камери решіток:

$$L = L_1 + L_2 + 1.5 = 0.8 + 0.4 + 1.5 = 2.7 \text{ м}.$$

Будівельна глибина каналу перед решітками  $H = 2 \text{ м}$  (див. табл. 6.1).

Кількість сміття що знімається з решіток, на одну людину складає 8 л/рік.

Середня щільність сміття  $750 \text{ кг/м}^3$ , коефіцієнт годинної нерівномірності їхнього надходження складає 2 (вологість відходів 53,8 – 88%, зольність 2,7 – 40,8%).

Об'єм сміття, що вловлюються,  $\text{м}^3/\text{доб}$

$$V_{\text{доб}} = \frac{N_{\text{прив}} \cdot 8}{1000 \cdot 365}, \text{ м}^3/\text{доб}, \quad (6.9)$$

$$V_{\text{сут}} = \frac{175170 \cdot 8}{1000 \cdot 365} = 3.84 \text{ м}^3/\text{доб}.$$

при їхній щільності  $750 \text{ кг/м}^3$ , маса забруднень дорівнює

$$M = V \cdot 0,75 \text{ т/доб}, \quad (6.10)$$

$$M = 3,84 \cdot 0,75 = 2.88 \text{ т/доб}.$$

### 6.3 Піскоуловлювачі

Піскоуловлювачі необхідно передбачати при продуктивності очисних споруд понад  $100 \text{ м}^3/\text{доб}$ . Число піскоуловлювачів і їхніх відділень дорівнює двом (усі відділення робочі).



Піскоуловлювачі розраховують на максимальний приплив стічних вод, параметри перевіряють на пропуск мінімальної витрати.

Піскоуловлювачі вибирають з урахуванням продуктивності очисних споруд, схеми очищення стічних вод і обробки осаду, характеристик зважених речовин.

### 6.3.1. Горизонтальні пісколовки з коловим рухом води

Довжину пісколовки визначають за формулою

$$L_s = \frac{k \cdot 1000 \cdot H_s \cdot V}{U_0}, \text{ м}, \quad (6.11)$$

де  $k$  - коефіцієнт що дорівнює 1,7 при гідравлічній крупності  $U_0 = 18.7$  мм/с і розрахунковому діаметрі часток піску 0,2 мм;

$V$  – швидкість руху води в піскоуловлювачі, для горизонтальних піскоуловлювачів  $V=0,3$  м/с;

$H_s$  – розрахункова глибина піскоуловлювача, приймаємо  $H_s = 0,8$  м.

$$L_s = \frac{1,7 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 0,3}{18,7} = 21,8 \text{ м},$$

$$L_s = H \cdot D^2, \text{ м},$$

$$L_s = 0,8 \cdot 6^2 = 28,8 \quad (6.12)$$

Приймаємо два піскоуловлювача (номерів типового проекту 902–2–27) з діаметром піскоуловлювача 1000мм, відстань між осями лотка і камери переключення - 7500мм, відстань між віссю камери переключення - 5000мм.

Час перебування води в піскоуловлювачі при максимальному припливі визначають за формулою

$$t = \frac{L_s}{V}, \text{ сек.}, \quad (6.13)$$

$$t = \frac{28,8}{0,3} = 96 \text{ сек.}$$

Час повинен бути не менше 30 сек.

Швидкість протікання води в пісковловлювачі при максимальному припливі знаходять за формулою:  $V_{S(\max)} = \frac{Q_{\max}}{b \cdot H_s \cdot n}, \text{ м/сек}, \quad (6.14)$

де  $b$  – ширина одного відділення пісковловлювача.

$$b = \frac{q}{H_s \cdot V}, \text{ м}, \quad (6.15)$$

$$b = \frac{1.35/2}{0.8 \cdot 0.3} = 2.8 \text{ м}$$

$$V_{s(\max)} = \frac{1.35}{2.8 \cdot 0.8 \cdot 2} = 0.3 \text{ м/сек.}$$

Швидкість протікання води в пісковловлювачі при мінімальному припливі

$$V_{s(\min)} = \frac{0.434}{2.8 \cdot 0.8} = 0.09 \text{ м/сек.}$$

Загальна будівельна глибина піскоуловлювача

$$H_{\text{стр}} = h_{\text{борт}} + H_s + h_2, \quad (6.16)$$

де  $h_{\text{борт}}$  – висота бортів над рівнем води в пісковловлювачі, = 0,3м;  
 $h_2$  – висота шару осаду;

$$h_2 = \frac{N_{\text{прив}}^{BB} \cdot 0.02}{1000 \cdot L_s \cdot b}, \quad (6.17)$$

$$h_2 = \frac{175170 \cdot 0.02}{1000 \cdot 28.8 \cdot 2.8} = 0.04 \text{ м},$$

$$H_{\text{буд.}} = 0.3 + 0.8 + 0.04 = 1.14 \text{ м.}$$

Приймаємо будівельну висоту пісковловлювача 1.5м.  
 Визначаємо кількість затриманого піску

$$W_n = \frac{0.02 \times N_{\text{прив.}}}{1000} \text{ м}^3 / \text{доб.}, \quad (6.18)$$

$$W_n = \frac{0.02 \times 175170}{1000} = 3.50 \text{ м}^3 / \text{доб.}$$

Маса піску:  $M_{\text{п}} = W_{\text{п}} \times 1.5 = 3.50 \times 1.5 = 5.25 \text{ т/доб.}$

Пісковий прямок треба проектувати на зберігання піску до 2-х доб.

$$W_{\text{п}} \times 2 = 3.50 \times 2 = 7.0 \text{ м}^3$$

Ємкість бункера проектується з розрахунку на 5-ти добове зберігання піску

$$W_6 = W_{\text{п}} \times 5 = 3.50 \times 5 = 17.5 \text{ м}^3$$

Площа піскової площадки:

$$F_n = \frac{W_n \times 365}{q_{yd}} = \frac{3,5 \times 365}{3} = 425,83 \text{ м}^2 \quad (6.19)$$

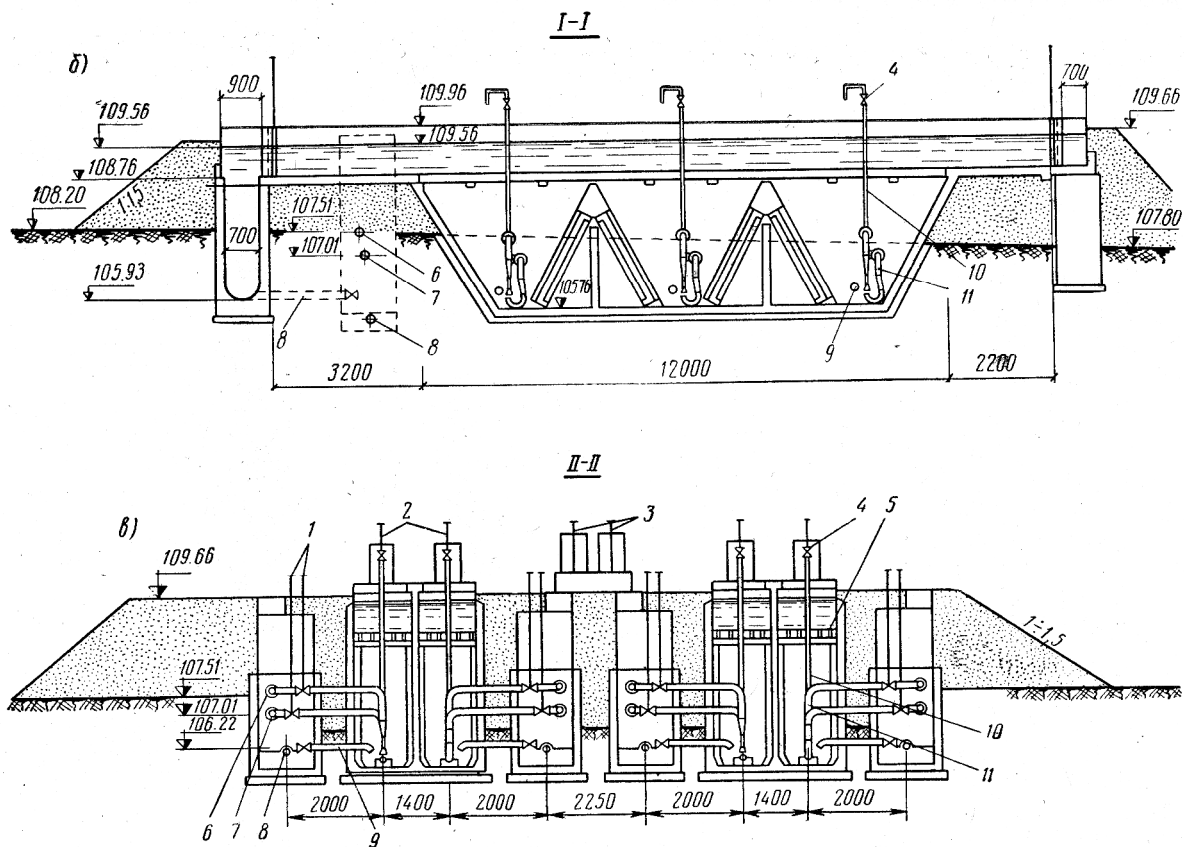


Рис.6.1 - Горизонтальний піскоуловлювач с прямолинійним рухом води.

б) розріз 1-1; в) розріз 2-2; 1-колонки до управління засувками; 2,3 –щитовий затвір;  
4-вентиль з отводом; 5-решітка; 6-піскопровід; 7-стічна вода до гідроелеватора;  
8-лінія спорожнення; 9-трубопровід спорожнення; 10-патрубок до прочистки;  
11-гідроелеватор; 12-піскопровід; 13-водопровід.

#### 6.4 Розрахунок первинних відстійників

Первинні відстійники розраховують відповідно до СНіПу [1] при кінети-  
кому осадженні суспензії з урахуванням необхідного ефекту освітлення. Число  
первинних відстійників слід приймати не менше двох.

Концентрація зважених речовин у воді, що надходять на біологічне очи-  
щення, не менше 150мг/л.

Ефект освітлення у відстійниках, % визначають за формулою

$$\mathcal{E} = \frac{C_{en} - 150}{C_{en}} \cdot 100\%, \quad (6.20)$$

$$\mathcal{E} = \frac{233.5 - 150}{233.5} \cdot 100 = 35.8\%.$$

Гідравлічну крупність знаходять за формулою

$$U_0 = \frac{1000 \cdot H_{SET} \cdot K_{SET}}{t_{SET} \left( \frac{K_{SET} \cdot H_{SET}}{h_1} \right)^{n_2}}, \text{ мм/с}, \quad (6.21)$$

де  $H_{set}$  – глибина проточної частини у відстійнику  $H_{set}=2\text{м}$ ;

$K_{set}$  – коефіцієнт використання об'єму проточної частини;

$t_{set}$  – тривалість відстоювання,  $t=1200\text{с}$  (при  $h=0,5\text{м}$ );

$n_2$  – показник ступеня, що залежить від агломерації суспензії у процесі осадження, визначається за кресленням,  $n_2=0,22$  при  $C_{en}=279,76\text{мг/л}$ .

$$U_0 = \frac{1000 \cdot 2 \cdot 0,5}{1200 \left( \frac{0,5 \cdot 2}{0,5} \right)^{0,22}} = 1 \text{ мм/с}.$$

Якщо температура стічної води не відповідає  $20^0\text{C}$ , вводять температурну поправку

$$U_0^t = \left( \frac{\mu_{lab}}{\mu_{pr}} \right) \cdot U_0 \text{ мм/с}, \quad (6.22)$$

$$\left( \frac{\mu_{lab}}{\mu_{pr}} \right) = 0,858 \text{ при } t_{ст.в} = 14^0\text{C},$$

$$U_0^t = 0,858 \cdot 1 = 0,88 \text{ мм/с}.$$

Для одержання такого ефекту гідравлічна крупність зважених часток має бути більше  $0,88 \text{ мм/с}$ .

Приймаємо глибину проточної частини відстійника  $H_1 = 3\text{м}$ , середню швидкість течії  $6 \text{ мм/с}$ . При розподілі води на початку споруди і скиданні її наприкінці споруди за допомогою водозливу  $h_0 = 0,25$ ,  $\alpha = 30^0$  визначаємо довжину ділянки  $l_1$ , на якій висота активного шару у відстійнику досягне розрахункової глибини  $H_1 = 3 \text{ м}$ .

Середня глибина потоку на цій ділянці дорівнює:

$$h_{cp} = \frac{H_1 + h_0}{2,15}, \text{ м}, \quad (6.23)$$

$$h_{cp} = \frac{3 + 0,25}{2,15} = 1,51 \text{ м}.$$

Середня швидкість потоку на ділянці:

$$V_1 = \frac{V_{cep} \cdot H_1}{h_{cep}} \text{ мм/с}, \quad (6.24)$$

$$V_1 = \frac{6 \cdot 3}{1,51} = 11,92 \text{ мм/с},$$

при цьому  $R = 0,16$ ,  $\omega = 0,04$

$$l_1 = 1.15 \sqrt{\frac{(H_1 - h_0)}{R}} \text{ м}, \quad (6.25)$$

$$l_1 = 1.15 \sqrt{\frac{(3 - 0.25)}{0.16}} = 11.86 \text{ м}.$$

Тривалість протікання води на ділянці:

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1}, \text{ год.}, \quad (6.26)$$

$$t_1 = \frac{11.86 \cdot 1000}{11.92} = 995 \text{ с} = 0.27 \text{ год}.$$

За цей час найменша частка, що осаджується, пройде шлях

$$h_1 = t_1 \cdot (U_0 - \omega) \text{ м}, \quad h_1 = 995(1 - 0.04) = 955 \text{ мм} = 0.92 \text{ м}. \quad (6.27)$$

При  $V_{\text{сер}} = 6 \text{ мм/с}$ , що  $\varpi = 0.01$  залишила частину глибини відстійника, частка пройде за час

$$t_2 = \frac{H_1 - h_1}{U_0 - \omega}, \text{ год.}, \quad t_2 = \frac{3000 - 995}{0.88 - 0.01} = 1902 \text{ с} = 0.53 \text{ год}. \quad (6.28)$$

За цей час частка переміститься по горизонталі на відстань

$$l_2 = t_2 \cdot V_{\text{сер}}, \quad l_2 = 1902 \cdot 0.006 = 11.41 \text{ м}. \quad (6.29)$$

Довжина ділянки звуження потоку:

$$L_3 = \frac{H_1}{\text{tg} \alpha} \text{ м}, \quad L_3 = \frac{3}{\text{tg} 30^\circ} = 5.17 \text{ м}. \quad (6.30)$$

Загальну довжину знаходимо за формулою

$$L = l_0 + l_1 + l_2 + l_3 + l_4, \quad L = 0.7 + 11.86 + 11.41 + 5.17 + 0.5 = 29.64 \text{ м}. \quad (6.31)$$

Ширина відділень відстійника:

$$B = \frac{Q}{(H_1 \cdot V)} \text{ м}, \quad B = \frac{1.35}{(2 \cdot 0.005)} = 90 \text{ м} \quad (6.32)$$

Приймаємо один відстійник  $L = 30 \text{ м}$ , в кожному по вісім відділень  $B_{\text{отд}} = 9 \text{ м}$ . типового проекту 902-2-241.

Продуктивність одного відстійника  $q_{\text{set}}$ :

$$q_{\text{SET}} = 3.6 \cdot K_{\text{SET}} \cdot L_{\text{SET}} \cdot B_{\text{SET}} (U_0 - V_{\text{tb}}), \text{ м}^3/\text{год} \quad (6.33)$$

$$q_{SET} = 3,6 \cdot 30 \cdot (9 \cdot 8) \cdot (0,88 - 0) = 6842,88 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Кількість витягнутого осаду  $Q_{mid}$ ,  $\text{м}^3/\text{год}$ :

$$Q_{mid} = \frac{q_{mid} (C_{en} - C_{ex})}{(100 - P_{mid}) \cdot \gamma_{mid} \cdot 10^4}, \text{м}^3/\text{год}. \quad (6.34)$$

де  $P_{mid}$  – вологість осаду, 93,5%;

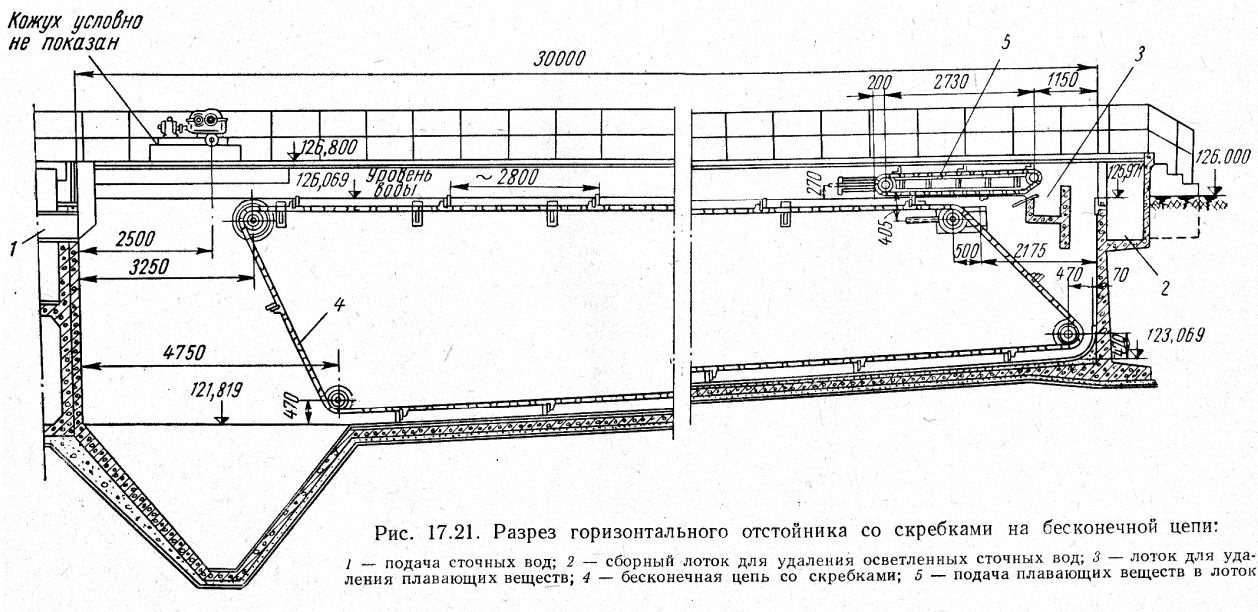
$q_{mid}$  – витрата стічних вод,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

$\gamma_{mid}$  – щільність осаду,  $\text{г}/\text{см}^3$ .

$$Q_{mid} = \frac{4868,57 \cdot (233,5 - 10,92)}{(100 - 93,5) \cdot 1 \cdot 10^4} = 16,67 \text{ м}^3 / \text{год}.,$$

$$C_{ed} = \frac{C_{en} (100 - \vartheta)}{100} = \frac{233,5 (100 - 35,8)}{100} = 149,9 \text{ мг} / \text{л}, \quad (6.35)$$

$$L_{en} = \frac{L_{en} (100 - 20)}{100} = \frac{125 \cdot 80}{100} = 100 \text{ мг} / \text{л} \quad (6.36)$$



### ЗМ. 2.3. БІОЛОГІЧНА ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД

#### 7. РОЗРАХУНОК СПОРУД ДЛЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Слід знати, що найбільш ефективними спорудами для біологічного очищення є аеротенки, що застосовуються для повного і неповного біологічного очищення стічних вод. Стічні води надходять в аеротенки після споруд механічного очищення.

*Аеротенки* – це резервуари, в яких стічна вода, що очищається, і активний мул насичуються повітрям і переміщуються. *Активний мул* являє собою пластівчасті скупчення аеробних мікроорганізмів, здатних сорбувати на своїй поверхні й окислювати в присутності кисню повітря органічні речовини стічної рідини.

Для нормальної життєдіяльності мікроорганізмів – мінералізаторів в аеротенках необхідно безупинно подавати повітря.

Залежно від способу подачі й розподілу повітря аеротенки можуть бути з аерацією:

- **пневматичною** (повітря подають по металевих трубах і розподіляють через дірчасті труби фільтроси, що являють собою проникливі для повітря пористі пластинки розміром 30 x 30 і товщиною 4см);
- **механічною** (принцип роботи *механічних аеротенків* – залучення повітря безпосередньо з атмосфери обертовими частинами аератора (ротором) і перемішування його з усім вмістом аеротенки);
- **комбінованою**, що сполучає в собі елементи пневматичної і механічної аерації.

Як правило, застосовують механічну або пневматичну систему аерації.

Залежно від способу введення стічних вод і активного мулу слід розрізняти:

1) аеротенки-змішувачі - подача і випуск стічної води і мулу здійснюються розосереджено уздовж довгих сторін коридору аеротенка;

2) аеротенки-витиснювачі - стічна вода й активний мул подаються зосереджено з однієї з торцевих сторін аеротенків, а випускаються також зосереджено з іншої.

Аеротенки-витиснювачі доцільно застосовувати при БПК<sub>повн</sub> стічної води до 300мг/л, а аеротенки - змішувачі - при БПК<sub>повн</sub> до 1000мг/л.

При двоступінчастій схемі для першого ступеня очищення рекомендується використовувати аеротенки-змішувачі, для другого - аеротенки-витиснювачі.

Для аеротенків і регенераторів число секцій повинно бути не менше двох. Для станцій продуктивністю до 50 тис.м<sup>3</sup>/доб найбільш доцільне число секцій 4 – 6, а при більшій продуктивності – 6-8, всі секції – робочі, кожна складається з двох – чотирьох коридорів.

Аеротенки можна компонувати з вторинними відстійниками, об'єднати в блок при прямокутній формі обох споруд у плані. Найбільш компактні комбіновані споруди – це аеротенки-відстійники. Цей тип споруд круглої в плані форми з механічними аераторами називають *аероакселератором*.

Слід знати, що в практиці проектування і будівництва аеротенків використовують типові проекти, розроблені "Союзводоканалпроектом". Є також типові проекти аероакселераторів діаметром 18 і 24м.

Розрахунок аеротенків включає визначення місткості й розмірів споруди, об'єму необхідного повітря і надлишкового активного мулу.

## 7.1. Методика розрахунку аеротенків без регенераторів

### 7.1.1. Аеротенки-змішувачі

При проектуванні аеротенків будь-яких типів необхідно розрахувати період аерації й об'єм споруд.

Період аерації в аеротенках-змішувачах без регенераторів визначають за формулою

$$t_{ам} = \frac{L_{ен} - L_{ex}}{a_i(1-S)\rho}, \quad (7.1)$$

де  $L_{ен}$  - БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить в аеротенки, з урахуванням зниження БПК<sub>повн</sub> при первинному відстоюванні, мг/л;

$L_{ex}$  - БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води, мг/л, визначеної за необхідним ступенем очищення стічних вод;

$a_i$  - доза мулу, визначають за табл.1;

$S$  - зольність мулу приймають в частках одиниці, рівної 0,3;

$\rho$  - питома швидкість окислювання мг БПК<sub>повн</sub> на г беззольної речовини мулу в годину, обумовлена за формулою

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{ex} \cdot C_0}{L_{ex} \cdot C_0 + K_1 \cdot C_0 + K_0 \cdot L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \phi \cdot a_i} \quad (7.2)$$

де  $\rho_{\max}$  - максимальна швидкість окислювання для міських стічних вод, приймають рівною 85 мг БПК<sub>повн</sub>/(м год);

$C_0$  - концентрація розчиненого кисню в аеротенку, прийняти 2 мг/л;

$K_1$  - константа, що характеризує властивості органічних забруднюючих речовин, для міських стічних вод дорівнює 33 мг БПК<sub>повн</sub>/л;

$K_0$  - константа, що характеризує вплив кисню, для міських стічних вод приймається рівної 0,625 мгО<sub>2</sub>/л;

$\phi$  - коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу, рівний для міських стічних вод 0,07 л/г.

Таблиця 7.1

Тип аеротенка	БПК <sub>повн</sub> води, що надходить, $L_{ен}$ , мг/л	Доза мулу $a_i$ , г/л
Аеротенк-змішувач		
без регенераторів	100 - 150	3
з регенераторами	150 - 300	2 - 3
Аеротенк-витиснювач		
без регенераторів	100 - 150	3 - 5
з регенераторами	300 - 400	2,5 - 4,5



Місткість аеротенка визначають за формулою

$$W_{atm} = t_{atm} \cdot q_w \quad (7.3)$$

За табл.7.2 студенти можуть підібрати відповідно до своїх розрахунків типовий проект аеротенка-змішувача без регенератора з типовими розмірами секцій та коридорів. При розбіжності розрахункових розмірів з типовими вносять необхідні корективи в бік збільшення довжини секції, зберігаючи при цьому її кратність 6м (довжина стінових панелей).

Приріст активного мулу визначають за формулою

$$P_i = 0.8C_{cdp} + K_g \cdot L_{en}, \text{мг/л}, \quad (7.4)$$

де  $C_{cdp}$ - концентрація зважених речовин у стічній воді, що надходить в аеротенк, не більше 150 мг/л;

$K_g$ - коефіцієнт приросту, для міських і близьких до них за складом виробничих стічних вод  $K_g=0,3$

Таблиця 7.2 – Аеротенки-змішувачі без регенератора

Ширина коридору $B_{atm}, \text{м}$	Робоча глибина аеротенків $H_{atm}, \text{м}$	Число коридорів $m$	Робочий об'єм секції $W_{atm}, \text{м}^3$	Довжина секції $l_{atm}, \text{м}$	Номер типового проекту
3	1,2	2	170	24	902-2-94
			260	36	902-2-95/96
4	4,5	2	864	24	902-2-215/216
			1296	36	902-2-217/218
			3780	42	902-2-268
6	5	3	5400	60	902-2-269
			7500	84	902-2-211
9	5,2	4	21680	120	902-2-120/72
			28080	150	902-2-264

Питому витрату повітря  $q_{air} \text{ м}^3/\text{м}^3$  води, що очищається при пневматичній системі аерації визначають за формулою

$$q_{air} = \frac{q_o (L_{en} - L_{ex})}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_r \cdot K_3 (C_a - C_o)}, \quad (7.5)$$

де  $q_o$ - питома витрата кисню повітря, мг на 1 мг знятої БПК<sub>повн</sub>, приймають при очищенні до  $L_{ex} = 15-20 \text{ мг/л}$  – 1,1, при очищенні до  $L_{ex}$  понад 20мг/л – 0,9.

$K_1$ - коефіцієнт, що враховував тип аератора і прийнятий для середньо пузирчастої і низьконапірної аерації 0,75; для дрібно пузирчастої аерації  $K_1$  залежить від відношення площі аеріруємої зони, що аерірується  $f_{az}$ , до площі аеротенку  $f_{at}$  і визначається за табл. 7.3.

Таблиця 7.3

$f_{az} / f_{at}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1,0
$K_1$	1,34	1,47	1,68	1,89	1,94	2,0	2,12	2,3
$J_{a.max} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ ч})$	5	10	30	30	40	50	75	100

$K_2$  - коефіцієнт, залежний від глибини занурення аераторів, приймається за табл. 7.4.

Таблиця 7.4

$h_a$ , м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$K_2$	0,4	0,46	0,6	0,8	0,9	1,0	2,08	2,52	2,92	3,3
$J_{a,max}$ $м^3/(м^2 \cdot ч)$	48	42	38	32	28	24	4	3,5	3,0	2,5

$K_T$  - коефіцієнт, що враховував, температуру стічних вод, який слід визначати за формулою

$$K_T = 1 + 0,02 (T_w - 20), \quad (7.6)$$

де  $T_w$  – середньомісячна температура стічної води за літній період, для середньоєвропейської смуги можна прийняти рівною  $21^\circ C$ ;

$K_3$  - коефіцієнт, якості води, прийнятий для міських стічних вод 0,85;

$C_a$  – розчинність кисню повітря у воді, мг/л, обчислюють за формулою

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) \cdot C_T, \quad (7.7)$$

де  $h_a$  – глибина занурення аераторів, ( $h_a = H - 0,3 = 2,9$ м)

$C_m$  – розчинність кисню в воді у залежності від температури  $T_w$  і атмосферного тиску, приймають за табл.7.5.

Таблиця 7.5

$T_w, ^\circ C$	10	11	12	13	14	15	16
$C_T$	11,33	11,08	10,83	10,6	10,37	10,15	9,95

$T_w, ^\circ C$	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$C_T$	9,74	9,64	9,35	9,17	8,89	8,83	8,68	8,53	8,38

Інтенсивність аерації,  $м^3/(м^2 \cdot г)$ , обчислюють за формулою

$$I_a = \frac{q_{air} \cdot H_{at}}{t_{atm}}, \quad (7.8)$$

Годинна витрата повітря, подана в аеротенк,  $м^3/год$ ,

$$Q_{air} = q_w \times q_{air}, \quad (7.9)$$

При підборі механічних, пневмомеханічних і струминних аеротенків їхнє число треба визначати за формулою

$$N_{ma} = \frac{q_o (L_{en} - L_{ex}) \cdot W_{atm}}{1000 \cdot K_T \cdot K_3 \left( \frac{C_a - C_o}{C_a} \right) \cdot t_{atm} \cdot Q_{ma}}, \quad (7.10)$$

де  $Q_{ma}$  - продуктивність аератора за киснем, прийнята за паспортними даними аераторів НІКТИГХ (табл. 7.6)

Таблиця 7.6 – Аератори НІКТИГХ

Тип аератора	Продуктивність за киснем, кг/год	Об'єм зони дії, м <sup>3</sup>		Глибина аеротенка Н <sub>атм</sub> , м	Потужність, кВт	
		За аерірованням	За перемішуванням		Установлена	Спожита
<b>АИ-ІМ</b>	1-1	100	70	2	5,5	2,8
<b>ІАРН</b>	10	100	300	2,5	10	6
<b>ІАРП</b>	6	70	200	2,5	7	4
<b>АР-1</b>	25	500	600	3	20	18
<b>АР-2</b>	100	1500	2000	-	75	-
<b>ТА-1</b>	80	1000	1800	5	40	37
<b>ТА-2</b>	30	400	1000	3	17	11
<b>ТАП-5</b>	150	2000	-	-	55	-
<b>ТАП-6</b>	40	500	-	-	17	-

### 7.1.2. Аеротенки – витиснювачі

Слід розрахувати період аерації і об'єм аеротенка.

Період аерації в аеротенках – витиснювачах

$$t_{atv} = \frac{1 + \phi \cdot a_i}{\rho_{\max} \cdot C_0 \cdot a_i (1 - S)} \left[ (C_0 + K_0)(L_{mix} - L_{ex}) + K_l \cdot C_0 \cdot l_n \frac{L_{mix}}{L_{ex}} \right] \cdot K_p \quad (7.11)$$

$$t_{atv} = \frac{1 + 0.07 \cdot 2.5}{85 \cdot 2 \cdot 2.5 (1 - 0.3)} \left[ (2 + 0.625)(144.37 - 4.87) + 33 \cdot 2 \cdot l_n \frac{144.37}{4.87} \right] \cdot 1.5 = 3.45 \text{ год.}$$

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

$a_i$  – доза мулу, обумовлена за табл.7.6;

$\rho_{\max}$  - максимальна швидкість окислювання для міських стічних вод приймається 85 мг БПК<sub>повн</sub>/ (м · год);

$C_0$  – концентрація розчиненого кисню в аеротенку, допускається приймати 2 мг/л;

$S$  – зольність мулу, прийнята в частках одиниці, рівної 0,3;

$K_0$  – константа, що характеризує вплив кисню для міських стічних вод, приймається рівної 0,625 мгО<sub>2</sub>/л;

$K_p$  - коефіцієнт, що враховує вплив поздовжнього перемішування:  $K_p = 1,5$  при біологічному очищенні до  $L_{ex} = 15$  мг/л;  $K_p = 1,25$  при  $L_{ex}$  більше 30мг/л. Для проміжних значень  $L_{ex}$  величину  $K_p$  визначають інтерполюванням;

$L_{en}$  – БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить в аеротенк, з урахуванням зниження БПК<sub>повн</sub> при первинному відстоюванні;

$L_{ex}$  - БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води, мг/л, визначеної за необхідним ступенем очищення стічних вод;

$K_l$  – константа, що характеризує властивості органічних забруднюючих речовин, рівна для міських стічних вод 33 мг БПК<sub>повн</sub>/л;

$L_{mix}$  - БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить на початок аеротенка – витиснювача з урахуванням розведення циркуляційним мулом

$$L_{mix} = \frac{(L_{en} + L_{ex} \cdot R_i)}{(1 + R_i)} = \frac{177.85 + 4.87 \cdot 0.24}{1 + 0.24} = 144.37, \quad (7.13)$$

де  $R_i$  – ступінь рециркуляції активного мулу, визначають за формулою

$$R_i = \frac{a_i}{1000/J_i - a_i} = \frac{2.5}{1000/100 - 2.5} = 0.24, \quad (7.14)$$

де  $J_i$  – муловий індекс, прийнятий за табл. 7.7.

Таблиця 7.7

Навантаження на мул $q_i$ , мг/(м доб)	100	200	300	400	500	600
Муловий індекс $J_i$ , см <sup>3</sup> /м	130	100	70	80	95	130

У всіх випадках період аерації повинен бути не менше двох годин.

Для уточнення значення мулового індексу варто розрахувати навантаження на мул, мг, БПК<sub>повн</sub> на 1 м беззольної речовини мулу за добу за формулою

$$q_i = \frac{24(L_{mix} - L_{ex})}{a_i(1 - S)t_{at}} = \frac{24(144.37 - 4.87)}{2.5(1 - 0.3) \cdot 3.45} = 554.3 \text{ мг/(г доб.)}, \quad (7.15)$$

де  $t_{at}$  – період аерації, год.(розраховано раніше)

Місткість аеротенка – витиснювача визначають з урахуванням циркуляційної витрати

$$W_{atv} = t_{atv}(1 + R_i)q_w = 3.45(1 + 0.24) \cdot 4868.57 = 20827.74 \text{ м}^3, \quad (7.16)$$

де  $q_w$  - розрахункова витрата, дорівнює середньогодинному значенню в години максимального припливу стічних вод, м<sup>3</sup>/год.

Приріст активного мулу визначають за формулою

$$P_i = 0.8C_{cdp} + K_g \cdot L_{en} = 0.8 \cdot 150 + 0.3 \cdot 177.85 = 173.36 \text{ мг/л},$$

де  $C_{cdp}$ - концентрація зважених речовин у стічній воді, що надходить в аеротенк, не більше 150 мг/л;

$K_g$ - коефіцієнт приросту, для міських і близьких до них за складом виробничих стічних вод  $K_g=0,3$ .

При концентрації органічних забруднень у стічних водах, що виражаються їхнім кисневим еквівалентом БПК<sub>повн</sub>, більше 150 мг/л, аеротенки проектують з регенераторами.

При регенерації активного мулу доцільно застосовувати аеротенки – витиснювачі 2-3-4- коридорного типу, конструкція яких дозволяє відводити 25 – 50% їхнього об'єму під регенератори.

Для аеротенків з регенераторами визначають тривалість окислювання органічних забруднень за формулою

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i \cdot a_r (1 - S) \rho} = \frac{177.85 - 4.87}{0.24 \cdot 7.7 (1 - 0.3) \cdot 9.8} = 13.6 \text{ год.}, \quad (7.17)$$

де  $L_{en}$  – БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить в аеротенк, з урахуванням зниження БПК<sub>повн</sub> при механічному очищенні, мг/л;

$L_{ex}$  – БПК<sub>повн</sub> очищеної води, мг/л, визначеної за необхідним ступенем очищення стічних вод;

$R_i$  – ступінь рециркуляції активного мулу;

$S$  – зольність мулу, приймається в частках одиниці, рівної 0,3;

$\rho$  – питома швидкість окислювання,

$a_r$  – доза мулу в регенераторі, г/л, визначають за формулою

$$a_r = a_i \left( \frac{1}{2R_i} + 1 \right) = 2.5 \left( \frac{1}{2 \cdot 0.24} + 1 \right) = 7.7 \text{ г/л}, \quad (7.18)$$

де  $a_i$  – доза мулу в аеротенку.

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_{\max} \frac{L_{ex} \cdot C_0}{L_{ex} \cdot C_0 + K_1 \cdot C_0 + K_0 \cdot L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \phi \cdot a_i} = \\ &= 85 \frac{4.87 \cdot 2}{4.87 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0.625 \cdot 4.87} \cdot \frac{1}{1 + 0.07 \cdot 2.5} = 9.8 \end{aligned}$$

де  $\rho_{\max}$  – максимальна швидкість окислювання для міських стічних вод, приймається рівною 85 мг БПК<sub>повн</sub>/(м год);

$C_0$  – концентрація розчиненого кисню в аеротенку, допускається прийняти 2 мг/л;

$K_1$  – константа, що характеризує властивості органічних забруднюючих речовин, для міських стічних вод дорівнює 33 мг БПК<sub>повн</sub>/л;

$K_0$  – константа, що характеризує вплив кисню, для міських стічних вод приймається рівної 0,625 мгО<sub>2</sub>/л;

$\phi$  – коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу, рівний для міських стічних вод 0,07 л/г.

Тривалість обробки води в аеротенку, год.

$$t_{at} = \frac{2.5}{\sqrt{a_i}} \cdot \lg \frac{L_{mix}}{L_{ex}} = \frac{2.5}{\sqrt{2.5}} 1.47 = 2.3 \text{ год.} \quad (7.19)$$

При розрахунку аеротенків - змішувачів з регенерацією доза мулу  $a_i$  приймається рівною дозі мулу в регенераторі  $a_r$ , при розрахунку аеротенків – витиснювачів з регенерацією  $a_i = 2 - 4,5$  г/л. Тривалість аерації в аеротенку  $t_{at}$

визначається з урахуванням розведення циркулюючою витратою, тривалість окислювання  $t_0$  – без урахування розведення.

Тривалість регенерації, год., знаходять за формулою

$$t_r = t_0 - t_{at} = 13.6 - 2.3 = 11.3 \text{ год.} \quad (7.20)$$

Місткість аеротенка,  $\text{м}^3$ , розраховують за виразом

$$W_{at} = t_{at} (1 + R_i) q_w, \quad (7.21)$$

де  $q_w$  – розрахункова витрата, дорівнює середньогодинному значенню в години максимального припливу стічних вод,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

Об'єм регенераторів  $W_r$ ,  $\text{м}^3$ , визначають за формулою

$$W_r = t_r \cdot R_i \cdot q_w = 11.3 \cdot 0.24 \cdot 4868.57 = 13203.56 \text{ м}^3 \quad (7.22)$$

Загальний обсяг аеротенка і регенератора,  $\text{м}^3$

$$W = W_{at} + W_r = 13885.16 + 13206.57 = 27091.72 \text{ м}^3 \quad (7.23)$$

Слід відзначити, який відсоток у загальному обсязі аеротенка  $W$  складає місткість регенератора  $W_r$ . У двох коридорних аераторах можна 50% об'єму аеротенка відвести під регенерацію, у три коридорних - 33%, у чотири коридорних - 25 і 50%.

За формулою (7.4) студенти визначають довжину секції аеротенка, за табл. 7.2 чи 7.8 уточнюють основні параметри і типовий проект аеротенка.

### Біологічні фільтри

До споруд біологічного очищення стічних вод у штучно створених умовах відносять також біологічні фільтри (біофільтри) усіх типів для повного і неповного біологічного очищення стічних вод з доведенням БПК<sub>повн</sub> до 15 мг/л.

Біофільтри підрозділяють за пропускною здатністю на краплинні й високонавантажені.

Краплинні біофільтри застосовують на станціях продуктивністю до  $1000 \text{ м}^3/\text{доб}$ , висота шару завантаження 1 - 2 м, високонавантажені - на станціях продуктивністю до  $50000 \text{ м}^3/\text{доб}$ , висота шару завантаження 2 - 4 м. За способом подачі повітря біофільтри можуть бути з природною і штучною вентиляцією (аерофільтри). У даний час найбільше застосування мають біофільтри зі штучною подачею повітря.

За характером завантажувального матеріалу біофільтри можуть бути з об'ємним (зернистим) і площинним завантаженням. У біофільтрах з об'ємним завантаженням використовують щебінь, гальку міцних гірських порід, керамзит, а в біофільтрах із площинним завантаженням - пластмаси, азбестоцемент, кераміку, метал, тканини та ін.

За режимом роботи біофільтри бувають з рециркуляцією (коли стічні води з великою концентрацією за БПК<sub>повн</sub> слід розбавляти очищеними стічними водами) і без рециркуляції.

Число біофільтрів має бути не менше двох і не більше восьми, причому всі вони повинні бути робочими.

Залежно від середньодобової витрати і концентрації забруднень стічних вод, що направляються на очищення, підбирають тип і режим роботи (з рециркуляцією чи без неї).

## 7.2 Методика розрахунку біофільтрів

### 7.2.1 Краплинні біофільтри

На краплинні біофільтри допускається подавати стічні води з БПК<sub>повн</sub> = 220 мг/л; при більшій концентрації передбачається рециркуляція. Гідравлічне навантаження  $q_{bf} = 1-3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ доб})$ .

Краплинні біофільтри розраховують в такій послідовності.

Визначають коефіцієнт  $K_{bf}$

$$K_{bf} = \frac{L_{en}}{L_{ex}}, \quad (7.24)$$

де  $L_{en}$ ,  $L_{ex}$  - БПК<sub>повн</sub> стічних вод (що надходять та очищених).

За середньозимовою температурою стічних вод  $T_w$  і значенню  $K_{bf}$  (табл.7.9) обчислюють висоту біофільтра  $H_{bf}$  і гідравлічне навантаження  $q_{bf}$ . Якщо отримане значення  $K_{bf}$  перевищує значення, наведені в табл.7.9, необхідно передбачати рециркуляцію і розрахунок робити в тій же послідовності, що і розрахунок високонавантажених біофільтрів.

Таблиця 7.9

Гідравлічне навантаження $q_{bt}$ , $\text{м}^3/\text{м}^2\text{-доб}$	Коефіцієнт $K_{bf}$							
	При температурі $T_w, ^\circ\text{C}$							
	8		10		12		14	
	Висоті $H_{bf}$ , м							
	1,5	2	1,5	2	1,5	2	1,5	2
1	8	11,6	9,8	12,6	10,7	13,8	11,4	15,1
1,5	5,9	10,2	7	10,9	8,2	11,7	10	12,8
2	4,9	8,2	5,7	10	6,6	10,7	8	11,5
2,5	4,3	6,9	4,9	8,3	5,6	10,1	6,7	10,7
3	3,8	6	4,4	7,1	6	8,6	5,9	10,2

За витратою очищених стічних вод,  $\text{м}^3/\text{доб}$ , і гідравлічним навантаженням,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{доб}$ , обчислюють загальну площу біофільтрів,  $\text{м}^2$ :

$$F_{bf} = \frac{Q}{q_{bf}}. \quad (7.25)$$

Кількість надлишкової біоплівки, яка виноситься з краплинних біофільтрів, слід приймати 8г/(люд доб) по сухій речовині, вологість плівки - 96%.

### 7.2.2 Високонавантажувальні біофільтри (аерофільтри)

Висоту біофільтра визначають залежно від БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води, гідравлічне навантаження приймають 10-30 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> • доб), припустиму БПК<sub>повн</sub> що надходять на біофільтр стічних вод 300мг/л. При більшій БПК<sub>повн</sub> необхідно передбачати рециркуляцію (розбавляти очищеною стічною водою).

Розрахунок високонавантажувальних біофільтрів роблять у наступній послідовності. За формулою (7.24) визначають коефіцієнт K<sub>af</sub>. Потім з табл. 7.10 для даної середньозимової температури стічної води T<sub>w</sub> обчислюють висоту біофільтра H<sub>af</sub>, гідравлічне навантаження q<sub>af</sub> і витрату повітря q<sub>a</sub>.

Якщо отримане значення K<sub>af</sub> відрізняється від значень, наведених у табл.7.10, то для очищення стічних вод без рециркуляції слід приймати H<sub>af</sub>, q<sub>af</sub>, і q<sub>a</sub> за найближчим більшим значенням K<sub>af</sub>, а з рециркуляцією — за меншим.

При очищенні стічних вод без рециркуляції знаходять площу біофільтри за формулою (7.25), з рециркуляцією визначають припустиму БПК<sub>повн</sub> суміші, що надходить, і рециркуляційної стічної води, подаваної на біофільтр, мг/л,

$$L_{mix} = K_{af} \cdot L_{ex}, \quad (7.26)$$

$$\text{Коефіцієнт рециркуляції} \quad K_{rc} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{en}}, \quad (7.27)$$

площа біофільтрів, м<sup>2</sup>,

$$F_{af} = \frac{Q(K_{rc} + 1)}{q_{af}}, \quad (7.28)$$

де L<sub>mix</sub> – БПК<sub>повн</sub> суміші вихідної і циркулюючої води, при цьому L<sub>mix</sub> – не більше 300мг/л;

L<sub>en</sub>, L<sub>ex</sub>- БПК<sub>повн</sub> відповідно вихідної і очищеної води;

Q – середньодобова витрата стічних вод, м<sup>3</sup>;

q<sub>af</sub> – навантаження стічних вод, м<sup>3</sup>, на 1м<sup>2</sup> площі аерофільтра за добу.

Об'єм фільтруючого матеріалу, м<sup>3</sup>,

$$V_{af} = H_{af} * F_{af} \quad (7.29)$$

де H<sub>af</sub> – прийнята висота завантаження фільтруючого матеріалу



Гідравлічне навантаження на  $1\text{ м}^2$  аерофільтрів приймають від 10 до 30  $\text{м}^3/\text{доб}$  і перевіряють за формулою (7.25).

Необхідна питома витрата повітря  $q_a$  складає 8 - 12  $\text{м}^3/\text{м}^2$  з урахуванням рециркуляційної витрати.

Кількість біоплівки, що виноситься з аерофільтрів, приймають 28г по сухій речовині на людину за добу, вологість - 96%.

У даний час велике поширення одержали біофільтри круглої форми в плані. Діаметр біофільтра, м,

$$D = \sqrt{\frac{4F_{af}}{\pi \cdot n_{af}}} \quad (7.30)$$

де  $n_{af}$  - число біофільтрів, повинне бути не менше двох і не більше 8 .

Біофільтри з пластмасовим завантаженням проектують для очищення стічних вод з концентрацією по БПК<sub>повн</sub> не більше 250мг/л.

Для завантаження використовують блоки з полівінілхлориду, поліетилену, поліаміду, гладких чи перфорованих пластмасових труб діаметром 50-100 мм та елементи у вигляді обрізків труб довжиною 50 - 150 і діаметром 30-75мм. Розміщують ці біофільтри в опалювальному приміщенні. Робочу висоту біофільтра приймають 3-4м. Гідравлічне навантаження визначають за табл. 7.10.

Таблиця 7.10

Ефект очищення, Е, %	Гідравлічне навантаження, $q_{pf}$ , $\text{м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{доб})$							
	$H_{pf} = 3$				$H_{pf} = 4$			
	Температура стічних вод $T_w$ , $^{\circ}\text{C}$							
	8	10	12	14	8	10	12	14
90	6,3	6,8	7,5	8,2	8,3	9,1	10	10,9
85	8,4	9,2	10	11	11,2	12,3	13,5	14,7
80	10,2	11,2	12,3	13,3	13,7	15	16,4	17,9

Необхідний об'єм завантаження біофільтрів,  $\text{м}^3$ , і їх площу,  $\text{м}^2$ , визначають за формулами

$$V_{pf} = \frac{Q}{q_{pf}} ; \quad (7.31)$$

$$F_{pf} = \frac{V_{pf}}{H_{pf}} . \quad (7.32)$$

Біофільтри проектують круглої форми у плані і визначають їх діаметр:

$$D = \sqrt{\frac{4F_{pf}}{\pi \cdot n_{pf}}} \quad (7.33)$$

Таблиця 7.11.

$q_0$ , $\text{м}^3/\text{м}^3$	$H_{af}$ , м	Значення коефіцієнта $K_{af}$ залежно від температури стічної рідини $T_w$ , °C, висоти біофільтра $H_{af}$ , м, кількості поданого повітря $q_a$ , $\text{м}^3/\text{м}^3$ , і гідравлічного навантаження $q_{af}$ , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$											
		$T_w=8$			$T_w=10$			$T_w=12$			$T_w=14$		
		$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$	$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$	$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$	$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$
	2	3,02	2,32	2,04	3,38	2,5	2,18	3,76	2,74	2,36	4,3	3,02	2,56
8	3	5,25	3,53	2,89	6,2	3,96	3,22	7,32	4,64	3,62	8,95	5,25	4,09
	4	9,05	5,37	4,14	10,4	6,25	4,73	11,2	7,54	5,56	12,1	9,05	6,54
	2	3,69	2,89	2,58	4,08	3,11	2,76	4,5	3,36	2,93	5,09	3,67	3,16
10	3	6,1	4,24	3,56	7,08	4,74	3,94	8,23	5,31	4,36	9,9	6,04	4,84
	4	10,1	6,23	4,9	12,3	7,18	5,68	15,1	8,45	6,88	16,4	10,0	7,42
	2	4,32	3,38	3,01	4,76	3,72	3,28	5,31	3,98	3,44	5,97	4,31	3,7
12	3	7,25	5,01	4,18	8,35	5,55	4,78	9,9	6,35	5,14	11,7	7,2	5,72
	4	12,0	7,35	5,83	14,8	8,5	6,2	18,4	10,4	7,69	23,1	12,0	8,83

### 7.2.3. Приклади розрахунків біофільтрів

#### Приклад 1

Вихідні дані:

Витрата стічних вод  $Q = 850 \text{ м}^3/\text{доб}$ ;

БПКповн стічних вод, що надходять  $L_{en} = 210 \text{ мг/л}$ ;

БПКповн очищених стічних вод  $L_{ex} = 20 \text{ мг/л}$ ;

Середньозимова температура стічних вод  $T_w = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

Середньорічна температура повітря  $T_b = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Розрахувати: краплинний біофільтр.

Коефіцієнт  $K_{bf}$  визначаємо за формулою (7.24)

$$K_{bf} = \frac{210}{20} = 10,5.$$

За табл. 7.9 залежно від середньозимової температури стічних вод  $T_w = 12 \text{ }^\circ\text{C}$  і висоти біофільтра  $H_{bf} = 2 \text{ м}$  знаходимо найближче більше значення  $K_{bf}$ , рівне 10,7. При цьому гідравлічне навантаження  $q_{bf} = 2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$

Площа біофільтра

$$F_{bf} = \frac{850}{2} = 425 \text{ м}^2.$$

Приймаємо типові біофільтри прямокутної форми, що складаються з чотирьох секцій розміром  $9 \times 12 \text{ м}$  і висотою  $2 \text{ м}$ . Площа однієї секції  $F_{bf} = 108 \text{ м}^2$ , об'єм  $V_{bf} = 216 \text{ м}^3$ .

## Приклад 2

### Вихідні дані:

Витрата стічних вод  $Q = 28300 \text{ м}^3/\text{доб}$ ;

БПКповн стічних вод, що надходять  $L_{\text{ен}} = 268,7 \text{ мг/л}$ ;

БПКповн очищених стічних вод  $L_{\text{ех}} = 15 \text{ мг/л}$ ;

Середньозимова температура стічних вод  $T_w = 14 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

Розрахувати: високонавантажувальний біофільтр без рециркуляції.

Коефіцієнт  $K_{\text{af}}$  визначаємо за формулою (7.24):

$$K_{\text{af}} = \frac{268,7}{15} = 17,9.$$

Оскільки отримане значення  $K_{\text{af}}$  відрізняється від значень, наведених у табл.7.10, то для очищення стічних вод без рециркуляції слід прийняти висоту біофільтра  $H_{\text{af}}$ , гідравлічне навантаження  $q_{\text{af}}$  і витрату повітря  $q_a$  для середньозимової температури стічної води  $T_w=14^\circ\text{C}$  за найближчим більшим значенням  $K_{\text{af}}$ . Приймаємо  $K_{\text{af}} = 23,1$ . Тоді  $q_a = 12 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ;  $H_{\text{af}} = 4 \text{ м}$ ;  $q_{\text{af}} = 10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$ .

Необхідна площа біофільтрів:

$$F_{\text{af}} = \frac{28300}{10} = 2830 \text{ м}^2$$

Об'єм фільтруючого завантаження:

$$V_{\text{af}} = H_{\text{af}} \cdot F_{\text{af}} = 4 \cdot 2830 = 11320 \text{ м}^3$$

Приймаємо біофільтр круглий у плані, кількість біофільтрів  $n_{\text{af}} = 4$ , діаметр визначаємо за формулою

$$D_{\text{af}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{af}}}{\pi \cdot n_{\text{af}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2830}{3,14 \cdot 4}} = 30 \text{ м}.$$

Для подачі повітря в аерофільтри у приміщенні між аерофільтрами передбачається вентиляційна камера з вентиляторами.

Витрата повітря

$$Q_{\text{air}} = q_a \cdot Q = 12 \cdot 28300 = 339600 \text{ м}^3/\text{доб}.$$

Установлюємо два робочих і один резервний вентилятори низького тиску ЕВР-5 (табл.7.12)

Таблиця 7.12 – Вентилятори

Марка вентилятора	Продуктивність, $\text{м}^3/\text{год.}$	Напір, мм	Потужність двигуна, кВт
ЕВР - 2	200-2000	15-70	0,25 - 1
ЕВР - 3	400-4000	15-60	1-1,7
ЕВР - 4	700-8500	10-100	1,7-7
ЕВР - 5	1500-10000	15-80	2,8-7
ЦЧ-70 №2, 5	300-2000	10-55	0,27 - 0,6
ЦЧ-70 №3	400-3800	10-90	0,6-1
ЦЧ-70 №4	600-4500	8-55	0,6-1

### Приклад 3

#### Вихідні дані:

Витрата стічних вод  $Q = 10500 \text{ м}^3/\text{доб}$ ;

БПК<sub>повн</sub> стічних вод, що надходять,  $L_{\text{en}} = 395 \text{ мг/л}$ ;

БПК<sub>повн</sub> очищених стічних вод  $L_{\text{ex}} = 18 \text{ мг/л}$ ;

Середньозимова температура стічних вод  $T_w = 14^\circ \text{C}$ ;

Розрахувати: аерофільтри з рециркуляцією.

Оскільки  $L_{\text{en}} = 395 \text{ мг/л}$ , що більше  $300 \text{ мг/л}$ , необхідно передбачити рециркуляцію, прийнявши  $L_{\text{mix}} = 300 \text{ мг/л}$ .

Коефіцієнт  $K_{\text{af}}$  визначаємо за формулою (7.24):

$$K_{\text{af}} = \frac{300}{18} = 16,6.$$

За табл. 7.10 для температури стічних вод  $14^\circ \text{C}$  вибираємо найближче до обчисленого значення  $K_{\text{af}}$ , що дорівнює  $16,4$  при  $q_a = 10 \text{ м}^3/\text{м}^2$ ;  $H_{\text{af}} = 4 \text{ м}$ ;  $q_{\text{af}} = 10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$ .

Коефіцієнт рециркуляції знаходимо за формулою (7.27):

$$K_{\text{rc}} = \frac{L_{\text{en}} - L_{\text{mix}}}{L_{\text{mix}} - L_{\text{ex}}} = \frac{395 - 300}{300 - 18} = 0,34.$$

Загальну площу біофільтрів визначаємо за формулою (7.28):

$$F_{\text{af}} = \frac{10500(0,34 + 1)}{10} = 1407 \text{ м}^2.$$

Приймаємо два типових біофільтри діаметром  $30 \text{ м}$ , висотою  $4 \text{ м}$

$$D_{\text{af}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1407}{3,14 \cdot 2}} = 30 \text{ м}.$$

Уточнюємо коефіцієнт рециркуляції:

$$K_{\text{rc}} = \frac{q_{\text{af}} \cdot F_{\text{af}}}{Q} - 1 = \frac{10 \cdot 1407}{10500} - 1 = 0,34.$$

Об'єм фільтруючого матеріалу:

$$V_{\text{af}} = H_{\text{af}} \cdot F_{\text{af}} = 4 \cdot 1407 = 5628 \text{ м}^3.$$

Необхідна кількість повітря:

$$Q_{\text{air}} = q_a \cdot Q(1 + K_{\text{rc}}) = 10 \cdot 10500 \cdot (1 + 0,34) = 140700 \text{ м}^3 / \text{доб}.$$

## Приклад 4

### Вихідні дані:

Витрата стічних вод  $Q = 9000 \text{ м}^3/\text{доб}$ ;

БПК<sub>повн</sub> стічних вод, що надходять,  $L_{\text{en}} = 160 \text{ мг/л}$ ;

БПК<sub>повн</sub> очищених стічних вод  $L_{\text{ex}} = 15 \text{ мг/л}$ ; Середньозимова температура стічних вод  $T_w = 14 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

Розрахувати: біофільтри з площинним завантаженням.

Вибираємо завантажувальний матеріал з плоских і гофрованих поліетиленових листів. Висоту шару завантаження приймаємо  $H_{\text{pf}} = 4 \text{ м}$ , тому що необхідний ефект очищення складає 90%.

За середньозимовою температурою стічних вод  $T_w = 14 \text{ }^\circ\text{C}$  (табл. 7.11) визначаємо припустиме гідравлічне навантаження  $q_{\text{pf}} = 10,9 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$ .

Необхідний обсяг завантаження біофільтрів:

$$V_{\text{pf}} = \frac{9000}{10,9} = 825,69 \text{ м}^3.$$

Площа біофільтрів:

$$F_{\text{pf}} = \frac{825,7}{4} = 206,4 \text{ м}^2.$$

Приймаємо два біофільтри круглої форми в плані і визначаємо їхній діаметр

$$D_{\text{pf}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 206,4}{3,14 \cdot 2}} = 11,5 \text{ м}$$

Приймаємо два біофільтри кожний діаметром 12 м, розміщені в опалювальному приміщенні.

### 7.3. Вторинні відстійники

Вторинні відстійники служать для затримки активного мулу після аеротенків, їхнє число слід приймати не менше трьох за умови, що усі відстійники є робочими. Доцільно прийняти вторинні відстійники того ж типу, що і первинні.

Вторинні відстійники після аеротенків розраховують за гідравлічним навантаженням  $q_{\text{ssa}}$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , з урахуванням концентрації активного мулу в аеротенку  $a_i$ , г/л, його індексу  $I_i$ ,  $\text{см}^3/\text{м}$ , і концентрації мулу в проясненій воді  $a_f$ , мг/л, за формулою

$$q_{ssa} = \frac{4,5 \cdot K_{ss} \cdot H_{set}^{0,8}}{(0,1 \cdot I_i \cdot a_i)^{0,5-0,01a_i}} = \frac{4,5 \cdot 0,45 \cdot 4^{0,8}}{(0,1 \cdot 95 \cdot 2,5)^{0,5-0,01 \cdot 15}} = 1,6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ год}), \quad (7.34)$$

де  $K_{ss}$  – коефіцієнт використання об'єму зони відстоювання, приймається за табл.7.13;

$H_{set}$  – глибина проточної частини відстійника, м, приймається за табл.7.13;

$I_i$  – муловий індекс,  $\text{см}^3/\text{м}$ , визначаємо за табл.7.7;

$a_t$  – слід приймати не менше 10 мг/л;

$a_i$  – не більше 15 мг/л.

Таблиця 7.13

Відстійник	Коефіцієнт використання об'єму		Глибина проточної часті відстійника $H_{set}$ , м	Ширина $B_{set}$ , м	Ухил днища мулового прямка
	$K_{ss}$	$K_{set}$			
Горизонтальний	0,45	0,5	1,5 – 4,0	(2-5)H	0,005-0,05
Радіальний	0,4	0,45	1,5 - 5,0	-	0,001-0.003
Вертикальний	0,35	0,35	2,7 - 3,8	-	500 к горизонт.

Визначаємо площу однієї секції відстійника,  $\text{м}^2$ , як горизонтального, так і вертикального

$$F = \frac{q_w}{\left( q_{ssa} \cdot n_{ssa} \right)} = \frac{4868.57}{1.6 \cdot 8} = 380.38 \text{ м}^2. \quad (7.35)$$

Одержуємо розрахунок основних розмірів вторинних відстійників за наступними формулами:

довжина горизонтального, м

$$L_{ssa} = \frac{3,6V_w \cdot H_{set}}{q_{ssa}} = \frac{3,6 \cdot 5 \cdot 4}{1,6} = 45 \text{ м}, \quad (7.36)$$

де  $V_w$  – середня розрахункова швидкість у проточної частині відстійника;

Тривалість відстоювання  $t$ , год., і швидкість протікання  $V_w$ , мм/с, у вторинних відстійниках визначають за табл.7.14, винос зважених речовин з вторинних відстійників – за табл.7.15.

За аналогії з первинними відстійниками приймають тип і розміри вторинних відстійників.

Таблиця 7.14

Вторинні відстійники	Тривалість відстоювання при максимальному притоці t, год.		Максимальна швидкість протікання V <sub>w</sub> , мм/с	
	Типи відстійників			
	Горизонтальні,радіальні та вертикальні	Горизонтальні, радіальні	Вертикальні	
Після краплинних біофільтрів	0,75	5	0,5	
Після високонавантажувальних біофільтрів	1,50	5	0,5	
Після аеротенків на не повну очистку:				
При зниженні БПК <sub>повн</sub> до 50%	0,75	7	0,7	
Після аеротенків на повну очистку	2,0	5	0,5	

Таблиця 7.15

Тривалість відстоювання, год	БПК <sub>повн</sub> очищеної води L <sub>ex</sub> , мг/л					
	15	20	25	50	75	100
0,75	21	27	33	66	86	100
1,0	18	24	29	59	78	93
1,5	15	20	25	51	70	83
2,0	12	16	21	55	63	75

Основні параметри типових вторинних вертикальних відстійників з впуском води через центральну трубу наведені у табл. 7.16, типових вторинних радіальних відстійників - у табл. 7.17.

Таблиця 7.16 - Вторинні вертикальні відстійники

Номер типового проекту	Діаметр D <sub>ssa</sub>	Будівельна висота Н,м		Пропускна здатність q <sub>w</sub> м <sup>3</sup> /г., при часі відстоювання, год	
		Циліндричної частини Н <sub>ssa</sub>	Конічної частини	1,5	1,0
902 – 2 - 23	4	2,1	1,8	-	22,1
902 - 2 - 24	6	3,0	2,8	-	49,7
902 – 2 - 167	6	3,0	3,3	49,4	-
902 – 2 - 168	9	3,0	5,1	111,5	-

Таблиця 7.17 – Вторинні радіальні відстійники

Номер типового проекту	Діаметр D <sub>ssa</sub> , м	Глибина Н, м	Глибина зони відстоювання Н <sub>ssa</sub> , м	Висота мулової камери Н <sub>м</sub> , м	Діаметр трубопроводу, мм		Об'єм зони, м <sup>3</sup>		Пропускна здатність, м <sup>3</sup> , при часу відстоювання 1,5 год.
					що підводить	що відводить	мулової	відстійника	
902 – 2 – 87/76	18	3,7	3,1	6,0	800	500	160	788	525
902 – 2 – 88 /75	24	3,7	3,1	0,6	1200	700	280	1400	933
902 – 2 – 89/75	30	3,7	3,1	0,6	1400	900	440	2190	1460
902 – 2 – 90/75	40	4,35	3,65	0,7	2000	1200	915	4580	3053

Тривалість відстоювання визначають за табл. 7.14 і перевіряють за формулою

$$t_{ssa} = \frac{n_{ssa} \cdot W_{ssa}}{q_w} = \frac{8 \cdot 753.3}{4868.57} = 1.23 \text{ год.}, \quad (7.37)$$

де  $q_w$  – розрахункова витрата, м<sup>3</sup>/г;

$W_{ssa}$  – об'єм одного відстійника, м<sup>3</sup>.

Для горизонтальних відстійників

$$W_{ssa} = K_{ss} \cdot L_{sot} \cdot B_{set} \cdot H_{ss} = 0,45 \cdot 7 \cdot 12 \cdot 3,1 = 376,65 \text{ м}^3 \quad (7.38)$$

За аналогії з первинними відстійниками приймають тип і розміри вторинних відстійників.

Об'єм мулової камери вторинних відстійників після аеротенків передбачають рівним об'єму осаду, що випадає, за період не більше двох годин.

Об'єм надлишкового активного мулу, м<sup>3</sup>/доб, визначають за формулою

$$\Omega_{ssa} = \frac{P_i \cdot Q \cdot 100}{10^6 (100 - P_n)} = \frac{173.36 \cdot 4868.57 \cdot 100}{10^6 (100 - 99.4)} = 1406.76 \text{ м}^3/\text{доб}, \quad (7.39)$$

де  $P_i$  – приріст активного мулу, г/м<sup>3</sup>, визначений за формулою (7.5);

$Q$  – витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/доб;

$P_n$  – вологість осаду, прийнята 99,2 – 99,6%.

Об'єм мулової камери:

$$W_{uk} = \frac{\Omega_{ssa} \cdot t_u}{24 \cdot n_{ssa}} = \frac{1406.76 \cdot 1.23}{24 \cdot 8} = 9.01 . \quad (7.40)$$

У вторинних горизонтальних і радіальних відстійниках видалення осілого мулу роблять за допомогою мулососів. Потім під дією гідравлічного напору (не менше 0,9м) мул направляють по трубопроводу в мулову насосну станцію.

## 8. РОЗРАХУНОК СПОРУД ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ СТИЧНИХ ВОД

### 8.1. Хлораторна

Найбільш розповсюджений метод знезаражування – хлорування. Доза хлору для стічних вод після повного біологічного очищення дорівнює 3г/м<sup>3</sup>.

Добова кількість споживаного хлору, кг/доб

$$x_{доб} = \frac{Q_{доб}^{MAX} \cdot 3}{1000}, \text{ кг / доб}, \quad (8.1)$$

$$x_{доб} = \frac{116845.63 \cdot 3}{1000} = 350.54 \text{ кг / доб}$$

Максимальна витрата хлору, кг/год.

$$X_{год} = \frac{Q_{год}^{MAX} \cdot 3}{1000}, \text{ кг / год}, \quad (8.2)$$

$$X_{год} = \frac{4868.8 \cdot 3}{1000} = 14.6 \text{ г / год}.$$

Приймаємо хлоратор ЛОНП-100(1 робочий, 1 резервний); продуктивністю по хлору 20 кг/год.



## 8.2. Змішувач

Для змішання стічних вод з реагентом застосовують змішувач типа «лоток Паршаля» для великих витрат.

Приймаємо наступний «лоток Паршаля»:

Пропускна здатність, м <sup>3</sup> /доб	A	B	C	D	E	H <sub>a</sub>	H'	H	L	Г'	I	Г''	β
32000-80000	1,73	0,9	1,3	1,68	1,7	0,61	0,59	0,63	6,6	7,4	11	13,97	1

## 8.3. Розрахунок контактних резервуарів

Згідно із СНіПу тривалість контакту стічної рідини з хлором складає 30хв.

Як контактні резервуари можна передбачати горизонтальні залізобетонні відстійники, розраховані на максимальну витрату.

Ємкість кожного відстійника:

$$W_{kp} = \frac{Q_{max.год} \cdot t_p}{n}, \text{ м}^3, \quad (8.3)$$

де n – кількість резервуарів;

t<sub>p</sub>- тривалість контакту води з хлором тільки в резервуарі, год.

За таблицями Федорова визначаємо

$$Q_{max\ cек} = 1277 \text{ л/с}; \quad V = 1,6 \text{ м/с}; \quad D = 1000.$$

Час руху води до водоймища

$$t_b = L_{тр} / V * 60, \text{ хв.} \quad (8.4)$$

де L<sub>тр</sub>- довжина труби від контактного резервуара до місця випуску СВ

$$t_b = 1200 / 1,6 * 60 = 13 \text{ хв.}$$

Хлор повинен контактувати 30хвилин в цей час входить і контакт хлора з водою в трубах, тому,

$$t_p = 30 - t_b = 30 - 13 = 17 \text{ хв.} \quad (8.5)$$

$$W_{kp} = \frac{4597,3 \cdot 17}{2 \cdot 60} = 651,2 \text{ м}^3$$

При швидкості руху стічних вод у контактних резервуарах V = 10мм/хв довжина резервуара складе

$$L = V * t_p = 10 * 17 * 60/1000 = 10,2 \text{ м.} \quad (8.6)$$

Площа поперечного перерізу

$$\omega = \frac{W_{kp}}{L} \cdot m^2 = \frac{651,2}{10,2} = 65 \text{ м}^2. \quad (8.7)$$

При глибині  $H = 2,8\text{м}$  і ширині кожної секції  $b = 6\text{м}$  приймаємо два контактних резервуари довжиною  $18\text{м}$ .

Кількість осаду, що випадає в контактному резервуарі, приймаємо  $0,5\text{л}$  на  $1\text{м}^3$  стічних вод при вологості  $98\%$ .

$$W_{oc} = \frac{Q_{доб} \cdot 0,5}{1000}, \text{ м}^3/\text{доб}. \quad (8.8)$$

## 9. ОБРОБКА ОСАДУ СТИЧНИХ ВОД

### 9.1 Джерела утворення осаду і його властивості

Осад у процесі обробки стічних вод утворюється на решітках, пісколовках, у первинних і вторинних відстійниках і контактних резервуарах.

Після пісколовок осад надходить у бункери для піску чи піскові майданчики.

У первинних відстійниках випадає, як правило,  $40 - 60\%$  осаду. Сирий осад має середню вологість при самопливному видаленні  $95\%$ , при видаленні насосами –  $93,8\%$ .

Кількість осаду визначається за ефектом освітлення води.

Після аеротенків активний мул осаджується у вторинних відстійниках. Основна маса його повертається в аеротенки, а частина (надлишковий мул) після ущільнення направляється в споруди для перемішування.

Активний мул після вторинних відстійників має вологість  $99,3 - 99,7\%$ . Якщо він ущільнюється без добавок інших видів опадів, його вологість складає після радіальних мулоущільнювачів -  $97\%$ . Дані про кількість вологості опадів зводять у табл. 9.1. Середня вологість суміші опадів  $P_{cp}$  визначається як середньозважена величина.

Таблиця 9.1.

Характер осідання	Кількість, $\text{м}^3/\text{доб}$	Вологість, %
З первинних відстійників	$\omega_{oc1} = 400$	$P_1 = 93,5$
З мулоущільнювачів	$\omega_{oc2} = 70,86$	$P_2 = 97,3$
З контактних резервуарів	$\omega_{oc3} = 58,42$	$P_3 = 98,0$
РАЗОМ:	$\omega_{oc} = 529,72$	

Кількість осаду, що випав у контактних резервуарах, визначають з умови утворення осаду  $0,5\text{л}$  на  $1\text{м}^3$  стічної води:

$$P_{cm} = \frac{P_1 \cdot \omega_{OC1} + P_2 \cdot \omega_{OC2} + P_3 \cdot \omega_{OC3}}{\omega_{OC}}, \text{ м}^3 / \text{доб}. \quad (9.1)$$

$$P_{cm} = \frac{93,5 \cdot 400 + 70,86 \cdot 97,3 + 58,42 \cdot 98}{529,72} = 85,19\%, \text{ м}^3 / \text{доб}.$$

## 9.2 Розрахунок мулоущільнювачів

Приймаємо гравітаційний радіальний мулоущільнювач. Радіальні мулоущільнювачі повинні бути обладнані скребковими пристроями чи насосами.

Розрахунок мулоущільнювачів ведуть на максимальний годинний приплив надлишкового активного мулу в м<sup>3</sup>/год:

$$q_{MAX} = \frac{P_{MAX} \cdot Q}{24 \cdot C}, \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (9.2)$$

де Q – розрахункова витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/доб;

C – концентрація надлишкового активного мулу, що ущільнюється, г/м<sup>3</sup>;

$P_{max} = K_m \cdot P$  (тут P – приріст мулу), приймають залежно від ступеня очищення стічних вод;

$K_m$  – коефіцієнт місячної нерівномірності приросту мулу, рівний 1,15-1,2.

$$q_{MAX} = \frac{208 \cdot 116845,63}{24 \cdot 4000} = 253,17 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Висота проточної частини мулоущільнювач:

$$h = 3,6 \cdot V \cdot t = 0,07 \cdot 3,6 \cdot 10 = 2,52 \text{ м}, \quad (9.3)$$

де V – швидкість руху рідини, мм/год;

t – тривалість ущільнення.

Згідно із СНіП 2.04.03 – 85 при C = 40 г/л приймаємо розрахункове навантаження на площу дзеркала ущільнювача  $q_c \approx 70,3 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{год}$ .

Корисна площа поперечного перерізу радіальних мулоущільнювачів:

$$F_{пол} = \frac{q_{max}}{q_c}, \text{ м}^2 \quad F_{пол} = \frac{1217,2}{26,4} = 46,1 \text{ м}^2. \quad (9.4)$$

Діаметр радіального мулоущільнювача визначають за формулою

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot n}} = 23,18 \text{ м}. \quad (9.5)$$

Приймаємо для установки два типових радіальних мулоущільнювачі діаметром  $D = 18\text{м}$  (один робочий і один резервний). Необхідна висота робочої зони мулоущільнювача при тривалості ущільнення 9 год. складе

$$H = 0,3 \cdot 9 = 2,7\text{м}. \quad (9.6)$$

Загальна висота мулоущільнювача з мулоскребками  $H_{\text{заг}} = 2,7 + 0,3 + 0,1 = 3,1\text{м}$

### 9.3 Розрахунок метантенків

Для анаеробного зброджування осаду в метантенках можна прийняти термофільний чи мезофільний режим. Якщо зброджений осад зневоднюється на вакуум - фільтрах, приймають мезофільний режим, тому що осад після термофільного зброджування має великий питомий опір і погано фільтрується.

Приймаємо мезофільний режим сбраживання.

Об'єм метантенків,  $\text{м}^3$ ,

$$W_M = \frac{\omega_{\text{ос}} \cdot 100}{D_{\text{mt}}}, \text{м}^3, \quad (9.7)$$

де  $\omega_{\text{ос}}$  – добовий обсяг осаду,  $\text{м}^3$ ;

$D_{\text{mt}}$  – доза завантаження 8%.

$$W_M = \frac{85.19 \cdot 100}{9} = 946.6 \text{ м}^3.$$

Приймаємо чотири метантенки (номер типового проекту 902-2-228) з діаметром 15м з корисним об'ємом одного резервуара  $1600\text{м}^3$ . Висота верхнього конуса 2,35м, циліндричної частини – 7,5м, нижнього конуса – 2,6м.

Розпад беззольної речовини осаду, що завантажується, ( $R_r$ , %) із згідно СНіП 2.04.03 - 85 визначаємо за формулою

$$R_r = R_{\text{lim}} - K_r \cdot D_{\text{mt}}, \quad (9.8)$$

де  $R_{\text{lim}}$  – максимально можливе бродіння беззольної речовини осаду, що завантажується, %;

$K_r$  – коефіцієнт, що залежить від вологості осаду, визначається за таблицями СНіП.

Величину  $R_{\text{lim}}$  у даному випадку розраховують, як середньозважену для всіх видів осаду за беззольною речовиною. Кількість беззольної речовини для подібних осадів за даними хімічних аналізів складає 73% після первинних відстійників і 70% в активному мулі й осаду з контактних басейнів.

Середня величина можливої межі бродіння, %

$$R_{\text{lim cp}} = \frac{\omega_{\text{oc}} \frac{100-93,5}{100} \cdot 0,73 \cdot R_{\text{lim1}} + \left( \omega_{\text{oc2}} \frac{100-97,3}{100} + \omega_{\text{oc3}} \frac{100-98}{100} \right) \cdot 0,7 \cdot R_{\text{lim2,3}}}{\omega_{\text{oc1}} \frac{100-93,5}{100} \cdot 0,73 + \left( \omega_{\text{oc2}} \frac{100-97,3}{100} + \omega_{\text{oc3}} \frac{100-98}{100} \right) \cdot 0,7} \quad (9.9)$$

При відсутності даних про хімічний склад осаду величину  $R_{\text{lim}}$  допускається приймати: для осадів з первинних відстійників – 53%; для надлишкового активного мулу – 44%; для суміші осаду з активним мулом – за середньоарифметичним співвідношенням.

$$R_{\text{lim cp}} = \frac{400 \cdot 0,065 \cdot 0,73 \cdot 53 + (70,86 \cdot 0,027 + 58,42 \cdot 0,02) \cdot 0,7 \cdot 22}{400 \cdot 0,065 \cdot 0,73 + (70,86 \cdot 0,027 + 58,42 \cdot 0,02) \cdot 0,7} = 49,83\%$$

$$R_r = R_{\text{lim cp}} - K_r \cdot D_{\text{mt}} = 49,83 - 0,77 \cdot 9 = 42,9\%$$

Кількість газу, одержувану при бродінні осаду, приймають рівною  $1\text{ м}^3$  на  $1\text{ м}^3$  розшарування беззольної речовини осаду, що завантажується.

Добова кількість одержуваного газу

$$G_{\text{газ}} = \left( \omega_{\text{oc1}} \frac{100-93,5}{100} \cdot 0,73 + \omega_{\text{oc2}} \frac{100-97,3}{100} \cdot 0,7 + \omega_{\text{oc}} \frac{100-98}{100} \cdot 0,7 \right) \frac{R_r}{100} = \quad (9.10)$$

$$\left( 400 \frac{100-93,5}{100} \cdot 0,73 + 70,86 \frac{100-97,3}{100} \cdot 0,7 + 58,42 \frac{100-98}{100} \cdot 0,7 \right) \frac{42,9}{100} = 9,32$$

де  $G_{\text{газ}} = 9,32\text{ м}^3$  на  $1\text{ м}^3$  осаду, що завантажується. Для всього об'єму осаду обсяг газу  $9,32 \cdot 529,72 = 4937\text{ м}^3/\text{доб}$ .

Для вирівнювання тиску газу в газовій мережі передбачають мокрі газгольдини, місткість яких  $V_r$  розраховується на 2 – 4 год.

Вихід газу

$$V_r = \frac{4937 \cdot 3}{24} = 617,13\text{ м}^3. \quad (9.11)$$

Приймаємо один газгольдер (номер типового проекту 7 – 07 – 03/66) з обсягом кожного  $1000\text{ м}^3$  з внутрішнім діаметром резервуару 11480 мм і внутрішнім діаметром – 10680 мм; висотою газгольдера - 15400 мм, висотою резервуару - 7390 мм, висотою дзвону - 7610 мм.

Кількість тепла  $S_0$ , ккал/доб, необхідного для підтримки оптимальної температури маси, що бродить (при мезофільному процесі  $+33^\circ\text{C}$ ), визначають орієнтовним розрахунком

$$S_0 = S(t_{\text{бм}} - t_0) \cdot \omega_{\text{oc}} \frac{1 + \Delta}{\eta}, \text{ ккал / доб}, \quad (9.12)$$

де  $S$  – питома кількість тепла, необхідна для підігріву осаду, дорівнює  $1350\text{ ккал} (\text{м}^3 \cdot \text{рад})$ ;

$t_{\text{бм}}$  – температура маси, що бродить;

$t_0$  – мінімальна температура осаду в зимовий період, дорівнює температурі стічних вод у той же період;

$\Delta$  – витрати тепла при його передачі, що складають 0,1%

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії котельні, приймають рівним 0,65

$$S_0 = 1350(33 - 10) \cdot 529,72 \frac{1 + 0,1}{0,65} = 27834749\text{ ккал / доб}.$$

Кількість тепла, що виділяється при стисканні газу теплотворною здатністю 5000 ккал/м<sup>3</sup>, складе

$$S_2 = G_{\text{газ}} \cdot 1000 \cdot 5000 \quad (9.13)$$

$$S_2 = 1078 \cdot 1000 \cdot 5000 = 5390000000 \text{ ккал / доб.}$$

#### 9.4 Розрахунок вакуум – фільтрів, допоміжного обладнання і аварійних мулових майданчиків

Площа мулових майданчиків м<sup>2</sup>, при навантаженні h м кліматичному коефіцієнті K, обумовлена по СНіПу 2.04.03 - 85;

$$F_{\text{нетто}} = \frac{\omega_{\text{ос}} \cdot 365}{h \cdot K}, \text{ м}^2, \quad F_{\text{нетто}} = \frac{85.19 \cdot 365}{1.5 \cdot 1.1} = 18845.1 \text{ м}^2 \quad (9.14)$$

З урахуванням додаткових 20% площі на влаштування доріг і валиків

$$F_{\text{брутто}} = F_{\text{нетто}} \cdot 1.2 = 18845.1 \cdot 1.2 = 22614.12 \text{ м}^2. \quad (9.15)$$

На мулові майданчики подаємо лише 25% осаду за рік.

$$F_{\text{мул}} = 0.25 \times F_{\text{брутто}} = 0.25 \times 22614.12 = 5653.5 \text{ м}^2$$

Якщо прийняти розмір карти 100 x 20м, кількість карт буде

$$n = \frac{F_{\text{мул}}}{100 \cdot 20} = \frac{5653.5}{100 \cdot 20} = 2.8 \text{ шт.} \quad (9.17)$$

Приймаємо 3 карти. Висота розділених валиків – 1,5; ширина по верху – 0,7м; укоси 1:1. Посередині кожної площі влаштовують дорогу шириною 3,5м.

Дренаж з азбестоцементних труб діаметром 125 мм укладають уздовж дороги з ухилом 0,003. У бічних розділових валиках майданчиків улаштовані пропускні пристрої для відведення мулової води, що виділяється при ущільненні осаду. Кожен валик має два пропускних пристрої на рівних відстанях від початку і кінця майданчика.

На схемі зневоднювання осаду на вакуум - фільтрах збродіння осад промивають очищеною водою й ущільнюють в мулоущільнювачах.

Перед вакуум - фільтрацією осад коагулюють хлорним залізом з добавкою вапна.

Зневоднений осад піддають термічному сушінню.

Розглянемо більш докладно розрахунок споруд, необхідних для зневоднювання осаду на вакуум – фільтрах.

Кількість промивної води приймаємо м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, для збродженої в мезофільних умовах суміші сирого осаду і надлишкового АМ – 2 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Насоси для подачі очищеної води розташовують у будинку насосно-повітряної станції. Перемішують осад із промивною водою в змішувачі з продувкою суміші. Об'єм змішувача визначають залежно від витрати осаду, що вивантажується з метантенка.

$$Q_{\text{сyx}} = \frac{CEK}{1000 \cdot 100} \cdot Q = \frac{233.5 \cdot 0.35 \cdot 1.15}{1000000} = 10.98$$

$$H_{\text{сyx}} = \frac{0.8C(1-\vartheta) + aLa - b}{1000000} = \frac{0.8 \cdot 233.5(1-0.35) + 177.85 - 12}{1000000} = 21.1$$

$$H_{\text{без}} = \frac{H_{\text{сyx}}(100 - B'_m)(100 - \beta_{\text{ул}})}{100 \cdot 100} = 15.03$$

$$Q_{\text{без}} = \frac{Q_{\text{сyx}}(100 - B_2)(100 - \beta_{\text{ос}})}{100 \cdot 100} = 7.3$$

$$V_{\text{ос}} = \frac{100 Q_{\text{сyx}}}{(100 - \omega_{\text{ос}}) \rho_{\text{ос}}} = 183$$

$$V_{\text{ос}} = \frac{100 H_{\text{сyx}}}{(100 - 97) \rho_{\text{ос}}} = 703.33$$

$$M_{\text{без}} = Q_{\text{сyx}} + H_{\text{ул}} = 10.98 + 21.1 = 31.08$$

$$M_{\text{без}} = Q_{\text{без}} + H_{\text{без}} = 15.03 + 7.3 = 22.33$$

$$M_{\text{общ}} = V_{\text{ос}} + V_{\text{ул}} = 183 + 703.33 = 886.33$$

Осад подається в метантенк насосами. При безупинній подачі осаду витрата його  $q_{\text{ос}}$ , л/с, складе

$$q_{\text{ос}} = \frac{145.95 \cdot 1000}{24 \cdot 1000} = 6.08 \text{ л.} \quad (9.17)$$

Объем змішувача при тривалості перемішування 15 хв. і кількості промивної води на  $1 \text{ м}^3$  осаду  $q_{\text{пр}}$

$$W_{\text{с}} = \frac{q_{\text{ос}}(1 + q_{\text{пр}}) \cdot 15 \cdot 60}{1000}, \text{ м}^3, \quad (9.18)$$

$$W_{\text{с}} = \frac{6.08(1+2) \cdot 15 \cdot 60}{1000} = 16.42, \text{ м}^3.$$

Влаштуємо 2 змішувачі з довжиною  $L = 3.13 \text{ м}$ , шириною  $B = 0.2 \text{ м}$ , пропускною здатністю  $17 \text{ л/с}$ .

Витрату повітря на перемішування визначають з розрахунку  $0.5 \text{ м}^3/\text{м}^3$  осаду, що промивається, і води

$$0.5 \cdot (2 \cdot 145.95 + 145.95) = 218.93 \text{ м}^3 / \text{доб.}$$

Повітря розподіляють за допомогою системи дірчастих труб, або установки вертикальних стояків  $d = 25\text{мм}$ , кількість їх залежить від загальної витрати повітря. Труби заглиблені під рівень води і не доходять до дна на  $0,2\text{м}$ . Повітря подають від повітродувної станції аеротенків. Ущільнювачі розраховують на 12 – 18 год перебування суміші

$$W_y = \frac{\omega_{oc}(1+q_{np}) \cdot 12}{24}, \text{м}^3, \quad (9.19)$$

$$W_y = \frac{145.95(1+2) \cdot 12}{24} = 218.95 \text{ м}^3.$$

Як ущільнювачі приймаємо два первинних радіальних відстійники (номер типового проекту 902-2-83/76) з  $d = 18\text{м}$ , глибина  $3,4\text{м}$ .

Вагу осаду після збродіння обчислюємо за формулою

$$G_C = G_{исх} \cdot \left[ 1 - \frac{R_r(1 - S_{oc})}{100} \right], \text{Т}, \quad (9.20)$$

де  $G_{исх}$  - вага осаду до збродіння, Т;

$R_r$  - розпад беззольної речовини, %;

$S_{oc}$  - зольність осаду до збродіння у частках одиниці.

Величину  $S_{oc}$  знаходимо як середньозважену зольність, що складає суміш осадів, тобто осадів первинних відстійників для ущільненого АМ й осаду контактних резервуарів - 30%:

$$S_{oc} = \frac{27 \cdot \omega_{oc1} \frac{100-93,5}{100} + 30 \cdot \omega_{oc2} \frac{100-97,3}{100} + 30 \cdot \omega_{oc3} \frac{100-98}{100}}{\omega_{oc1} \frac{100-93,5}{100} + \omega_{oc2} \frac{100-97,3}{100} + \omega_{oc3} \frac{100-98}{100}} = 28.84\% = 0,29, \quad (9.21)$$

$$G_{исх} = \frac{(40+20)}{100} \cdot 116845.63 = 70.1 \text{ т},$$

$$G_C = 9,24 \cdot \left[ 1 - \frac{42.9 \cdot (1-0,29)}{100} \right] = 6,1 \text{ т}.$$

Об'єм ущільненого осаду за добу,  $\text{м}^3/\text{с}$

$$W_y = \frac{G_C \cdot 100}{(100-95) \cdot 1,02} \text{ м}^3/\text{с}, \quad F_{нетто} = \frac{85.19 \cdot 365}{1,5 \cdot 1,1} = 18845.1 \text{ м}^2, \quad (9.22)$$

Кількість зливної води з ущільнювачів

$$W_B = \omega_{oc}(1+q_{np}) - W_y, \text{ м}^3/\text{доб} . \quad (9.23)$$

$$W_B = 529.72 \cdot (1+2) - 119.61 = 1469.55 \text{ м}^3/\text{доб}$$



Винесення зважених речовин зі зливальною водою при концентрації 1г/л, кг/доб.

Ці зважені речовини створять додаткові забруднення, мг/л

$$C_{BB} = \frac{G_{BB} \cdot 1000}{q_w}, G_B = 1469.55 \text{ кг / доб}, \quad (9.24)$$

$$C_B = \frac{1469.55 \cdot 1000}{116845.63} = 12.58 \text{ мг / л}.$$

Аналогічно визначають додаткові забруднення за БПК<sub>повн</sub>, мг/л

$$L_{\text{дод}} = \frac{G_{BB} \cdot 600}{q_w}, \text{ мг / л}, \quad (9.25)$$

$$L_{\text{доп}} = \frac{1469.55 \cdot 600}{116845.63} = 7.55 \text{ мг / л}.$$

Оскільки вага осаду зменшується за рахунок винесення з промивною водою, уточнена вага дорівнюватиме

$$G_y = G_C - G_{BB}, \text{ Т}, \quad G_y = 6.1 - 1.47 = 4.63 \quad (9.26)$$

Відповідно зменшується його об'єм, м<sup>3</sup>/доб:

$$W_y'' = \frac{G_y \cdot 100}{(100 - 95) \cdot 1.02}, \text{ м}^3 / \text{доб}, \quad (9.27)$$

$$W_y'' = \frac{4.63 \cdot 100}{(100 - 95) \cdot 1.02} = 90.78 \text{ м}^3 / \text{доб} = 3.78 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Ущільнений осад з мулової частини відкачують плунжерними насосами. Приймаємо два насоси (1 робочий, 1 резервний) типу НП-28 з найбільшою подачею 28м<sup>3</sup>/год і максимальним напором 30м.

Вакуум-фільтри доцільно експлуатувати в дві зміни, при цьому витрата осаду, що перекачується, м<sup>3</sup>/год, складає

$$W_y'' \cdot 16 = 90.78 \cdot 16 = 5,67 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Кількість реагентів варто визначити в розрахунку за FeCl<sub>3</sub> і CaO, при цьому їхню дозу при вакуум - фільтруванні слід приймати в % до маси сухої речовини осаду: для суміші осаду первинних відстійників і ущільненого АМ:

$$\text{FeCl}_3 - 3\%, \text{CaO} - 9\%. \quad G_{\text{FeCl}} = \frac{9,24 \cdot 3}{100} = 0,28 \text{ Т};$$

$$G_{\text{изв}} = \frac{9,24 \cdot 9}{100} = 0,83 \text{ Т}.$$

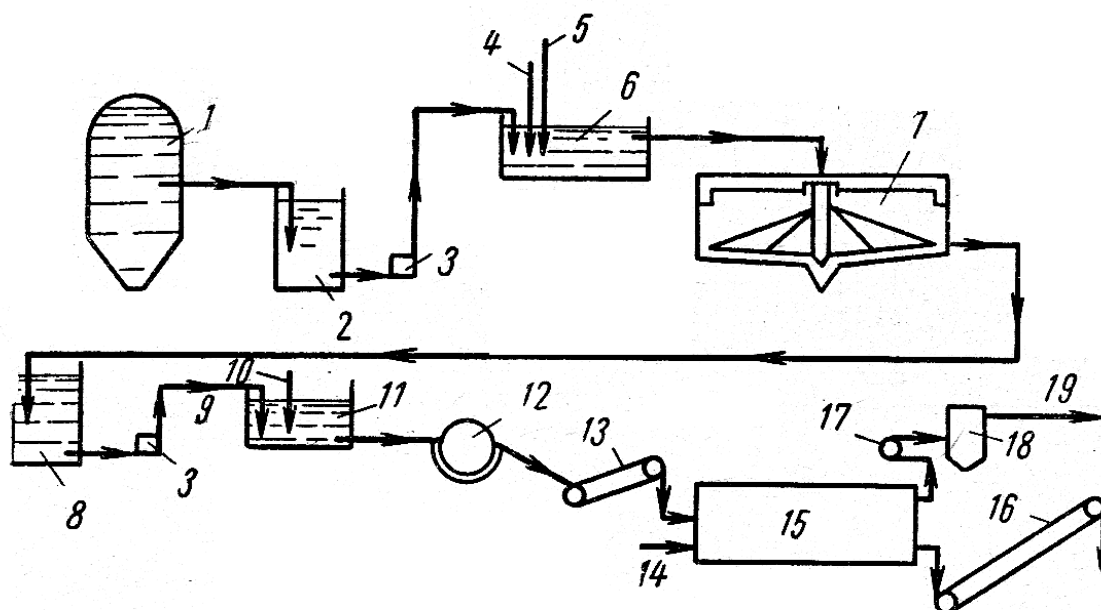


Рис. 18.14. Схема механического обезвоживания осадка

1 — метантенк; 2 — мерный резервуар; 3 — плунжерный насос; 4 — сточные воды после первичных отстойников; 5 — сжатый воздух; 6 — промывка осадка; 7 — уплотнитель осадка; 8 — резервуар уплотненного осадка; 9 — уплотненный осадок на коагуляцию; 10 — коагулянт; 11 — отделение коагуляции; 12 — вакуум-фильтр; 13 — транспортер; 14 — топочные газы; 15 — сушильный барабан; 16 — ковшовый элеватор; 17 — вентилятор; 18 — циклон; 19 — к скрубберу

Резервуари, комунікації, арматуру, насоси і дозатори для розчину  $\text{FeCl}_3$  виконують з кислотостійких матеріалів з відповідною ізоляцією.

Згідно з табл. 62 СНПа 2.04.03 - 85 для суміші збродіння осаду з первинних відстійників і АМ продуктивність вакуум - фільтрів може бути прийнята 25кг сухої речовини осаду на 1 м<sup>3</sup> поверхні фільтру за годину.

При двомісячній роботі площа фільтрів

$$F_{\phi} = \frac{G_y \cdot 1000}{2 \cdot 8 \cdot 25} \text{ м}^2, \quad (9.28)$$

$$F_{\phi} = \frac{5,36 \cdot 1000}{2 \cdot 8 \cdot 25} = 13,4 \text{ м}^2.$$

Влаштуємо два робочих вакуум-фільтри й один резервний.

Марка фільтра БОУ -10-2,6;

Діаметр барабана 2612мм;

Довжина барабана 1350мм;

Габаритні розміри, 3420х3320х3415мм.

Вакуум-фільтр підбирають з умови відкачки повітря в кількості 0,5 м<sup>3</sup>/ (м<sup>2</sup>.хв) при вакуумі 300-500мм рт.ст.(40-65кПа).

Приймаємо два робочих і один резервний вакуум-насоси марки ВВН-1,5 при продуктивності за всмоктуванням об'ємом 1,5м<sup>3</sup>/хв, повітродувки – за не-

обхідною подачею стиснутого повітря  $0,2\text{м}^3/\text{хв}$  на  $1\text{м}^2$  поверхні фільтруючої тканини при тиску  $0,6\text{мПа}$ .

Приймаємо дві робочі і одну резервну повітродувку типа ВК-1,5 з об'ємом  $1,5\text{м}^3/\text{хв}$ , розміри (LxBxH)  $1250\times 1320\times 1020\text{мм}$ .

Кек, що знімається з вакуум-фільтрів, має вологість 80%. Вміст сухої речовини  $G_{\text{ск}}$  разом з добовою потребою  $\text{FeCl}_3$  і вапна  $G_{\text{изв}}$  складе, Т;

$$G_{\text{ск}} = G_y + G_{\text{FeCl}} + G_{\text{изв}} \quad \text{Т}, \quad (9.29)$$

$$G_{\text{ск}} = 5,36 + 0,28 + 0,83 = 6,47\text{Т}$$

$$\text{Вага кека, Т; } G_k = \frac{G_{\text{ск}} \cdot 100}{100 - 80}, \text{Т.}, \quad (9.30)$$

$$G_k = \frac{6,47 \cdot 100}{100 - 80} = 32,35\text{Т}.$$

## 9.5. Розрахунок сушарок кека і площадок для його складування

Перед складуванням кек обробляють в барабанних сушарках. Вологість висушеного осаду дорівнює 20% з урахуванням необхідності розфасовки в паперові мішки для транспортування до місця використання як сільськогосподарського добрива.

Вага сухого осаду

$$P_{\text{со}} = G_{\text{ск}} \cdot \frac{100}{100 - 20}, \text{Т}, \quad (9.31)$$

$$P_{\text{со}} = 7,65 \cdot \frac{100}{100 - 20} = 9,56\text{Т}$$

Вага вологи, що підлягає випаровування в сушарках

$$G_{\text{вол}} = G_k - P_{\text{со}} = 32,35 - 9,56 = 22,79 \text{ Т/доб}, \quad (9.32)$$

Розрахункове навантаження на  $1\text{м}^3$  сушильного барабана приймають рівним  $60 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{г})$  при використанні газів з температурою  $800^\circ\text{C}$  при вході в барабан і  $200^\circ\text{C}$  на виході з нього. Відділення сушіння працює 16 год. на добу.

Споживаний об'єм барабана,  $\text{м}^3$ ,

$$W_c = \frac{G_{\text{вол}}}{16 \cdot 60} = \frac{22,79}{960} = 0,024 \text{ Т}, \quad (9.33)$$

Приймаємо дві робочі і одну резервну сушілку з об'ємом сушіння по волозі, що випаровується,  $600\text{-}1200 \text{ кг}/(\text{м}^3/\text{год})$ .

Як резерв до відділення сушіння передбачають майданчики для збереження кека після вакуум – фільтра протягом 4-5 місяців. Висота шарів кека на майданчику приймається рівної 1,5м. Отриману поверхню майданчиків збільшують на 30% для влаштування валиків.

Поверхня майданчиків, м<sup>2</sup>

$$F = \frac{G_k \cdot 30 \cdot 4 \cdot 1,5}{1,5} \text{ м}^2. \quad (9.34)$$

$$F = \frac{17,3 \cdot 30 \cdot 4 \cdot 1,5}{1,5} = 2076 \text{ м}^2$$

Приймаємо розміри 20х10 у кількості 10

Влаштування майданчиків для складування кека аналогічне їх влаштуванню для мулів майданчиків.

## **10. КОМПОНУВАННЯ ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНУ ОЧИСНОЇ СТАНЦІЇ І СКЛАДАННЯ ПРОФІЛІВ ЗА РУХОМ ВОДИ І МУЛУ**

Виконавши технічні й гідравлічні розрахунки всіх очисних споруд, визначивши кількість окремих споруд чи секцій і виявивши розміри цих споруд, перерізів лотків і трубопроводів, що з'єднують споруди між собою, переходять до компонування генерального плану очисної станції і паралельно з цим складають профіль за напрямком руху води й осадів.

При проектуванні площі очисних споруд стічних вод слід пам'ятати, що її розташовують, як правило, з підвітреної сторони для панівних вітрів теплого періоду року стосовно житлової забудови і нижче населеного пункту за течією водостоку.

Генеральний план очисної станції складають у масштабі 1:500.

На генеральному плані очисних споруд указують розташування основних і допоміжних споруд, будинків, доріг, комунікацій різного призначення, озеленення території.

Генеральний план станції і висотна схема розташування очисних споруд (профілю по воді й осадів) повинні бути складені так, щоб забезпечувався самотпливний рух води від однієї споруди до іншої. Рух осадів важ, по можливості, має бути самотпливним.

За допомогою місцевих насосних станцій може здійснюватися подача циркулюючого активного мулу в аеротенки з вторинних відстійників, надлишкового активного мулу в мулоущільнювачі, осаду з первинних відстійників, ущільненого надлишкового мулу, осадів із вторинних відстійників, біофільтрів у метантенки.

З мулоущільнювачів ущільнений надлишковий активний мул самотпливом направляється в приймальний резервуар насосної станції метантенків.

Розриви між окремими спорудами, **м**, при розташуванні їх на місцевості з відносно спокійним ухилом можуть бути прийняті наступними:

між групами однойменних споруд	2-3;
групами різнойменних споруд	5-10;
групами попередньої механічної очистки і біофільтрами (враховується насип 1:1)	15 - 20;
між спорудами і муловими майданчиками (с урахуванням їх деревами, пристроями для відведення поверхневих вод, під'їзними коліями, що підводять мул комунікаціями і т.п.)	25 - 30;
між спорудами (залежно від їхнього обсягу)	20 - 50.

При компонуванні генерального плану очисної станції керуються наступними рекомендаціями:

1. Споруди (основні й допоміжні) повинні бути розташовані якомога компактно. Доцільне блокування споруд і будинків різного призначення. Адміністративні приміщення, лабораторію необхідно зосередити в одному будинку; насосну станцію циркулюючого активного мулу варто об'єднати з будинком повітродувної станції і т.д.

2. До кожної споруди повинен бути забезпечений під'їзд транспорту (хоча б з однієї сторони) для доставки матеріалів при ремонті.

3. На генеральному плані станції варто вказати насипи і виїмки.

4. Споруди необхідно розташовувати симетрично, що полегшує рівномірний розподіл стічних вод між окремими спорудженнями.

5. При компонуванні генерального плану рекомендується раціонально використовувати територію з урахуванням перспективного розширення споруд і можливість будівництва за чергами.

6. Котельню слід розташовувати в центрі теплоспоживачів, але не ближче 25м від метантенків.

7. Відстань від метантенків до основних споруд станцій, внутрішньо-майданчикових автомобільних доріг і залізничних колій повинне бути не менше 20 м, до високовольтних ліній - не менше 1,5 висоти опори.

8. Газгольдері повинні розташовуватися на відстані (при ємності газгольдерів менше 1000м<sup>3</sup>), м:

- від внутрішньомайданчикових доріг - 15, виробничих і підсобних будинків - 20, складів палива - 35, житлових і громадських будинків - 65.

Розрив між сусідніми газгольдерами приймається рівним напівсумі їхніх діаметрів.

9. Витратний склад хлору повинен бути розташований з урахуванням мінімальних розривів між ним і найближчими будівлями, м:

- від житлових і громадських будинків, лабораторій станції - 300,
- адміністративних і побутових будинків - 100,
- виробничих будинків, у яких постійно знаходиться обслуговуючий персонал - 50.

10. Очисні споруди слід розташовувати по природному схилу місцевості, але так, щоб обсяг планувальних робіт був мінімальним.

Розставивши очисні споруди на плані місцевості й зробивши вимір між ними по зовнішніх комунікаціях, складають профіль за рухом води по найбільш несприятливому (довгому) напрямку руху води з погляду лінійних і місцевих опорів. Для побудови профілю за рухом води шлях її по комунікаціях і спорудах на генеральному плані розбивають на розрахункові ділянки, які позначають цифрами. За ділянку приймають відрізок лотка чи труби або цілу споруду, де не відбувається зміна витрати.

Отримані в такий спосіб довжини ділянок відкладають на кресленнях у горизонтальному масштабі, який слід прийняти однаковим з масштабом генерального плану очисної станції. У вертикальному напрямку в масштабі 1:100 повинні бути відкладені від умовного обрію відмітки землі на початку і кінці кожної ділянки. По отриманих точках будують профіль поверхні землі, а на ньому - профіль руху води (висотна схема) від обрію високих вод у водоймі до приймального колодязя на початку очисної станції.

Для самопливного руху стічної води по всіх спорудах станції необхідно, щоб оцінка поверхні води в каналі, що підводить, перевищувала оцінку води у водоймі при високому обрії на величину, достатню для компенсації усіх витрат напору по шляху руху води по спорудах з урахуванням запасу 1 - 1,5м, необхідного для забезпечення вільного витікання води з оголовка випуску у водойму.

Профіль за рухом води будують на основі лінійних і місцевих опорів у комунікаціях станції. Для попередніх розрахунків різницю відміток рівня води перед спорудою і після неї приймають за табл. 10.1.

Загальна величина втрат напору на очисній станції залежить також від компактності розташування споруд, тобто від величини розриву між ними, і, отже, довжини лотків, що підводять; орієнтовно можна прийняти її при механічному очищенні 6м, при біохімічних способах очищення - 8 (при аеротенках) і 12м (при біофільтрах).

Таблиця 10.1

Споруди	Витрати напору, см
Решітки	10-25
Піскоуловлювачі, жируловлювачі	10-25
Відстійники:	
двоярусні	10-25
горизонтальні	10-25
радіальні	40-60
вертикальні	50-70
Біофільтри зі спринклерною подачею води	H+50
Біофільтри з обертовими зрошувачами	H+50
Аеротенки	50-80
Аероакселератори	50-70
Аеротенки - відстійники	50 - 80
Барабанні сітки	20-30
Фільтри піщані	H+200
Контактні резервуари	10-30

Умовні позначення: H - висота завантаження.

Профіль за рухом стічних вод і мулу будують за такою формою

Існуючі відмітки поверхні землі (15мм)	Приймається за генеральним планом Очисних споруд
Проектовані відмітки поверхні землі (15мм)	
Відмітки поверхні води (15мм)	Розраховують з урахуванням витрат
Відмітки дна каналу, споруди (15мм)	Приймають за розрахунковими даними лотків і споруд
Номери точок (10мм)	Приймають за генеральним планом
Відстані (10мм)	Залежно від розміщення споруд у плані і беруть за точками, наміченими на плані
Ухил (10мм)	Приймають за нормами з ухилу припустимих швидкостей у каналі й трубах
Розміри каналів чи труб (15мм)	З розрахунку

**Примітки:**

1. Мінімальну розрахункову швидкість руху біохімічно очищених стічних вод у лотках і трубах допускається приймати 0,6 м/с.

2. Розрахункове наповнення трубопроводів і каналів з поперечним перерізом будь-якої форми варто приймати не більше 0,7 висоти.

3. Найменші ухили трубопроводів і каналів слід приймати залежно від припустимих мінімальних швидкостей руху стічних вод.

При складанні висотної схеми (профілю) треба враховувати, що споруди повинні зводитися на щільному ґрунті. Для цього передбачається влаштування стовпчастих фундаментів, що передають навантаження від ваги споруд на щільний ґрунт.

При складанні генерального плану очисних споруджень з аеротенками треба враховувати, що аеротенки - споруди великі за площею і влаштовувати їх на стовпчастих фундаментах чи у глибокій виїмці недоцільно. У даному виразі побудову профілю рекомендується почати з установки аеротенків.

Побудувавши профіль за рухом стічної води, переходять до побудови профілю за рухом осаду:

1) від первинних відстійників до приймального резервуара насосної станції метантенків для осаду можна проектувати як самотісний, так і напірний трубопровід;

2) активний мул із вторинних відстійників через мулоушільнювачі також надходить у приймальний резервуар насосної станції метантенків, а після зброжування осад через насосну подається на муловий майданчик чи ж у цех механічного зневоднювання осаду.

Метантенк, а також мулоушільнювачі надлишкового активного мулу встановлюють на недоторканому ґрунті.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1986.
2. Федоров Н.Ф., Волков Л.Е. Гидравлический расчет канализационных сетей. – Л.: Стройиздат, 1988.
3. Лукиных Н.Н., Лукиных Н.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле академика Павловского. – М.: Стройиздат, 1965.
4. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф., Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1984.
5. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. – М.: Стройиздат, 1981.
6. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. – Рівне: ВАТ< Рівненська друкарня >, 2002.
7. Запольский А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води. – К.: Вища школа, 2005.



## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
<b>ЗМ. 2.1. Обґрунтування метода очистки стічних вод. ....</b>	<b>4</b>
1. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИТРАТ СТІЧНИХ ВОД. ....	4
2. СКЛАД СТІЧНИХ ВОД ДО І ПІСЛЯ ОЧИСНИХ СПОРУД. ....	5
2.1. Визначення усереднених концентрацій забруднень змішаного стоку. ....	5
2.2. Припустимі концентрації основних забруднюючих речовин у суміші побутових і виробничих стічних вод. ....	6
3. ВИЗНАЧЕННЯ ПРИВЕДЕННОГО ЧИСЛА ЖИТЕЛІВ. ....	7
4. ВИЗНАЧЕННЯ ПРИПУСТИМОЇ ЯКОСТІ СТІЧНИХ ВОД, СКИНУТИХ У ВОДОЙМУ. ....	7
4.1 Визначення вмісту зважених речовин, припустимих до скидання у водойму. ....	8
4.2. Встановлення значення БПК <sub>повн.</sub> $L_{ex}$ у стічній воді, припустиме до скидання у водойму. ....	9
4.3. Визначення необхідного ступеня очищення за розчиненим у воді киснем. ....	9
4.4. Визначення необхідного ефекту очищення стічних вод, що скидаються у водойму. ....	10
5. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ОЧИЩЕННЯ І СКЛАДУ СПОРУД ОЧИСНОЇ СТАНЦІЇ. ....	11
<b>ЗМ. 2.2. Механічне очищення стічних вод. ....</b>	<b>14</b>
6. РОЗРАХУНОК СПОРУД ДЛЯ МЕХАНІЧНОЇ ОЧИСТКИ. ....	14
6.1. Приймальна камера. ....	14
6.2. Решітки. ....	14
6.3. Піскоуловлювачі. ....	16
6.3.1. Горизонтальні пісколовки з коловим рухом води. ....	17
6.4. Розрахунок первинних відстійників. ....	19
<b>ЗМ. 2.3. Біологічна очистка стічних вод. ....</b>	<b>23</b>
7. РОЗРАХУНОК СПОРУД ДЛЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД. ....	23
7.1. Методика розрахунку аеротенків без регенераторів. ....	24
7.1.1. Аеротенки-змішувачі. ....	24
7.1.2. Аеротенки-витиснювачі. ....	27
7.2. Методика розрахунку біофільтрів. ....	31

7.2.1. Краплинні біофільтри. ....	31
7.2.2. Високонавантажені біофільтри (аерофільтри) ....	32
7.2.3. Приклади розрахунків біофільтрів. ....	34
7.3. Вторинні відстійники. ....	37
8. РОЗРАХУНОК СПОРУД ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ СТИЧНИХ ВОД. ....	40
8.1. Хлораторна. ....	40
8.2. Змішувач. ....	41
8.3. Розрахунок контактних резервуарів. ....	41
9. ОБРОБКА ОСАДУ СТИЧНИХ ВОД. ....	42
9.1. Джерела утворення осаду і його властивості. ....	42
9.2. Розрахунок мулоущільнювачів. ....	43
9.3. Розрахунок метантенків. ....	44
9.4 Розрахунок вакуум – фільтрів, допоміжного обладнання і аварійних мулових майданчиків. ....	46
9.5. Розрахунок сушарок кека і площадок для його складування ..	51
10. КОМПОНУВАННЯ ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНУ ОЧИСНОЇ СТАНЦІЇ ТА СКЛАДАННЯ ПРОФІЛІВ ЗА РУХОМ ВОДИ І МУЛУ ...	52
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ. ....	56

**Навчальне видання**

**Гуцал Ірина Олексіївна**

Методичні вказівки до виконання курсової роботи та проведення практичних занять з дисципліни «Технологія очистки водно-дисперсних систем», Модуль 2: «Технологія очистки стічних вод» (для студентів 4 курсу денної форми навчання напряму підготовки 0926 «Водні ресурси», 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» спеціальності «Водопостачання та водовідведення»).

Редактор: *М.З.Аляб'єв*

Комп'ютерне верстання: *Ю.П. Степась*

План 2009, поз. 140 М

---

Підп.до друку 04.12.2009  
Друк на ризографі  
Тираж 50 пр.

Формат 60x84 1/16  
Ум. друк.арк. 3,5  
Зам. №

Видавець і виготовлювач:  
Харківська національна академія міського господарства  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 731 від 19.12.2001