

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

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до проведення практичних занять та організації самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

**«ОЧИСНІ СПОРУДИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня  
вищої освіти всіх форм навчання  
зі спеціальності G19 – Будівництво та цивільна інженерія,  
освітня програма «Цивільна інженерія»)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2026**

Методичні рекомендації до проведення практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Очисні споруди водовідведення» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності G19 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : С. В. Лукашенко, С. М. Епоян, Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. – 56 с.

Укладачі: доц. С. В. Лукашенко,  
проф. С. М. Епоян,  
доц. Т. С. Айрапетян

Рецензент

**О. А. Сироватський**, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очистки вод, протокол № 1 від 25.08.2025*

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Практичне заняття № 1 Склад стічних вод. Умови і розрахунок їх випуску у водойми після очищення .....	5
Практичне заняття № 2 Визначення необхідного ступеня очищення стічних вод за загально-санітарними показниками шкідливості .....	10
Практичне заняття № 3 Споруди механічного очищення стічних вод ...	13
Практичне заняття № 4 Споруди біологічного очищення стічних вод	24
Практичне заняття № 5 Знезараження стічних вод .....	35
Практичне заняття № 6 Обробка осаду стічних вод. Знешкодження осадів.....	38
Практичне заняття № 7 Метантенки та газгольдери .....	42
Практичне заняття № 8 Зневоднення осадів. Генплан очисної станції ...	47
Список рекомендованих джерел.....	54
Додаток А.....	55

## ВСТУП

Стічна рідина має складний склад забруднень органічного і мінерального походження, що перебувають у завислому, колоїдному та розчиненому станах. Ці забруднення під впливом фізичних, хімічних і біохімічних процесів постійно зазнають змін під час руху стічних вод по очисним спорудам до місця випуску. У зв'язку із цим під час проектування очисних споруд водовідведення важливо знати, у якому стані перебувають забруднення в стоках. Водночас склад забруднень стічної рідини визначає необхідну ефективність роботи тих або інших технологічних комплексів очисних станцій.

Практичні заняття допомагають здобувачам розширити теоретичні знання, глибше вивчити суть технологічних процесів, а також набути навичок для проведення самостійних наукових досліджень.

Перед початком кожного практичного заняття здобувачі повинні чітко засвоїти методику розрахунків та порядок виконання роботи.

У цих методичних рекомендаціях наведені завдання і рекомендації щодо їх вирішення. На початку проведення заняття викладач ознайомлює здобувачів з темою заняття та змістом задач, які необхідно вирішити. Після цього здобувачі з додатку А беруть данні для проведення розрахунків (номер варіанта повинен співпадати з останнім номером залікової книжки). Наприкінці заняття викладач перевіряє правильність виконання розрахунків.

## Практичне заняття № 1

### Склад стічних вод. Умови і розрахунок їх випуску у водойми після очищення

**Мета заняття:** набуття навичок розрахунку витрат, концентрацій забруднень міських стічних вод та розрахунку коефіцієнта змішування стічних вод у водоймі.

**Завдання:** визначити витрати та концентрації забруднень стічних вод за завислими речовинами і БПК<sub>повн.</sub>. Виконати обчислення наведеної кількості мешканців. Розрахувати коефіцієнт змішування.

#### Визначення розрахункових витрат

Для проєктування очисних споруд необхідні дані про кількість стічних вод і режим їх надходження за годинами доби. Загальна добова витрата стічних вод,  $Q_{\text{доб}}$ , м<sup>3</sup>/добу, що надходять на очисні споруди:

$$Q_{\text{доб}} = Q_{\text{доб}}^{\text{поб}} + Q_{\text{доб}}^{\text{ПП}}, \quad (1.1)$$

де  $Q_{\text{доб}}^{\text{поб}}$  – середньодобова витрата побутових стічних вод, м<sup>3</sup>/добу;

$Q_{\text{доб}}^{\text{ПП}}$  – середньодобова витрата промислових стічних вод, м<sup>3</sup>/добу.

Середньогодинна витрата, м<sup>3</sup>/год:

$$Q_{\text{год}}^{\text{поб}} = Q_{\text{доб}}^{\text{поб}}/24. \quad (1.2)$$

Середньосекундна витрата, л/с:

$$Q_{\text{поб}} = Q_{\text{год}}^{\text{поб}}/3,6. \quad (1.3)$$

Максимальна добова витрата, м<sup>3</sup>/добу:

$$Q_{\text{доб.мах}} = Q_{\text{доб}} \cdot K_{\text{доб.мах}}, \quad (1.4)$$

де  $K_{\text{доб.мах}}$  – коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання, що враховує уклад життя населення, режим роботи підприємств, ступінь благоустрою будинків і зміну водоспоживання за сезонами року та днями, обирається за рекомендаціями [1];

$$K_{\text{доб.мах}} = 1,1-1,3.$$

Максимальна годинна витрата, м<sup>3</sup>/год

$$Q_{\text{год.мах}}^{\text{поб}} = Q_{\text{год}}^{\text{поб}} \cdot K_{\text{ген.мах}}, \quad (1.5)$$

де  $K_{gen.max}$  – максимальний коефіцієнт нерівномірності, що визначається залежно від середньої секундної добової витрати  $q_{поб}$ , л/с, за даними таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Загальні коефіцієнти нерівномірності припливу побутових стічних вод міста

Загальний коефіцієнт нерівномірності припливу стічних вод	Середня витрата стічних вод, л/с								
	5	10	20	50	100	300	500	1 000	5 000 і більше
Максимальний $K_{gen. max}$	2,5	2,1	1,9	1,7	1,6	1,55	1,5	1,47	1,44
Мінімальний $K_{gen. min}$	0,38	0,45	0,5	0,55	0,59	0,62	0,66	0,69	0,71

Максимальна секундна витрата, л/с:

$$Q_{max}^{поб} = q_{поб} \cdot K_{gen.max} \quad (1.6)$$

### Визначення концентрацій забруднень

Склад споруд станції очищення вибирається залежно від витрат і концентрацій забруднень стічних вод, які надходять на очищення, необхідного ступеня їхнього очищення і місцевих умов.

Концентрації забруднень побутових стічних вод за завислими речовинами  $C^{поб}$ , мг/л, і органічними забрудненнями, які виражаються їхнім еквівалентом БКП<sub>повн</sub>  $L^{поб}$ , мг/л, і визначають з огляду на питома водовідведення:

$$C^{поб} = a_c \cdot \frac{1\,000}{n}, \text{ мг/л}, \quad (1.7)$$

$$L^{поб} = a_L \cdot \frac{1\,000}{n}, \text{ мг/л}, \quad (1.8)$$

де  $a_c$  – питома кількість завислих речовин, яка дорівнює 65 г/добу на одного мешканця;

$a_L$  – питома кількість органічних забруднень у неосвітленій рідині, яка дорівнює 75 г/добу на одного мешканця (питома кількість забруднень, г/добу на одну особу обирається за табл. 16, п. 10.1.4 [1]);

$n$  – питома середньодобове водовідведення побутових стічних вод, л/добу на одну особу.

Середні концентрації забруднень суміші виробничих і побутових стічних вод, мг/л, що надходять на очисні споруди, визначаються за такими формулами:

– для завислих речовин

$$C_{en} = \frac{C^{поб} \cdot Q^{поб} + C^{nn} \cdot Q^{nn}}{Q^{поб} + Q^{nn}}, \frac{\text{мг}}{\text{л}}; \quad (1.9)$$

– для БПК<sub>повн</sub>

$$L_{en} = \frac{L^{поб} \cdot Q^{поб} + L^{nn} \cdot Q^{nn}}{Q^{поб} + Q^{nn}}, \text{мг/л}, \quad (1.10)$$

де  $C^{nn}$ ,  $L^{nn}$  – відповідно концентрація завислих речовин і значення БПК<sub>повн</sub> виробничих стічних вод, мг/л;

$Q^{поб}$ ,  $Q^{nn}$  – середньодобові витрати побутових і виробничих стічних вод, м<sup>3</sup>/доб.

### Обчислення приведеної кількості мешканців

Приведеного населення  $N$  – це сума розрахункового населення  $N_p$  від міста і еквівалентної кількості мешканців від промислових підприємств  $N^{екв}$ :

$$N_p = \frac{Q_{доб} \cdot 1\,000}{n}, \text{ мешк.} \quad (1.11)$$

$$N = N_p + N^{екв}, \quad (1.12)$$

де  $N^{екв}$  – кількість мешканців, яке вносить таку ж кількість забруднень, як і ця витрата виробничих стічних вод.

Еквівалентне населення визначається:

– за завислими речовинами

$$N_c^{екв} = \frac{C^{nn} \cdot Q^{nn}}{a_c}, \text{ мешк.}; \quad (1.13)$$

– за БПК<sub>повн</sub>

$$N_L^{екв} = \frac{L^{nn} \cdot Q^{nn}}{a_L}, \text{ мешк.} \quad (1.14)$$

Приведене населення визначається:

– за завислими речовинами

$$N_c = N_p + N_c^{екв}, \text{ мешк.} \quad (1.15)$$

– за БПК<sub>повн</sub>

$$N_L = N_p + N_L^{\text{екв}}, \text{ мешк.} \quad (1.16)$$

За приведеною кількістю мешканців визначається кількість відходів і осадів, які нормуються на одного мешканця.

### Розрахунок коефіцієнта змішування води водойми зі стічними водами

Для врахування витрати річкової води, що бере участь у процесі змішування під час спуску стічних вод, розраховується коефіцієнт змішування  $\gamma$ , що вказує, яка частина витрати річки змішується зі стічною водою у цьому створі.

У разі спускання стічних вод у протокові водойми значення  $\gamma$  визначається за методом В. А. Фролова, І. Д. Родзіллера і А. В. Караушева:

$$\gamma = \frac{1 - e^{-a^3 \sqrt{l_\phi}}}{1 + (Q_p/q) \cdot e^{-a^3 \sqrt{l_\phi}}}, \quad (1.17)$$

де  $e$  – основа натуральних логарифмів, що дорівнює 2,72;

$l_\phi$  – відстань від створу випуску стічних вод до розрахункового створу по течії (фарватеру) ріки, м;

$Q_p$  – найменша середньодобова витрата води (у разі 95-відсоткової забезпеченості) у створі ріки біля місця випуску, м<sup>3</sup>/с;

$q$  – середьосекундна витрата січних вод, м<sup>3</sup>/с;

$a$  – коефіцієнт, що враховує гідравлічні фактори в річці й визначається за формулою

$$a = \varphi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{q}}, \quad (1.18)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт хвилястості ріки, що дорівнює відношенню відстані від місця випуску стічних вод до контрольного створу по фарватеру  $l_\phi$ , тобто до відстані між цими ж пунктами по прямій  $l_{\text{пр}}$ :  $\varphi = l_\phi / l_{\text{пр}} = 1,3$ .

Необхідно врахувати, що контрольний створ, для якого визначається коефіцієнт змішування, розташовується на 1 км вище від розрахункового.

$\xi$  – коефіцієнт, який залежить від конструкції випуску стічних вод у водойму: у разі випускання у фарватер  $\xi = 1,5$ .

$E$  – коефіцієнт турбулентної дифузії, який для рівнинних рік визначається за такою формулою:

$$E = V_p \cdot \frac{H_p}{200}, \quad (1.13)$$

де  $V_p$  – середня швидкість течії ріки на ділянці, що розглядається, м/с;

$H_p$  – середня глибина ріки на тій же ділянці, м.

Стічні води скидаються у водойму через випуск нижче території забудови. Для водотоків, використовуваних у рибогосподарських цілях, розрахунковий створ розташовується на відстані 500 м нижче випуску стічних вод. Для водойм господарсько-питного й культурно-побутового водокористування контрольний створ знаходиться вище пункту водокористування за течією річки на відстані 1 000 м до водозабору. На рисунку 1.1 наведено схему ділянки ріки, де здійснюється змішування стічних вод із водою водойми.

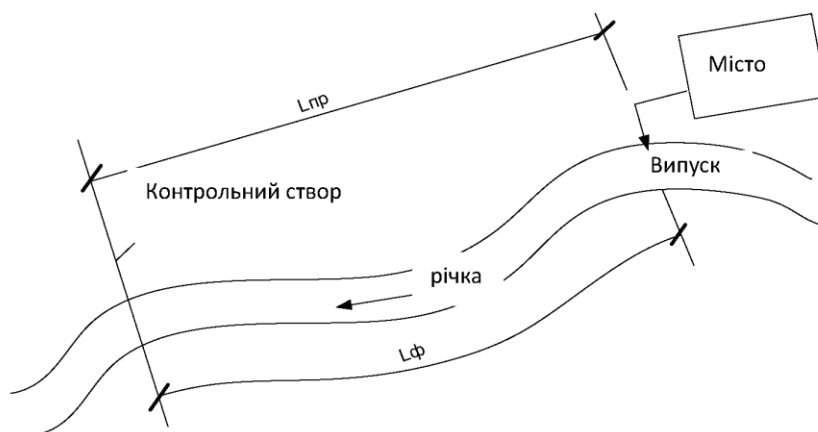


Рисунок 1.1 – Схема ділянки ріки, де здійснюється змішування стічних вод із водою водойми:

$L_{пр}$  – відстань по прямій;  $L_{ф}$  – відстань по фарватеру

### Питання для самоконтролю

1. Як визначити середню витрату побутових стічних вод?
2. Як визначити концентрацію БПК міських стічних вод?
3. У чому особливості відмінності показників ХПК і БПК?

## Практичне заняття № 2

### Визначення необхідного ступеня очищення стічних вод за загально-санітарними показниками шкідливості

**Мета заняття:** набуття навичок розрахунку необхідного ступеня очищення стічних вод за завислими речовинами, БПК, розчиненим киснем і температурою.

#### Визначення необхідного ступеня очищення стічних вод

Розрахунки для визначення необхідного ступеня очищення стічних вод, що спускаються у водойму, виконуються за вмістом завислих речовин, за споживанням стічними водами розчиненого кисню, допустимій величині БПК<sub>повн</sub> у суміші річкової води і стічних вод.

«Правилами охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами» нормуються гранично допустимі концентрації забруднень і гранично допустиме зниження розчиненого кисню в суміші води і стічних вод. Основні нормативи якості води у водоймах залежно від виду і типу водокористування наводяться в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вимоги до якості води водних об'єктів у розрахунковому створі водокористування

Види водокористування	Категорія водокористування	Граничнодопустима концентрація (ГДК), мг/л		
		БПК <sub>повн</sub> , ЛГДК	Збільшення завислих речовин, СГДК	Розчинений кисень, ОГДК
Санітарно-побутове:				
– питне водопостачання;	I	3	0,25	4
– культурно-побутове	II	6	0,75	4
Рибогосподарське:				
– відтворення і збереження цінних порід риб;	I	3	0,25	6
– інші рибогосподарські цілі	II	3	0,75	6 (улітку) 4 (узимку)

#### Обчислення ступеня очищення за вмістом завислих речовин

Допустимий вміст завислих речовин у стічних водах, що спускаються у річку, згідно з санітарними правилами визначається за такою формулою:

$$C_{ex} = \left( \gamma \cdot \frac{Q_p}{q} + 1 \right) \cdot C_{ГДК} + C_p, \quad (2.1)$$

де  $C_{ГДК}$  – гранично допустиме за санітарними правилами збільшення завислих речовин у водоймі після спуску стічних вод, мг/л, (табл. 2.1);

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

$\gamma$  – коефіцієнт змішання;

$Q_p$  – витрата води в водоймі, м<sup>3</sup>/с;

$q$  – витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/с за середню добу.

Потрібний ефект очищення обчислюється за такою формулою (%):

$$E_c = (C_{en} - C_{ex}) \cdot \frac{100}{C_{en}}. \quad (2.2)$$

### Обчислення ступеня очищення за БПК<sub>повн</sub>

Концентрація органічних забруднень за БПК<sub>повн</sub> у стічних водах, допустимих до спуску, обчислюється за формулою:

$$L_{ex} = \left( \gamma \cdot \frac{Q_p}{q \cdot 10^{-k_1 t}} \right) \cdot (L_{ГДК} - L_p \cdot 10^{-k_2 t}) + \frac{L_{ГДК}}{10^{-k_1 t}}, \quad (2.3)$$

де  $L_{ex}$  – БПК<sub>повн</sub> стічної рідини, яка повинна бути досягнута в процесі очищення, мг/л;

$L_p$  – БПК<sub>повн</sub> річкової води до місця випуску стічних вод, мг/л;

$L_{ГДК}$  – гранично допустима БПК<sub>повн</sub> суміші річкової і стічної води в розрахунковому створі, мг/л (табл. 2.1);

$k_1, k_2$  – константи швидкості споживання кисню стічною і річковою водою, значення яких коливаються залежно від температури середовища, непостійності органічних речовин тощо (у своїх розрахунках обираємо за температури води 20 °С середнє значення константи  $k_1 = 0,1$ , і  $k_2 = 0,2$ );

$t$  – тривалість переміщення води від місця випуску стічних вод до розрахункового пункту в добах, яка дорівнює відношенню відстані  $l_\phi$  по фарватеру від місця випуску стічних вод до розрахункового створу, до середньої швидкості течії води в річці на даній ділянці:

$$t = \frac{l_\phi}{V_p \cdot 86\,400}, \text{ доби.} \quad (2.4)$$

Визначимо потрібний ефект очищення за БПК<sub>повн</sub>:

$$E_L = (L_{en} - L_{ex}) \cdot \frac{100}{L_{en}}, \% \quad (2.5)$$

### Обчислення ступеня очищення за розчиненим у воді киснем

Розрахунок допустимої максимальної величини БПК<sub>повн</sub> стічних вод, які спускаються у водойму, з огляду на умови санітарних правил про збереження у водоймі мінімального вмісту розчиненого кисню, виконується без урахування реаерації за таким рівнянням:

$$L = 2,5 \cdot \left( \gamma \cdot \frac{Q_p}{q} \right) \cdot (O_p - 0,4 \cdot L_p - O_{ГДК}) - \frac{O_{ГДК}}{0,4}, \quad (2.6)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт змішування;

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

$q$  – витрата стічних вод, які надходять до водойми, м<sup>3</sup>/с;

$O_p$  – вміст розчиненого кисню у річковій воді до місця спуску стічних вод, мг/л;

$L_p$  – БПК<sub>повн</sub> річкової води, мг/л;

0,4 – коефіцієнт для перерахунку БПК<sub>повн</sub> у дводобову;

$O_{ГДК}$  – мінімальна концентрація розчиненого кисню, мг/л, яка повинна зберігатися у воді водойми після випуску стічних вод  $O_{ГДК} = 4$  мг/л (табл. 2.1).

Потрібний ефект очищення:

$$E_L = (L_{en} - L) \cdot \frac{100}{L_{en}}, \% \quad (2.7)$$

### Питання для самоконтролю

1. На які види і категорії поділяються водойми?
2. Як визначити ефект очищення стоків за завислими речовинами?

## Практичне заняття № 3

### Споруди механічного очищення стічних вод

**Мета заняття:** набуття навичок розрахунку та підбору споруд механічного очищення стічних вод.

#### Гідравлічний розрахунок каналів перед решітками і лотків решіток

Розрахунок каналів і лотків для підведення стічних вод до решіток та пісковловлювачів виконують за допомогою таблиць Лукіних на максимальну і перевіряються на мінімальну подачу стічних вод.

Попередньо виконуємо гідравлічний розрахунок каналів на повну (до будівлі грат) і лотків на половину (до кожних робочих решіток) максимальну секундну витрату (рис. 3.1.). Враховуючи перспективу розвитку очисних споруд, додаємо коефіцієнт 1,4. Щоб уникнути замулення каналів і лотків виконуємо гідравлічний розрахунок на пропуск мінімальної секундної витрати.

Мінімальну розрахункову швидкість неосвітлених стічних вод у підвідних і відвідних каналах і лотках допускається обирати не менше 0,6 м/с. Максимальну – не більше 4 м/с для лотків і каналів, які обладнанні бетонними плитами, проте не більше 1 м/с перед решітками. Значення максимальної швидкості необхідно обирати: якщо глибина потоку менше ніж 0,4 м із коефіцієнтом 0,85, більше ніж 1 м – із коефіцієнтом 1,25.

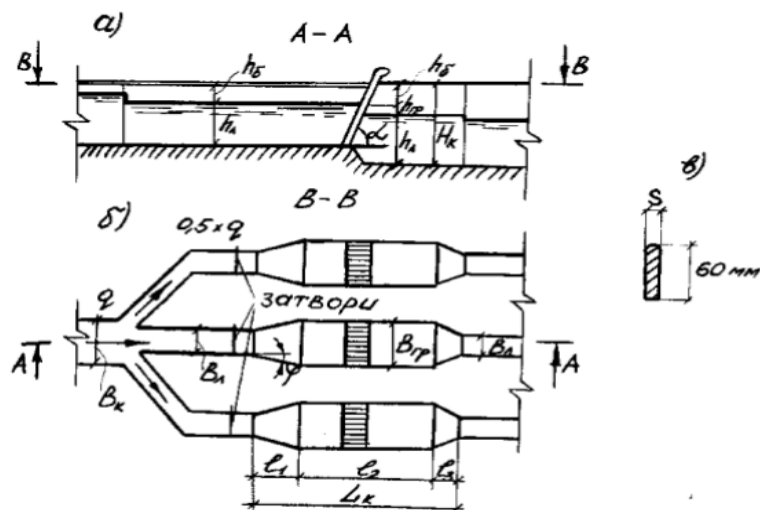


Рисунок 3.1 – Схема влаштування підвідних каналів і лотків та грат:  
а – переріз підвідних каналів, лотків та решіток; б – план підвідних каналів, лотків та решіток; в – поперечний переріз стрижня решітки типу МГ

Розрахункове наповнення каналів і лотків прямокутного перерізу допускається обирати не більше 0,75 висоти. Розрахунки виконуємо за рекомендованими таблицями гідравлічних розрахунків лотків і каналів. Результати заносимо у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Гідравлічний розрахунок підвідних каналів і лотків

Розрахункові дані	Витрата, л/с					
	Канал			Лотки		
	$q_{\min}$ ,	$q_{\max}$ ,	$q_{\max} \cdot 1,4$	$0,5 \cdot q_{\min}$ ,	$0,5 \cdot q_{\max}$ ,	$0,5 \cdot q_{\max} \cdot 1,4$
Ширина каналу, $B_k$ , лотка, $B_l$ , мм						
Нахил, $i$						
Наповнення $h$ , м						
Швидкість $v$ , м/с						

### Розрахунок решіток типу МГ

Розрахунок решіток виконується на максимальний секундний приплив стічних вод ( $m^3/c$ ).

Механізоване очищення решіток від забруднень з улаштуванням дробарки для їх подрібнення передбачається, якщо кількість відходів  $0,1 m^3/доду$  і більше. Питома кількість відходів, що затримуються решітками типу МГ із шириною прозорів 16–20 мм, дорівнює 8 л/(осіб × рік). Решітки влаштовують в розширеній частині лотка – камері решіток.

Визначаємо кількість забруднень, які знімаються з обраних решіток:

$$\Omega_{гр} = \frac{8 \cdot N_c}{1\,000 \cdot 365}, m^3/доду, \quad (3.1)$$

де  $N_c$  – приведені за завислими речовинами населення.

За таблицею 3.2 підбираються відповідні для розрахункового випадку типові ґрати з механізованим очищенням (якщо  $\Omega_{гр} > 0,1 m^3/доду$ ).

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики решіток

Пропускна здатність станції, $Q$ , тис. м <sup>3</sup> /добу	Розрахункова витрата, $q$ , м <sup>3</sup> /с	Марка решітки	Розміри каналу $B_p \times H_{ep}$ , Мм	Кількість			
				решіток робочих (резервних)	прозорів	дробарок Д-3б продуктивністю, кг/год	
						50–100	300–600
18	0,29	МГ-7Т $q = 0,31 \text{ м}^3/\text{с}$	800 × 1 400	1 (1)	31	1	–
25–35	0,4–0,53	55	–	2(1)	31	1	–
50	0,72	МГ-11Т $q = 0,45 \text{ м}^3/\text{с}$	1 000 × 1 600	2 (1)	39	1	–
70	0,96	55	–	2 (1)	39	1 (1)	1 (1)
100	1,36	МГ-8Т $q = 1 \text{ м}^3/\text{с}$	1 400 × 2 000	2 (1)	55	–	1 (1)
140	1,87	55	–	2 (1)	55	–	1 (1)
200	2,68	МГ-6Т $q = 1,62 \text{ м}^3/\text{с}$	2 000 × 2 000	2 (1)	84	–	1 (1)

Ширина камери,  $B_{гр}$ , м, яка дорівнює ширині решіток, обчислюється за такою формулою:

$$B_{гр} = S \cdot (n - 1) + b \cdot n, \quad (3.2)$$

де  $S$  – товщина стрижня решіток, дорівнює 0,01 м;

$n$  – кількість прозорів;

$b$  – ширина прозору, рекомендована 0,016 м.

Швидкість течії води у прозорах решіток типу МГ під час максимального припливу стічних вод повинна бути рівною 0,8–1,0 м/с і визначатися так:

$$v_{гр} = \frac{q_{max} \cdot K}{b \cdot h_{л} \cdot n}, \quad (3.3)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що враховує стиснення потоку, дорівнює 1,05;

$h_{л}$  – висота шару води перед решітками дорівнює наповненню в лотку.

Швидкість течії води перед решітками під час мінімального припливу стічних вод визначається, як

$$V_{min} = \frac{q_{min}}{B_{гр} \cdot h_{л}}, \text{ м/с.} \quad (3.4)$$

Загальна довжина камери решіток дорівнює сумі довжин усіх елементів камери:

$$L_k = l_1 + l_2 + l_3, \quad (3.5)$$

де  $l_1$  – довжина розширення біля входу лотка в камеру, м;

$$l_1 = \frac{B_{гр} - B_{л}}{2 \cdot \operatorname{tg}\varphi}, \text{ м}, \quad (3.6)$$

де  $\varphi$  – кут розширення, що дорівнює  $20^\circ$ ;

$l_2$  – довжина камери решіток, обирається рівною 2,5 м;

$$l_3 = 0,5 \cdot l_1, \text{ м}. \quad (3.7)$$

Загальна висота камери решіток  $H_k$ , м, визначається за такою формулою:

$$H_k = h_{л} + h_{гр} + h_{б}, \quad (3.8)$$

де  $h_{л}$  – глибина шару води перед решітками, яка дорівнює наповненню в лотку під час максимального припливу, м;

$h_{гр}$  – втрати напору в решітках, м;

$h_{б}$  – висота бортів камери, конструктивно обирається рівною 0,5 м.

Втрати напору, м, у решітках розраховується за формулою

$$h_{гр} = \frac{3 \cdot \xi \cdot v^2}{2 \cdot g}, \quad (3.9)$$

де 3 – коефіцієнт, який враховує засмічення решіток;

$v$  – швидкість руху води в решітках;

$\xi$  – коефіцієнт місцевого опору решіток для прямокутних стрижнів, визначається за формулою

$$\xi = 2,42 \cdot \left(\frac{S}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \sin 60^\circ, \quad (3.10)$$

де  $\alpha$  – кут нахилу решіток до горизонту,  $\alpha = 60-80^\circ$ .

### **Розрахунок пісковловлювачів із коловим рухом води**

Обираємо горизонтальні пісковловлювачі з коловим рухом води як найбільш ефективні щодо затримання піску і надійні в експлуатації (рис. 3.2).

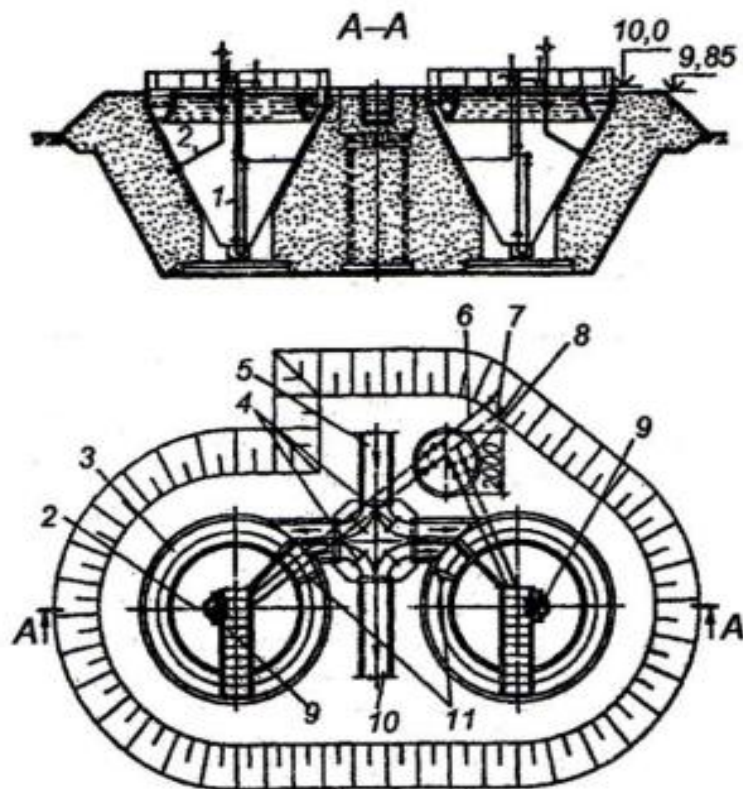


Рисунок 3.2 – Горизонтальні пісковловлювачі з коловим рухом води:

- 1 – гідроелеватор; 2 – трубопровід для відведення спливаючих домішок;
- 3 – жолоб; 4 – поверхневі затвори з ручним приводом;
- 5 – підвідний лоток; 6 – пульпопровід; 7 – трубопровід для робочої рідини;
- 8 – камера перемикання; 9 – пристрій для збору спливаючих домішок;
- 10 – відвідний лоток; 11 – напівзанурені щити (у процесі очищення стічних вод, які містять нафту)

Горизонтальні пісковловлювачі розраховуються на вловлювання піску діаметром 0,2–0,25 мм. При цьому загальна кількість уловленого піску досягає 65–70 %.

Кількість пісковловлювачів належить обирати не менше двох, до того ж робочих.

Розрахунок горизонтальних пісковловлювачів із коловим рухом води робимо на максимальну витрату з перевіркою на пропускання мінімальної витрати.

Довжина проточної частини  $L_s$ , м, одного пісковловлювача визначається за формулою

$$L_s = \frac{1\,000 \cdot K_s \cdot H_s \cdot v_s}{u_0}, \quad (3.11)$$

де  $K_s$  – коефіцієнт, що враховує вплив турбулентності та нерівномірність розподілення швидкостей води вздовж висоти і ширини споруди і обирається за таблицею 3.3 ( $K_s = 1,7$ );

$H_s$  – розрахункова глибина пісковловлювача, м, яка обирається рівною глибині потоку  $h_{\Gamma}$  у підвідному лотку (табл. 3.1);

$v_s$  – максимальна швидкість руху потоку у пісковловлювачі ( $v_s = 0,3$  м/с);

$u_0$  – гідравлічна крупність піску, мм/с, яка обирається залежно від потрібного діаметра часток піску, які затримуються ( $u_0 = 18,7$  мм/с).

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнта  $K_s$

Діаметр часток піску, які затримуються, мм	Гідравлічна крупність піску $u_0$ , мм/с	Значення $K_s$ залежно від типу пісковловлювачів		
		горизонтальні	з аерацією повітрям, якщо В/Н дорівнює	
			1,25	1,5
0,15	13,2	–	2,5	2,39
0,20	18,7	1,7	2,25	2,08
0,25	24,2	1,3	–	–

Тривалість перебування води у пісковловлювачі повинна бути 30–60 с.

Визначаємо тривалість перебування води у пісковловлювачі під час максимальної витрати:

$$t = \frac{L_s}{V_{max}}, \text{ сек.} \quad (3.12)$$

Площа живого перерізу потоку в кожному пісковловлювачі

$$\omega = \frac{q_{max}}{v_s}, \text{ м}^2. \quad (3.13)$$

Ширина

$$b = \frac{\omega}{H_s}, \text{ м.} \quad (3.14)$$

Зовнішній діаметр пісковловлювача визначається так:

$$D_s = \frac{L_s}{\pi} + b, \text{ м.} \quad (3.15)$$

Питома кількість піску, затриманого пісковловлювачем за швидкістю  $v_s = 0,3 \text{ м/с}$ , визначається з розрахунку  $0,03 \text{ л/(мешк.} \times \text{добу)}$ :

$$\Omega_s = \frac{0,03 \cdot N_c}{1\,000}, \frac{\text{м}^3}{\text{добу}}. \quad (3.16)$$

Об'єм піскового прямоку  $W_s$  обираємо не більше дводобового об'єму піску

$$W_s = \Omega_s \cdot 2, \text{ м}^3. \quad (3.17)$$

### Розрахунок первинного радіального відстійника

Первинних відстійників необхідно мати не менше двох. За мінімальної кількості їхній розрахунковий об'єм необхідно збільшити в 1,2–1,3 рази, тому вигідніший варіант улаштування трьох і більше первинних відстійників (рис. 3.3).

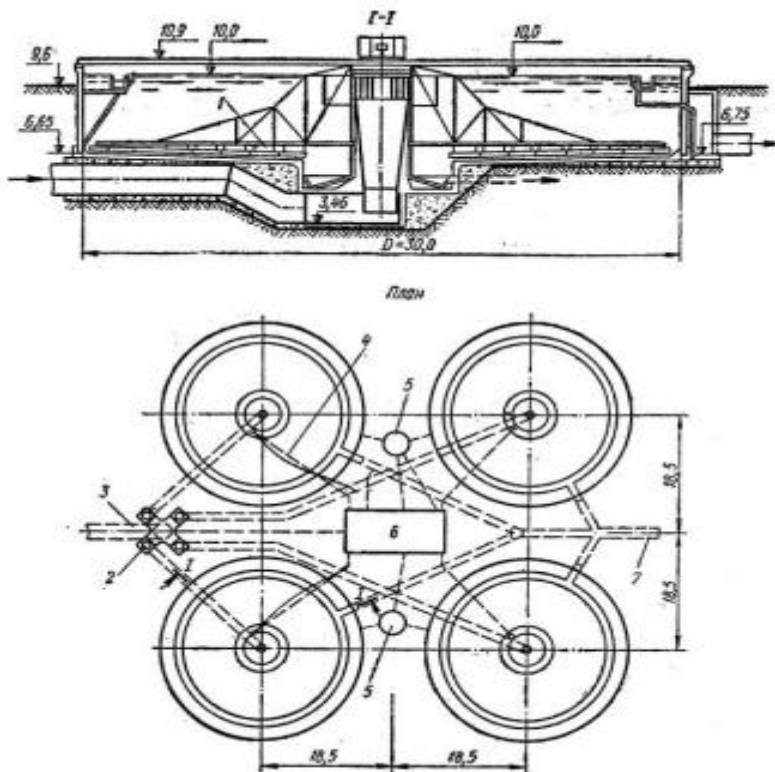


Рисунок 3.3 – Первинні радіальні відстійники:

- 1 – мулошкреб;
- 2 – розподільча чаша;
- 3 – підвідний трубопровід;
- 4 – трубопровід вивантаження осаду;
- 5 – жирозбірник;
- 6 – насосна станція перекачування осаду;
- 7 – трубопровід відведення освітленої води;
- 8 – жиропровід

Розрахунок первинних відстійників виконується за кінетикою випадіння завислих речовин з урахуванням необхідного ефекту освітлення за наступними формулами і таблицями.

Потрібний ефект освітлення у відсотках:

$$E = \frac{(C_{en} - C_{cdp}) \cdot 100}{C_{en}}, \% \quad (3.18)$$

де  $C_{cdp}$  – допустима концентрація завислих речовин в освітлених водах, які подаються на біологічне очищення, не повинна перевищувати 100–150 мг/л;

Основний розмір первинних відстійників – діаметр,  $D_{set}$ , м, становить:

$$D_{set} = \left( \frac{4 \cdot Q}{3,6 \cdot \pi \cdot K_{set} \cdot (u_0 - v_{tb}) \cdot n_{set}} \right)^{0,5}, \quad (3.19)$$

де  $Q$  – розрахункова кількість стічних вод, м<sup>3</sup>/год;

$K_{set}$  – коефіцієнт використання об'єму проточної частини відстійника – 0,45 для радіальних відстійників;

$v_{tb}$  – турбулентна складова, мм/с, умовно обирається за таблицею 3.4 ( $v_{tb} = 0$  мм/с);

$n_{set}$  – кількість первинних відстійників;

$v_w$  – середня розрахункова швидкість у проточній частині відстійника 5–10 мм/с;

$u_0$  – гідравлічна крупність, мм/с, розрахункове значення якої обчислюється за формулою

$$u_0 = \frac{1\,000 \cdot K_{set} \cdot H_{set}}{t_{set} \cdot \left( \frac{K_{set} \cdot H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}}, \quad (3.20)$$

де  $H_{set}$  – глибина проточної частини у відстійнику (дорівнює 1,5–5 м – для радіальних відстійників);

$t_{set}$  – тривалість відстоювання, с, відповідна до ефекту освітлення  $E$  та отримана в лабораторному циліндрі в шарі  $h_1 = 500$  мм, для міських стічних вод визначається за таблицею 3.5;

$n_2$  – коефіцієнт, який залежить від агломерації зависі в процесі осадження; для міських стічних вод обираємо рівним 0,25.

Таблиця 3.4 – Залежність турбулентної складової від повздовжньої швидкості

Параметр	Значення при повздовжній швидкості, $v_n$ , мм/с	
	5	10
Турбулентна складова $v_{ib}$ , мм/с	0	0,05

Глибина проточної зони у відстійнику  $H_{set}$  обирається рівною 3,1 м. Значення  $t_{set}$  знаходимо інтерполяцією за таблицею 3.5. Якщо значення швидкості у відстійнику  $v_{set}$  обрати не більшим 5 мм/с, то турбулентну складову можна прирівняти до нуля.

Після визначення  $D_{set}$  для радіальних відстійників перевіряємо фактичну швидкість  $v_{\phi}$  у проточній частині відстійника:

$$v_{\phi} = \frac{2 \cdot Q}{3,6 \cdot \pi \cdot D_{set} \cdot K_{set} \cdot H_{set}}, 5 \text{ мм/с.} \quad (3.21)$$

Таблиця 3.5 – Тривалість відстоювання  $t_{set}$  залежно від ефекту освітлення  $E$  і концентрації завислих речовин  $C_{en}$

Ефект освітлення $E$ , %	Тривалість відстоювання $t_{set}$ , с, у шарі $h_1 = 500$ мм із концентрацією завислих речовин $C_{en}$ , мг/л			
	100	200	300	400
20	600	300	–	–
30	900	540	320	260
40	1 320	650	450	390
50	1 900	900	640	450
60	3 800	1 200	970	680
70	–	3 600	2 600	1 830

Значення швидкості  $v_{\phi}$  незначно нижче за обране значення розрахункової швидкості  $v_w = 5$  мм/с і відповідає рекомендованим межам (5–10 мм/с), тому вносити поправки в розрахунок немає необхідності.

Необхідно також визначити продуктивність одного відстійника обраного діаметра:

$$q_{set} = 2,8 \cdot K_{set} \cdot (D_{set}^2 - d_{en}^2) \cdot (u_0 - v_{tb}), \quad (3.22)$$

де  $d_{en}$  – діаметр впускного пристрою, дорівнює 2,0 м.

Основні конструктивні параметри радіальних відстійників: висота нейтрального шару 0,5–0,6 м, глибина шару осаду 0,3–0,4 м, висота бортика над проточною частиною відстійника 0,5 м, нахил днища до мулового приямка  $i = 0,005–0,05$ .

Об'єм осаду  $W_{mud}$ , м<sup>3</sup>/доб, який вивільняється у процесі відстоювання в первинних відстійниках, визначається з огляду на концентрацію завислих речовин у воді, що надходить,  $C_{en}$ , і концентрації завислих речовин в освітленій воді,  $C_{cdp}$ :

$$\Omega_{mud} = \frac{K \cdot Q_{доб} \cdot (C_{en} - C_{cdp})}{(100 - P_{mud}) \cdot \rho_{mud} \cdot 10^4}, \quad (3.23)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який враховує збільшення об'єму осаду за рахунок крупних фракцій, дорівнює 1,1;

$Q_{доб}$  – середньодобова витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/доб;

$P_{mud}$  – вологість осаду, дорівнює 93,5 % у разі виведення осаду насосами;

$\rho_{mud}$  – густина осаду, для спрощення розрахунків обираємо рівною 1,0 г/см<sup>3</sup>.

Згрібання осаду до мулового приямку здійснюється за допомогою скребачок, влаштованих на механічній рухомій фермі. У разі механізованого виведення осаду мулова частина відстійника повинна містити 8-годинний об'єм осаду. Осад розміщується в муловому приямку і частково в зоні дії скребачок.

Механічне очищення приводить до виведення з суміші побутових і виробничих стічних вод до 60 % нерозчинених домішок і зниження БПК<sub>повн</sub> на 10–20 %. Таким чином, після механічного очищення виходять стічні води з показниками забруднень:

– за завислими речовинами

$$C_{cdp} = \frac{C_{en} \cdot (100 - E)}{100}, \text{ мг/л}; \quad (3.24)$$

– по БПК<sub>повн</sub>:

$$L'_{en} = \frac{L_{en} \cdot (100 - E)}{100}, \text{ мг/л,} \quad (3.25)$$

де  $L_{en}$  – початкове значення БПК<sub>повн</sub> суміші побутових і виробничих стічних вод.

### Питання для самоконтролю

1. Для чого на очисних спорудах необхідно встановлювати решітки?
2. Як визначається ширина решітки?
3. Яка швидкість потоку стічних вод між стрижнями решітки?
4. Яке призначення мають пісковловлювачі і на затримання піску якої крупності вони розраховуються?
5. На яку швидкість потоку стічної води розраховуються горизонтальні та аеровані пісковловлювачі?
6. Принцип роботи гідромеханічної системи змиву осаду в пісковловлювачі.
7. Яка нормативна кількість піску затримується в горизонтальному пісковловлювачі у розрахунку на одну людину?
8. Як визначити необхідний ефект очищення у разі первинного відстоювання?
9. Яку вологість і щільність має осад із первинних відстійників?

## Практичне заняття № 4

### Споруди біологічного очищення стічних вод

**Мета заняття:** набути навичок розрахунку та підбору споруд біологічного очищення стічних вод.

#### Розрахунок аеротенку-витискувача з регенератором

Якщо значення БПК<sub>повн.</sub>  $L_{en.}$  менше за 300 мг/л у стічних водах після механічного очищення, то доцільно взяти до проектування аеротенки-витискувачі. Аеротенки розраховуються на повне біологічне очищення і повинні мати регенератори, коли БПК<sub>повн.</sub> стічної води,  $L_{en.}$ , перевищує 150 мг/л. Доцільно застосовувати аеротенки-витискувачі (2–4 шт. коридорного типу), конструкція яких дозволяє відводити 25–50 % їхнього об'єму під регенератори (рис. 4.1).

Розрахунок здійснюється у такій послідовності.

Визначається ступінь рециркуляції або витрата циркулюючого активного мулу в частках від розрахункового припливу стічних вод:

$$R_i = a_i / (1\ 000 / J_i - a_i), \quad (4.1)$$

де  $a_i$  – доза мулу в аеротенку;

$J_i$  – муловий індекс.

Орієнтовно можна обрати:  $a_i = 3$  г/л,  $J_i = 75$  см<sup>3</sup>/г.

Ступінь рециркуляції не повинен бути меншим ніж 0,3, тому якщо розрахункове значення менше, то обирається  $R_i = 0,3$ .

Розраховується БПК<sub>повн.</sub> стічних вод, які надходять в аеротенк-витискувач, з урахуванням розведення циркуляційним мулом за формулою

$$L_{mix} = (L_{en.} + L_{ex} \times R_i) / (1 + R_i), \text{ мг/л.} \quad (4.2)$$

Визначається тривалість перебування стічних вод у самому аеротенку:

$$t_{at} = 2,5 / a_i^{0,5} \times \lg (L_{mix} / L_{ex}), \text{ год.} \quad (4.3)$$

Відповідно до  $t_{at}$  повинно бути не менше за 2 години,  $t_{at} = 2$  год.

Аерація мулу в регенераторі потребує значно більшої тривалості.

Здійснюється підрахунок дози мулу в регенераторі:

$$a_r = a_i \times [1 / (2 \times R_i) + 1], \text{ г/л.} \quad (4.4)$$

Питома швидкість окислення в регенераторі визначається за формулою

$$\rho = \rho_{\max} \times \frac{L_{\text{ex}} \times C_0}{(L_{\text{ex}} \times C_0 + K_L \times C_0 + K_0 \times L_{\text{ex}})} \times \frac{1}{(1 + \varphi \times a_r)} \quad (4.5)$$

за максимальної швидкості окислення,  $\rho_{\max} = 85 \text{ мг/}(\text{г} \times \text{год})$ , констант  $K_L = 33 \text{ мг/л}$  і  $K_0 = 0,625 \text{ мг/л}$ , коефіцієнта інгібування,  $\varphi = 0,07 \text{ л/г}$ , зольності мулу,  $S = 0,3$ , а також концентрації кисню в аеротенку  $C_0 = 2 \text{ мг/л}$ .

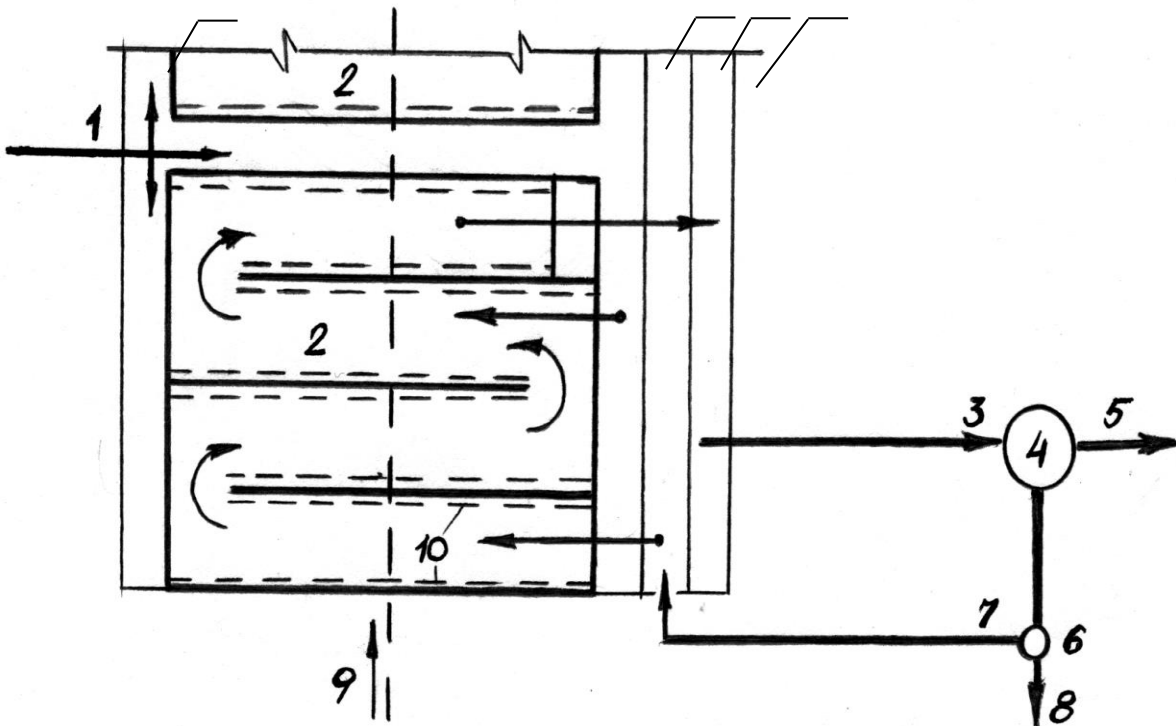


Рисунок 4.1 – Аеротенк-витискувач із 50-відсотковою регенерацією:

- 1 – стічна вода після первинних відстійників; 2 – коридори аерації; 3 – мулова суміш з аеротенків; 4 – вторинний відстійник; 5 – очищена вода; 6 – мулова камера; 7, 8 – циркуляційний і надлишковий мул відповідно; 9 – повітря від повітрорудовок; 10 – аераційна система для розподілу повітря в аеротенку; 11, 12 – розподільчі канали: верхній і нижній відповідно; 13 – канал активного мулу; 14 – канал відведення суміші стічних вод і активного мулу до вторинних відстійників

Тривалість окислення забруднень у системі «аеротенк – регенератор» визначається за формулою

$$t_0 = (L_{en} - L_{ex}) / (R_i \times a_r \times (1 - S) \times \rho), \quad (4.6)$$

де  $S$  – зольність мулу, обирається рівною 0,3.

Період регенерації мулу розраховується так:

$$t_r = t_0 - t_{at}, \text{ год.} \quad (4.7)$$

Тривалість перебування води в системі «аеротенк – регенератор» розраховується так:

$$t_{im} = (1 + R_i) \times t_{at} + R_i \times t_r, \text{ год.} \quad (4.8)$$

Для уточнення мулового індексу,  $J_i$ , необхідно визначити середню дозу мулу в системі «аеротенк – регенератор»:

$$a_{im} = [(1 + R_i) \cdot t_{at} \cdot a_i + R_i \cdot t_r \cdot a_r] / t_{im}, \text{ г/л.} \quad (4.9)$$

Навантаження на мул,  $q_i$ , визначається так:

$$q_i = 24 \cdot (L_{en} - L_{ex}) / (a_{im} \cdot (1 - S) \cdot t_{im}), \text{ мг/(г·добу)}. \quad (4.10)$$

Для міських стічних вод за таблицею 4.1 для визначеного навантаження на мул обчислюється муловий індекс,  $J_i$ ,  $\text{см}^3/\text{г}$ , та ступінь рециркуляції,  $R_i$ , яка не повинна відрізняється від попередньо обраних:  $J_i = 75 \text{ см}^3/\text{г}$  і  $R_i = 0,3$ .

Таблиця 4.1 – Значення мулового індексу,  $J_i$ ,  $\text{см}^3/\text{г}$ , залежно від навантаження на мул,  $q_i$ ,  $\text{мг}/(\text{г} \cdot \text{добу})$ , для міських стічних вод

$q_i$ , мг/(г·доб)	100	200	300	400	500	600
$J_i$ , $\text{см}^3/\text{г}$	130	100	70	80	95	130

Якщо розрахункові цифри значно відрізняються від обраних попередньо, то здійснюємо уточнення розрахункових параметрів вже з розрахованими показниками.

Об'єм аеротенка визначається за формулою

$$W_{at} = t_{at} \times (1 + R_i) \times q_w, \quad (4.11)$$

де  $q_w$  – розрахункове надходження стічних вод в аеротенк, яке обирається рівним сумарній продуктивності всіх робочих насосів на головній насосній станції.

Об'єм регенератора складає

$$W_r = t_r \times R_i \times q_w, \text{ м}^3. \quad (4.12)$$

Загальний об'єм аеротенка і регенератора складає

$$W = W_{at} + W_r, \text{ м}^3. \quad (4.13)$$

За таблицею 4.2 підбирається аеротенк.

Довжина кожної секції складає:

$$l_{atv} = W_{at} / (n_{at} \times H_{atv} \times V_{atv} \times m_{at}), \text{ м}. \quad (4.14)$$

Фактичний час перебування оброблюваної стічної води в системі «аеротенк – регенератор»

$$t_\phi = W / q_w, \text{ год}. \quad (4.15)$$

Розраховуємо систему аерації. В аеротенках-витискувачах аератори розташовують нерівномірно, відповідно до зниження забруднень. Обирається пневматична система аерації з дрібнобульбашковими аераторами.

Визначається питома витрата повітря,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ :

$$q_{air} = q_0 \times (L_{en} - L_{ex}) / (K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_T \times (C_a - C_0)), \quad (4.16)$$

де  $q_0$  – питома витрата кисню повітря, мг на 1 мг знятої БПК<sub>повн</sub>, обирається: під час очищення до  $L_{ex.}=15-20\text{мг/л} - 1,1$ ; під час очищення до  $L_{ex.}$  – більше 20 мг/л – 0,9;

$K_1$  – коефіцієнт, який враховує тип аератора, для середньобульбашкової і низьконапірної аерації обирають:  $K_1 = 0,75$ ; для дрібнобульбашкової аерації  $K_1$  залежить від співвідношення площ зони аерації і аеротенка  $f_{az} / f_{at}$  (за табл. 4.3).

Для попереднього розрахунку в аеротенку обираємо два ряди аераторів, які займають у плані смугу шириною приблизно 1,5 м, що відповідає співвідношенню  $1,5 / 6 = 0,25$ . Коефіцієнт  $K_1$  при цьому буде складати 1,79 (табл. 4.3).

$K_2$  – це коефіцієнт, який залежить від глибини занурення аераторів  $h_a$ , знаходиться за таблицею 4.4. При цьому  $H_a = H_{atv} - 0,3, \text{ м}$ .

Таблиця 4.2 – Основні параметри типових аеротенків-витискувачів

Ширина коридора, $B_{atv}$ , м	Робоча глибина аеротенку, $H_{atv}$ , м	Кількість коридорів, м	Робочий об'єм однієї секції, м <sup>3</sup> , із довжиною, м						Кількість рядів аераторів від 1-го корид. до 4-го	Номер типового проекту
			32–42	48–54	60–66	72–78	84–90	96–102		
4,5	3,2	2	1 040–1 213	1 386–1 559	1 732	–	–	–	2 + 1	902-2-195
		3	1 560–1 820	2 080–2 340	2 600	–	–	–	2 + 1 + 1	902-2-192
		4	2 070–2 416	2 762–3 108	3 494–3 200	–	–	–	2 + 2 + 1 + 1	902-2-178
4,5	4,4	2	1 420–1 658	1 896–2 134	2 372	–	–	–	2 + 1	902-2-195
		3	2 140–2 496	2 852–3 208	3 564	–	–	–	2 + 1 + 1	902-2-192
		4	2 850–3 325	3 800–4 275	4 750–5 225	–	–	–	2 + 2 + 1 + 1	902-2-178
6,0	4,4	2	–	2 530–2 847	3 154–3 471	3 788	–	–	2 + 2	902-2-196
		3	–	3 800–4 275	4 750–5 225	5 700	–	–	3 + 2 + 1	902-2-193
		4	–	5 700	5 334–6 968	7 602–8 230	8 870–9 504	–	3 + 2 + 2 + 1	902-2-179
6,0	5,0	2	–	2 880–3 240	3 600–3 960	4 320	–	–	2 + 2	902-2-196
		3	–	4 320–4 860	5 400–5 940	6 480	–	–	3 + 2 + 1	902-2-193
		4	–	6 500	7 220	8 666–9 380	10 100	–	3 + 2 + 2 + 1	902-2-179
9,0	4,4	2	–	–	–	6 180	6 655–7 130	7 505–7 980	3 + 2	902-2-197
		3	–	–	–	9 270	9 983–10 696	11 409–12 122	3 + 3 + 2	902-2-194
		4	–	–	–	–	13 300–14 250	15 200–16 150	3 + 3 + 2 + 2	902-2-180
9,0	5,0	2	–	–	–	7 020	7 560–8 100	8 640–9 180	3 + 2	902-2-197
		3	–	–	–	10 530	11 340–12 150	12 960–13 770	3 + 3 + 2	902-2-194
		4	–	–	–	–	15 120–16 200	17 280–18 360	3 + 3 + 2 + 2	902-2-180

Таблиця 4.3 – Значення коефіцієнта  $K_1$ 

$f_{az}/f_{at}$	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
$J_{a,max}, M^3/(M^2 \times \text{ГОД})$	5	10	20	30	40	50	75	100

Таблиця 4.4 – Значення коефіцієнта  $K_2$ 

$H_a, m$	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
$J_{a,max}, M^3/(M^2 \times \text{ГОД})$	48	42	38	32	28	24	4	3,5	3	2,5

$K_3$  – це коефіцієнт якості води, для міських стічних вод, що дорівнює 0,85.

$K_T$  – коефіцієнт, який враховує температуру стічних вод:

$$K_T = 1 + 0,02 \times (T_w - 20), \quad (4.17)$$

де  $T_w$  – літня температура стічних вод, обирається рівною 21 °С;

$C_a$  – розчинність кисню в стічній воді, мг/л:

$$C_a = (1 + h_a / 20,6) \times C_T, \quad (4.18)$$

де  $C_T$  – розчинність кисню в чистій воді залежно від температури і атмосферного тиску, обирається за таблицею 4.5 (за температури стічних вод  $T_w = 21$  °С розчинність кисню в чистій воді складає  $C_T = 8,99$  мг/л);

$h_a$  – глибина занурення аератора, м.

$C_0$  – середня концентрація кисню в аеротенку, мг/л; у першому наближенні допускається приймати 2 мг/л.

Таблиця 4.5 – Залежність розчинності кисню,  $C_T$ , у 1 л чистої води від температури,  $T_w$ , із тиском 760 мм рт. ст.

$T_w, ^\circ C$	$C_T, \text{мг/л}$	$T_w, ^\circ C$	$C_T, \text{мг/л}$
10	11,33	18	9,64
11	11,08	19	9,35
12	10,83	20	9,17
13	10,60	21	8,99
14	10,37	22	8,83
15	10,15	23	8,68
16	9,95	24	8,55
17	9,74	25	8,38

Витрата повітря розраховується на забезпечення потреби в кисні у години максимального припливу рідини в аеротенк:

$$Q_{\text{air}} = q_w \times q_{\text{air}} = \text{м}^3/\text{год.} \quad (4.19)$$

Обираємо пневматичні аератори – диспергатори повітря. Обираємо трубчастий аератор АКВА-ЛАЙН.

Трубчасті аератори складаються з опірною каркасу циліндричної форми і покриття, яке виконує роль диспергатора, з просвітом між ними. Диспергатор, АКВА-ЛАЙН виконується у вигляді циліндричної оболонки з поруватого поліетилену, яка забезпечує дрібнобульбашкову аерацію з найбільшою витратою повітря і найбільшою ефективністю створення кисню.

Визначаємо N, необхідну кількість аераторів АКВА-ЛАЙН

$$N = Q_{\text{air}} / Q_{\text{ма}}, \quad (4.20)$$

де  $Q_{\text{air}}$  – необхідна розрахункова витрата повітря,  $\text{м}^3/\text{год}$  (4.19);

$Q_{\text{ма}}$  – витрата повітря на один аератор, обираємо  $20 \text{ м}^3/\text{год}$  (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Технічні характеристики пневматичних аераторів

Тип аератора	Довжина, м/діаметр, м	Оптимальна витрата повітря на аератор, $Q_{\text{ма}}$ , $\text{м}^3/\text{год}$	SOTE на глибину занурювання 1 м, %	Опір в оптимальному режимі, кПа
АКВА-ЛАЙН	(1–2) / 0,13	14–20	5,9–6,1	1,2–1,6
АКВА-ПРО	(1–2) / 0,13	12–16	5,6–5,8	1,5–2,1
Трубчасті:				
– мембранні	(0,5–1) / (0,06–0,08)	2–10	5,6–7,4	3,5–5,5
– керамічні	(0,6–0,8) / 0,07	1–6	6,3–6,6	2,0–3,0
Дискові:				
– поруваті				
– керамічні	– / (0,26–0,29)	2–4	5,8–7,6	2,0–3,0
– мембранні	– / (0,17–0,52)	2–8	4,5–7,2	2,5–4,8
Купольні	– / 0,18	0,8–3,4	5,9–8,5	2,0–3,0

Уточнимо необхідну кількість аераторів,  $N_{ma}$ , із розрахунком їхньої продуктивності: один метр аератора АКВА-ЛАЙН забезпечує 3 м<sup>2</sup> площі аеротенка дрібнобульбашковою аерацією. Звідси

$$N_{ma} = l_{atv} \times n_{at} \times V_{atv} \times m_{at} / 3, \quad (4.21)$$

що незначно відрізняється від розрахунку (4.20).

Кількість аераторів у регенераторах і на першій половині довжини аеротенків-витискувачів слід необхідно обирати більшим, ніж на решті довжини аеротенків.

### Розрахунок вторинного відстійника

Розрахунок вторинних відстійників здійснюється за гідравлічним навантаженням, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> × год.), яке визначається за формулою

$$q_{ssa} = 4,5 \times K_{ssa} \times H_{ssa}^{0,8} / (0,1 \times J_i \times a_i)^{0,5-0,01 \cdot at}, \quad (4.22)$$

де  $K_{ssa}$  – коефіцієнт використання проточної частини відстійника, що обирається за таблицею 4.7;

$H_{ssa}$  – глибина проточної частини відстійника;

$J_i$  – муловий індекс, визначений попередньо під час розрахунку аеротенка, см<sup>3</sup>/г;

$a_i$  – доза активного мулу в аеротенку, обрана під час розрахунку аеротенка ( $a_i = 3$  г/л);

$a_t$  – винесення завислих речовин із вторинних відстійників, мг/л.

Таблиця 4.7 – Основні параметри різних типів відстійників

Тип відстійника	Коефіцієнт використання об'єму проточної частини відстійників		Глибина проточної частини відстійника, Н, м	Ширина, В, м	Нахил днища до мулового прямокутника
	первинного $K_{Set}$	вторинного $K_{SSA}$			
Горизонтальний	0,50	0,45	1,5–4,0	(2–5) Н	0,005–0,05
Радіальний	0,45	0,40	1,5–5,0	–	0,001–0,003
Вертикальний	0,35	0,35	2,7–3,8	–	50 <sup>0</sup> до горизонталі

Далі розраховується потрібна загальна площа,  $F_{ssa}$ , вторинних відстійників:

$$F_{ssa} = q_w \cdot (1 + R_i) / q_{ssa}, \text{ м}^2. \quad (4.24)$$

Діаметр вторинного відстійника,  $D_{ssa}$ , обирається рівним діаметру первинного,  $D_{set}$ , і визначається кількість,  $n_{ssa}$ , вторинних відстійників:

$$n_{ssa} = F_{ssa} / f_{ssa} = 4 \cdot F_{ssa} / (\pi \cdot D_{ssa}^2), \quad (4.25)$$

де  $f_{ssa}$  – площа одного вторинного відстійника.

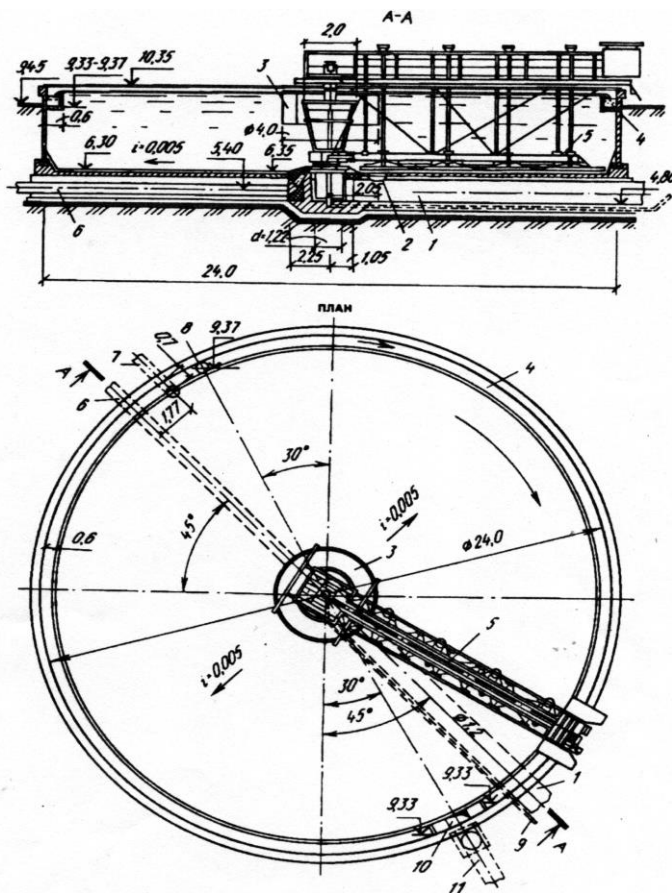


Рисунок 4.2 – Вторинний радіальний відстійник зі збірного залізобетону:

- 1 – підвідний трубопровід; 2 – люк-лаз; 3 – металевий розподільчий кожух;
- 4 – збірний жолоб; 5 – усмоктувач мулу; 6 – трубопровід зворотного мулу;
- 7 – трубопровід спорожнення; 8 – сенсори рівня мулу; 9 – труба для електрокабелю;
- 10 – випускна камера; 11 – відвідний трубопровід

Середня горизонтальна швидкість у вторинних відстійниках не повинна перевищувати 5 мм/с.

Необхідно перевірити фактичну середню горизонтальну швидкість у проточній частині відстійника в перерізі на половині радіуса:

$$V_{\phi} = 2 \cdot q_w \cdot (1 + R_i) / (3,6 \cdot \pi \cdot D_{ssa} \cdot H_{ssa} \cdot K_{ssa} \cdot n_{ssa}), \text{ м/с.} \quad (4.26)$$

Активний мул, який осів у зоні відстійника, виводиться самопливом під гідростатичним тиском через усмоктувач мулу.

Концентрація активного мулу, що виводиться зі вторинних відстійників, дорівнює дозі мулу в регенераторі і складає  $a_r = 8 \text{ г/л}$  (вологість  $P_1 = 99,2 \%$ ).

Приріст активного мулу  $P_i$  за сухою речовиною складає

$$P_i = 0,8 \times C_{cdp} + K_g \times L_{en}, \text{ мг/л,} \quad (4.27)$$

де  $C_{cdp}$  – концентрація завислих речовин у стічній воді, яка надходить в аеротенк, мг/л;

$K_g$  – коефіцієнт приросту активного мулу, який для міських стічних вод складає 0,3;

$L_{en}$  – значення БПК<sub>повн</sub> у стічних водах, які надходять на біологічне очищення, мг/л.

Об'єм надлишкового активного мулу

$$\Omega_{\text{мул.надл.}} = P_i \times q_w \times 10^2 \times 10^{-6} / (100 - P_1), \text{ м}^3/\text{год.} \quad (4.28)$$

де  $P_1$  – вологість активного мулу,  $P_1 = 99,2 \%$ .

Кількість зворотного (циркулюючого) активного мулу складає 0,3 від розрахункової для аеротенків витрати ( $R_i = 0,3$ ):

$$\Omega_{\text{мул.зв.}} = 0,3 \times q_w, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (4.29)$$

Обираємо вторинні відстійники за таблицею 4.8.

Таблиця 4.8 – Основні параметри типових радіальних вторинних відстійників

Типовий проект	Діаметр відстійника, $D_{ssa}$ , м	Загальна глибина відстійника, $H_{ssa}$ , м	Глибина проточної частини відстійника, $H_{ssaA}$ , м	Висота мулової зони, м	Діаметр трубопроводу, мм		Об'єм зони, м <sup>3</sup>		Пропускна здатність, м <sup>3</sup> /год, за часом відстоювання 2,0 год
					підвідного	відвідного	мулової	проточної	
902-2 - 87/76	18	3,7	3,1	0,6	800	500	160	788	525
902-2 - 89/75	24	3,7	3,1	0,6	1 200	700	280	1 400	933
902-2 - 89/75	30	3,7	3,1	0,6	1 400	900	440	2 190	1 460
902-2 - 90/75	40	4,35	3,65	0,7	2 000	1 200	915	4 580	3 053
902-2 - 90/75	50	5,3	4,60	0,7	2 500	1 200	1 380	9 020	5 989

### Питання для самоконтролю

1. У яких випадках необхідно проектувати аеротенки з регенерацією?
2. Для чого потрібна подача стисненого повітря в аеротенки?
3. Як здійснюють аерацію стічних вод у аеротенках?
4. Яке призначення мають вторинні відстійники після аеротенків?
5. Охарактеризуйте осадки, що утворюються під час біологічного очищення стічних вод.
6. Чому дорівнює час відстоювання рідини у вторинних відстійниках після аеротенків?

## Практичне заняття № 5

### Знезараження стічних вод

**Мета заняття:** набути навичок розрахунку та підбору споруд для знезараження стічних вод.

Найбільше розповсюдження отримало хлорування, тобто додавання у стічну воду хлору. Установа для хлорування стічної води містить хлораторну, змішувач, контактні резервуари.

Кількість активного хлору (кг/год), потрібного для дезінфекції стічної води після повного біологічного очищення, з урахуванням можливості збільшення розрахункової дози хлору в 1,5 рази і з дозою активного хлору  $a = 3$  г/м<sup>3</sup> визначаємо за такою формулою:

$$V_{Cl} = \frac{1,5 \cdot 3 \cdot Q_{max}}{1\,000}, \text{ кг/год.} \quad (5.1)$$

Додавання хлору в стічну воду здійснюється за допомогою спеціального апарата – хлоратора, продуктивністю  $V_{Cl}$ , кг/год.

До хлораторної входять: хлордозаторна, насосна, склад і допоміжні приміщення.

За таблицею 5.1 підбираємо хлораторну заданої продуктивності.

Таблиця 5.1 – Продуктивність хлораторних

Продуктивність хлораторної $V_{Cl}$ , кг/год	Місткість складу хлораторної, т	Тара для доставки рідкого хлору
2	1,1	Балони
5	3,6	Балони
12,5	10,0	Контейнери
25	18,0	Контейнери
50	36	Залізничні цистерни з розливом у
100	42	контейнери на базисних складах

## Підбір змішувача «Лоток Паршалья»

Хлор, який додається до стічної води, повинен бути ретельно перемішаний з нею. Із хлораторної хлорна вода по поліетиленових або вінілпластових трубах подається у змішувач зі стічною водою. Для витрат стічних вод більше 1 400 м<sup>3</sup>/добу і до 280 000 м<sup>3</sup>/добу застосовують змішувачі типу «Лоток Паршалья».

За добовою витратою за таблицею 5.2 підбираємо змішувач «Лоток Паршалья» з відповідною пропускною здатністю.

Таблиця 5.2 – Основні характеристики лотків Паршалья

Пропускна здатність змішувача, Q, м <sup>3</sup> /добу	Ширина горловини, мм	Ширина підвідного лотка, Мм	Загальна довжина змішувача, м	Довжина лотка, м	Втрати напору, м
1 400–4 200	230	300	7,17	5,85	0,1
4 200–7 000	230	450	9,47	5,85	0,14
7 000–32 000	500	600	13,63	6,1	0,2
32 000–80 000	1 000	900	13,97	6,6	0,26
80 000–160 000	1 000	1 200	14,97	6,6	0,34
160 000–280 000	1 500	1 500	15,3	7,1	0,35

## Розрахунок контактних резервуарів

Для процесу знезараження необхідна тривалість контакту стічної рідини з хлорною водою протягом 30 хв, після чого кількість залишкового хлору повинна бути не меншою за 1,5 г/м<sup>3</sup>.

Тривалість контакту хлору із стічною водою в резервуарі:

$$t = 30 - l / (v \times 60), \text{ год}, \quad (5.2)$$

де  $l$  – відстань від очисних споруд до місця випуску стічних вод, м;

$v$  – швидкість течії стічної води в трубопроводах, обирається  $v = 0,8$  м/с.

Робочий об'єм контактних резервуарів розраховується таким чином:

$$W_{\text{к.р.}} = q_w \times t, \text{ м}^3. \quad (5.3)$$

Контактні резервуари проєктують як первинні відстійники без скребачок; кількість резервуарів – не менше двох. Після підрахунку об'єму підбираються контактні резервуари за типом горизонтальних відстійників.

Зі швидкістю руху стічних вод у контактних резервуарах, що складає 10 мм/с, довжина резервуара розраховується й обирається кратною трьом:

$$L = V \cdot t, \text{ м.} \quad (5.4)$$

Площа поперечного перерізу розраховується таким чином:

$$\omega = W_{\text{к.р.}} / L, \text{ м}^2. \quad (5.5)$$

Із глибиною  $H = 2,8$  м (типовий проєкт) і шириною кожної секції  $b = 6$  м кількість секцій складатиме:

$$N = \omega / (b \times H). \quad (5.6)$$

Осад виводиться один раз за 5–7 діб. Кількість осаду складає:

$$\Omega_{\text{к.р.}} = a \times Q_{\text{доб}} / 1\,000, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (5.7)$$

де  $a$  – питома кількість осаду, який випадає в контактних резервуарах,  $a = 0,5$  л на  $1 \text{ м}^3$ .

Осад спрямовуємо у метантенки.

### Питання для самоконтролю

1. Які методи застосовують для знезараження стічних вод?
2. Як здійснюють додавання хлору в стічну воду з метою її знезараження?
3. Яка необхідна тривалість контакту стічної рідини з хлорною водою?
4. Яку дозу активного хлору,  $\text{г}/\text{м}^3$ , застосовують для дезінфекції стічної води після повного біологічного очищення?
5. Яка вологість, %, і питома кількість осаду,  $\text{л}/\text{м}^3$ , який випадає у контактних резервуарах?
6. Назвіть переваги знезараження стічних вод УФ-випромінюванням порівняно із хлором?

## Практичне заняття № 6

### Обробка осаду стічних вод. Знешкодження осадів

**Мета заняття:** набути навичок розробки схеми обробки осаду стічних вод та розрахунку основних споруд (мулоущільнювачів).

#### Схема обробки осаду стічних вод

Осад затримується на решітках, у пісковловлювачах, у первинних відстійниках, у вторинних відстійниках, у контактних резервуарах.

Об'єм осадів, які утворюються на міській очисній станції, становить 0,5–1,0 % витрати стічних вод, які оброблюються.

Затримані на решітках крупні забруднення можуть вивозитися на звалища або після подрібнення спрямовуватися до метантенків чи в голову споруд.

Пісок, який випадає в піскоуловлювачах, зневоднюється на піскових майданчиках або піскових бункерах.

До основних видів осадів, які підлягають багатоступінчавій і коштовній обробці, належать:

– сирий осад із первинних відстійників, який є суспензією неоднорідного складу, органічна частина якої становить 75–80 %, вологість – 93,5–96 %;

– активний мул з вторинних відстійників, який має відносно однорідний склад, більше 98 % часток мулу мають крупніють менше 1 мм (його органічна частина становить 70–75 %, вологість дорівнює 99,2–99,6 %).

Ущільнення надлишкового мулу здійснюється в мулоущільнювачах за рахунок сил гравітації.

Осад контактних резервуарів спрямовується на обробку або в метантенки, або на мулові майданчики.

Високі концентрації органічних речовин спричиняють здатність сирого осаду і активного мулу швидко загнитися, а висока бактеріальна забрудненість і наявність яєць гельмінтів спричиняє небезпеку виникнення інфекції. До того ж висока вологість осаду ускладнює його транспортування. Тому необхідно:

– знешкодження сирого осаду і активного мулу для запобігання процесу їх гниття;

– збезводнення зброженого (стабілізованого) осаду та наступна його утилізація в сільському господарстві або будівництві.

Зброджування сирого осаду та надлишкового мулу здійснюється в анаеробних умовах, у метантенках або в аеробних умовах в аеробних стабілізаторах. Важливою особливістю розпаду органічних речовин у метантенку є виділення біогазу. З економічної точки зору вигідніше зброджувати у метантенках сирий осад, а в аеробних мінералізаторах – надлишковий мул. Це призводить до значного скорочення об'єму метантенків та дозволяє повністю забезпечити їх теплом за рахунок спалювання утвореного газу.

Для використання осаду в народному господарстві необхідне його зневоднення. Найбільш простий та розповсюджений спосіб зневоднення є підсушування осаду в природних умовах на мулових майданчиках. При цьому вологість зменшується до приблизно 80 %, об'єм і маса – у 4–5 разів. Осад втрачає текучість і може транспортуватися.

### Розрахунок мулоущільнювачів

Для ущільнення надлишкового мулу застосовують радіальні мулоущільнювачі гравітаційного типу. Їхня конструкція аналогічна конструкції відстійника. Зазвичай обирають два робочі мулоущільнювачі.

Радіальні мулоущільнювачі розраховуються на максимальну годинну витрату надлишкового активного мулу:

$$\Omega_{\max} = \frac{P_{\max} q_{\max}}{24 \cdot c}, \text{ м}^3/\text{Год}; \quad (6.1)$$

$$P_{\max} = K_M \cdot (P_i - b), \text{ м}^3 \quad (6.2)$$

де  $P_i$  – приріст мулу, що обирається залежно від ступеня очищення стічних вод, мг/л;

$c$  – концентрація надлишкового активного мулу: з вологістю 99,2 % = 8 000 г/м<sup>3</sup>;

$K_M$  – коефіцієнт місячної нерівномірності приросту мулу, обирається 1,15.

Приплив за середню добу, м<sup>3</sup>/добу:

$$\Omega_{\text{доб}} = \frac{P_{\text{max}} q_{\text{доб}}}{c}, \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (6.3)$$

Корисна площа поперечного перерізу, м<sup>2</sup>:

$$F_{\text{КОР}} = \frac{\Omega_{\text{max}}}{q_0}, \text{ м}^2, \quad (6.4)$$

де  $q_0$  – розрахункове навантаження на площу ущільнювального дзеркала, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год), обираємо залежно від концентрації мулу, що надійшов на ущільнення (у разі 8 г/л маємо  $q_0 = 0,3$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год)).

Діаметр одного мулоущільнювача, м:

$$D = \sqrt{\frac{4F_{\text{КОР}}}{\pi \cdot n}} \text{ м}. \quad (6.5)$$

де  $n$  – кількість мулоущільнювачів.

Висота робочої зони радіального мулоущільнювача, м:

$$H = q_0 \cdot t, \text{ м} \quad (6.6)$$

де  $t$  – тривалість ущільнення, 11 год.

Загальна висота ущільнювача, м:

$$H_i = H + h + h_0 = 3,3 + 0,7 + 0,4 = 4,4 \text{ м}.$$

де  $h$  – висота зони залягання мулу та розташування муловсмоктувача,  $h = 0,7$  м;

$h_0$  – відстань від рівня води до верху споруди 0,3–0,5 м.

Кількість рідини, що відокремлюється в процесі ущільнення мулу, м<sup>3</sup>/год:

$$q_P = \Omega_{\text{max}} \frac{P_{\text{en}} - P_{\text{ex}}}{100 - P_{\text{ex}}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (6.7)$$

де  $P_{\text{en}}$  – вологість мулу, що надходить на ущільнення 99,2 %;

$P_{\text{ex}}$  – вологість ущільненого мулу 97,3 %.

Годинна витрата ущільненого мулу, м<sup>3</sup>/год:

$$\Omega_{\text{di}} = \Omega_{\text{max}} \frac{100 - P_{\text{en}}}{100 - P_{\text{ex}}}, \text{ м}^3/\text{год}. \quad (6.8)$$

Добова витрата ущільненого мулу, м<sup>3</sup>/год:

$$\Omega_{\text{di.доб}} = \Omega_{\text{доб}} \frac{100 - P_{\text{en}}}{100 - P_{\text{ex}}}, \text{ м}^3/\text{год}.$$

Випуск ущільненого мулу проводиться постійно під гідростатичним напором 0,5–1 м. Мулова вода, що відокремилася в процесі ущільнення, прямує на біологічну очистку.

### **Питання для самоконтролю**

1. На яких спорудах станції очищення стічних вод утворюються осади?
2. Які існують методи обробки осадів?
3. З якою метою здійснюють ущільнення осадів?

## Практичне заняття № 7

### Метантенки та газгольдери

**Мета заняття:** набути навичок розрахунку та підбору метантенків та газгольдерів.

#### Розрахунок метантенків

Для анаеробного зброджування суміші осадових речовин із первинних відстійників, надлишкового активного мулу, осаду з контактних резервуарів, подрібнених залишків після ґрат використовуємо метантенки як найбільш досконалі споруди.

Розрахунок метантенків полягає у визначенні необхідного їхнього об'єму залежно від кількості сирого осаду й надлишкового активного мулу, в обчисленні кількості утвореного газу, а також об'єму газгольдерів, призначених для зберігання газу.

У метантенках процес бродіння опадів супроводжується розпадом беззольної речовини разом із виділенням продуктів розпаду у вигляді газу та мулової води.

Витрата беззольної сухої речовини сирого осаду  $O_{\text{сух}}$  та активного мулу  $M_{\text{сух}}$  (т/добу), розраховуємо за такими формулами:

$$O_{\text{сух}} = C_{\text{ен}} \cdot E \cdot K \cdot Q / 10^6, \text{ т/добу}, \quad (7.1)$$

$$M_{\text{сух}} = n(0,8C_{\text{ен}}(1 - E) + \alpha L_{\text{ен}} - b)Q / 10^6, \text{ т/добу}, \quad (7.2)$$

де  $C_{\text{ен}}$  – початкова концентрація завислих речовин, мг/л;

$E$  – ефект затримання завислих речовин у первинних відстійниках, частини одиниці;

$K$  – коефіцієнт, що враховує збільшення обсягу осаду за рахунок великих фракцій завислих речовин,  $K = 1,1$ ;

$Q$  – середній приплив стічних вод на очисну станцію, м<sup>3</sup>/добу;

$n$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність приросту активного мулу  $n = 1,15$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт приросту активного мулу 0,3, попередньо поданий як  $R_i = 0,3$ ;

$b$  – винесення активного мулу з вторинних відстійників  $b = C_{ex}$ , мг/л.

Витрата беззольної речовини осаду  $O_{бз}$  та надлишкового активного мулу  $M_{бз}$ , т/добу:

$$O_{бз} = Q_{сух}(100 - B_{Г})(100 - Z_{ос})/10^4, \text{ т/добу}, \quad (7.3)$$

$$M_{бз} = M_{сух}(100 - B_{Г})(100 - Z_{мул})/10^4, \text{ т/добу}, \quad (7.4)$$

де  $B_{Г}$  і  $B_{Г}$  – гігроскопічна вологість відповідно сирого осаду та надлишкового активного мулу, що дорівнює 5 % і 6 %;

$Z_{ос}$  і  $Z_{мул}$  – зольність сухої речовини сирого осаду та надлишкового активного мулу, що дорівнює 30 % та 25 %.

Витрата сирого осаду та надлишкового активного мулу, м<sup>3</sup>/добу

$$V_{ос} = \frac{100O_{сух}}{(100 - P_{туд})\rho_{ос}}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (7.5)$$

$$V_{мул} = \frac{100M_{сух}}{(100 - P_{ex})\rho_{ил}}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (7.6)$$

де  $P_{туд}$  – вологість сирого осаду, %;

$\rho_{ос}$  і  $\rho_{мул}$  – щільність осаду та активного мулу відповідно, може вважатися рівною 1;

$P_{ex}$  – вологість ущільненого активного мулу дорівнює 97,3 %.

Загальну витрату сирого осаду та надлишкового активного мулу визначаємо:

– за сухою речовиною, т/добу

$$\Omega_{сух} = O_{сух} + M_{сух}, \text{ т/добу}; \quad (7.7)$$

– за беззольною речовиною, т/добу

$$\Omega_{бз} = O_{бз} + M_{бз}, \text{ т/добу}; \quad (7.8)$$

– за обсягом суміші, т/добу

$$\Omega_{заг} = V_{ос} + V_{мул}, \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (7.9)$$

Середню вологість суміші сирого осаду і активного мулу визначаємо:

$$P_{mt} = 100 \left( 1 - \frac{\Omega_{сух}}{\Omega_{заг}} \right), \%. \quad (7.10)$$

Середня зольність абсолютно сухої речовини суміші сирого осаду і активного мулу

$$Z_{\text{сул}} = 100 \left( 1 - \frac{\Omega_{\text{бз}}}{O_{\text{сул}} \frac{100 - B_{\Gamma}}{100} + M_{\text{сул}} \frac{100 - B_{\Gamma}}{100}} \right), \% \quad (7.11)$$

Під час вибору режиму зброджування потрібно мати на увазі, що термофільний процес закінчується у два рази швидше мезофільного й забезпечує повну дегельмінтизацію осаду, але потребує додаткової витрати палива на підігрів метантенків, зброджений осад складніше віддає воду у разі його збезводнення.

Об'єм метантенків, м<sup>3</sup>:

$$W_{\text{mt}} = \frac{\Omega_{\text{зар}} \cdot 100}{D_{\text{mt}}}, \text{ м}^3. \quad (7.12)$$

де  $D_{\text{mt}}$  – добова доза завантаження метантенки осаду, визначаємо її залежно від режиму зброджування і середньої вологості суміші (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Визначення добової дози завантаження в метантенк осаду  $D_{\text{mt}}$  залежно від середньої вологості суміші  $P_{\text{mt}}$  і режиму зброджування

Режим зброджування	Добова доза завантаження у метантенк осаду $D_{\text{м}}$ , %, із вологістю завантаженого осаду $P_{\text{м}}$ , %, не більше				
	93	94	95	96	97
Мезофільний	7	8	8	9	10
Термофільний	14	16	17	18	19

Знаючи  $W_{\text{mt}}$ , підбираємо типовий метантенк за таблицею 7.2.

Таблиця 7.2 – Розміри метантенків залежно від корисного об'єму

Діаметр, м	Корисний об'єм одного резервуара, $W_m$ м <sup>3</sup>	Висота, м		
		верхнього конуса	циліндричної частини	нижнього конуса
10	500	1,45	5,0	1,70
12,5	1 000	1,90	6,5	2,15
15	1 600	2,35	7,5	2,60
17,5	2 500	2,20	8,5	3,05
20	4 000	2,90	10,6	3,50

## Розрахунок виходу біогазу та розмірів газгольдерів

Процес бродіння осадів у метантенках супроводжується розпадом беззольної речовини з виділенням продуктів розпаду в газ і мулову воду.

Для збирання, зберігання й подальшого використання газу використовують газгольдери.

Розпад беззольної речовини в завантаженому в метантенк осаді залежно від дози завантаження  $D_{mt}$  визначаємо за такою формулою:

$$R_r = R_{lim} - K_r D_{mt}, \% \quad (7.13)$$

де  $R_{lim}$  – межа розпаду осаду, %, що залежить від його хімічного складу (за браком даних про хімічний склад осаду допускається обирати межі розпаду сирого осаду  $a_o = 53$  % й активного мулу  $a_{mul} = 44$  %);

$K_r$  – коефіцієнт, залежно від вологості осаду  $P_{mt}$  та режиму зброджування (обираємо за табл. 7.3).

$$R_{lim} = \frac{a_o O_{бз} + a_{mul} M_{бз}}{\Omega_{бз}}, \% \quad (7.14)$$

Таблиця 7.3 – Значення коефіцієнта  $K_r$

Режим зброджування	Значення коефіцієнта $K_r$ із вологістю завантаженого осаду, %				
	93	94	95	96	97
Мезофільний	1,05	0,89	0,72	0,56	0,40
Термофільний	0,455	0,385	0,31	0,24	0,17

Кількість газу, що вийшов під час зброджування осаду, обирається  $1 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ кг}$  беззольної речовини, що розпалася (щільність газу дорівнює 1):

$$y = \frac{R_{lim} - K_r D_{mt}}{100}, \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (7.15)$$

Сумарна витрата газу

$$\Gamma = y \cdot \Omega_{бз} \cdot 1000, \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (7.16)$$

Для вирівнювання тиску газу газової мережі передбачаємо мокрі газгольдери, ємність яких розраховуємо на 4 години. Вихід газу

$$W_\Gamma = \frac{\Gamma \cdot t}{24}, \text{ м}^3. \quad (7.17)$$

За таблицею 7.4 підбираємо типові газгольдери.

Таблиця 7.4 – Основні дані й типові проекти газгольдерів

Номер типового проекту	Об'єм газгольдера, $W_r$ , $m^3$	Внутрішній діаметр, мм		Висота, мм			Витрата металу, т
		резервуара	купола	газгольдера	резервуара	купола	
7-07-01/66	100	7 400	6 600	7 450	3 450	3 400	14,0
7-07-02/66	300	9 300	8 500	12 500	5 920	6 880	25,0
7-07-03/66	600	11 480	10 680	15 400	7 390	7 610	41,4
7-07-2-5	1 000	14 500	13 700	15 400	7 390	7 610	53,0
7-07-2-6	3 000	21 050	20 250	20 100	9 800	9 900	126,0
7-07-2-7	6 000	26 900	26 100	24 200	11 750	12 050	192,0

Перевіряємо тривалість зберігання газу, год:

$$t = \frac{W_{24}}{\Gamma}, \text{ год.} \quad (7.18)$$

#### Питання для самоконтролю

1. Фази й продукти зброджування осадів під час анаеробного оброблення.
2. Назвіть види осадів стічних вод. Дайте характеристику складу та властивостей осадів стічних вод.

## Практичне заняття № 8

### Зневоднення осадів. Генплан очисної станції

**Мета заняття:** набути навичок компоновання плану очисних споруд.

#### Розрахунок мулових майданчиків

**Завдання.** Розрахувати мулові майданчики (рис. 8.1) після стабілізації осаду в метантенках, якщо передбачається механічне зневоднення осаду.

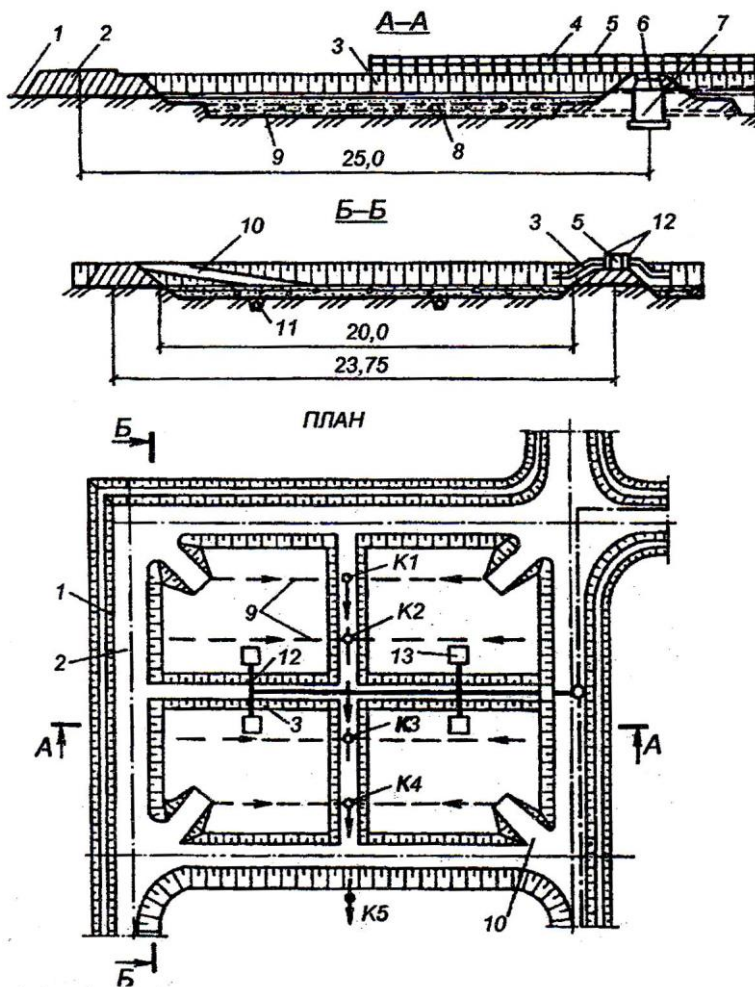


Рисунок 8.1 – Мулові майданчики:

- 1 – кювет огорожувальної канави; 2 – дорога;
- 3 – зливний лоток;
- 4 – бруски, які підтримують розвідний лоток;
- 5 – розвідний лоток;
- 6 – дренажний колодязь;
- 7 – збірна дренажна труба;
- 8 – дренажний шар;
- 9 – дренажні труби;
- 10 – з'їзд на карту;
- 11 – дренажна канава; 12 – шибери; 13 – щит під зливним лотком; К-1 і К-2 – колодязі

Під час проектування механічного зневоднення осаду необхідно передбачати аварійні мулові майданчики на 20 % річної кількості осаду.

Обираємо за спосіб зневоднення осаду сушку на мулових майданчиках з природною основою і дренажем.

Корисна площа майданчиків

$$F = \frac{W_{\text{tat}} 365}{hk}, \text{ м}^2 \quad (8.1)$$

де  $W_{\text{tat}}$  – кількість збродженого осаду, що надходить із метантенків та з контактних резервуарів, м<sup>3</sup>/доб;

$h$  – навантаження осаду на мулові майданчики, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>, у разі збродженої в мезофільних умовах суміші та майданчиків із природною основою з дренажем,  $h = 1,5 \text{ м}^3/\text{м}^2$ ;

$K$  – кліматичний коефіцієнт (для Харківської області  $K = 1,1$ ).

Додаткова площа мулових майданчиків, що займається дорогами, канавами

$$F_{\text{доо}} = K_1 F, \text{ м}^2, \quad (8.2)$$

де  $K_1 = 0,3$  – коефіцієнт, що враховує 30 % площі на улаштування доріг, валиків.

Загальна площа мулових майданчиків:

$$F_{\text{заг}} = F + F_{\text{доо}}, \text{ м}^2. \quad (8.3)$$

Мулові майданчики перевіряються на зимове наморозження за кількістю днів із температурою нижче 10 °С.

Висота шару наморозження залежить від кліматичних умов і визначається:

$$h = \frac{W_{\text{tat}} t K_3}{FK_\alpha}, \text{ м}, \quad (8.4)$$

де  $t$  – період наморозження 50 діб;

$F$  – корисна площа мулових майданчиків, м<sup>2</sup>;

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує частину площі, що відводиться під зимове замороження (80 %),  $K_2 = 0,8$ ;

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує зменшення об'єму осаду внаслідок зимової фільтрації та випаровування  $K_3 = 0,75$ .

$$h = 1, \text{ м}.$$

Дренаж на мулових майданчиках виконується з гончарних труб  $d = 75$  мм. Труби укладаються в траншеї шириною 1 м, заповнені щебнем чи гравієм

крупністю 2–6 см. Відстань між дренажними трубами 6 м, нахил  $i = 0,003$ . Мулова вода відводиться на початок очисних споруд.

Об'єм підсушеного осаду (вологість 80 %) за рік

$$W_n = W_{tot} 365 \frac{100 - P_{mt}}{100 - 80}, \text{ м}^3 \quad (8.5)$$

Кількість карт у разі їхніх розмірів у плані 40 м × 55 м складає:

$$n = \frac{F}{BL}, \text{ карт}, \quad (8.6)$$

де  $B$  – ширина однієї карти, м;

$L$  – довжина однієї карти, м.

Прибирання підсушеного осаду здійснюється екскаватором із подальшим завантаженням на самоскиди.

### **Компонування генплану очисної станції**

Компонування генплану очисної станції розпочинається після виконання гідравлічних і технологічних розрахунків і визначення розмірів окремих споруд, їхніх елементів, перерізів, лотків і трубопроводів, що з'єднують споруди між собою. Паралельно з цим складають профіль за напрямком руху води й осадів.

Майданчик для станції очищення стічних вод потрібно вибрати з підвітряного боку для панівних вітрів теплого періоду року відносно житлової забудови й нижче населеного пункту за течією річки. Він повинен за можливості мати нахил, який забезпечує самопливний рух стічних вод по спорудах і відведення поверхневих вод.

Генеральний план очисної станції складають у масштабі 1 : 500 або 1 : 1 000. На генеральному плані очисних споруд указують розташування основних і допоміжних споруд, будинків, доріг, комунікацій різного призначення, озеленення території. На території станції розташовують також котельню, майстерні, насосну, повітродувну станції, склад хлору, прохідну, гараж, адміністративний корпус, лабораторію тощо.

У разі розміщення допоміжних споруд у плані потрібно зважати на те, що котельню зручно розмістити у центрі зони обслуговування теплоспоживачів, але не ближче 35 м від метантенків. Склад хлору повинен розміщуватися відповідно до максимальних розривів між ним і найближчими будівлями: від адміністративних та побутових будівель очисної станції не ближче 100 м; від виробничих будівель, у яких постійно знаходиться обслуговуючий персонал – 50 м; від виробничих будівель і споруд, у яких обслуговуючий персонал буває періодично – 30 м.

Генеральний план станції та висотну схему розташування очисних споруд (профілю по воді й осадів) необхідно скласти так, щоб забезпечувався самопливний рух води від однієї споруди до іншої. Рух за можливості осадів теж має бути самопливним.

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 та осадів із вторинних відстійників, біофільтрів у метантенки.

Із мулоущільнювачів ущільнений надлишковий активний мул самопливом спрямовується у приймальний резервуар насосної станції метантенків.

Розриви між окремими спорудами у разі їх розташування на місцевості з порівняно незначним нахилом можуть бути обрані такими:

- між групами однойменних споруд 2–3 м;
- групами різнойменних споруд 5–10 м;
- групами попереднього механічного очищення і біофільтрами (враховується насип 1 : 1) 15–20 м;
- між спорудами й муловими майданчиками (з урахуванням їх оточування деревами, пристроями для відведення поверхневих вод, під'їзними коліями, що підводять мул комунікаціями тощо) 25–30 м;
- між спорудами (залежно від їхнього обсягу) 20–50 м.

Під час компонування генплану очисних споруд необхідно дотримуватися таких положень.

Споруди повинні бути розташовані за можливості компактно. Необхідно домагатися максимального блокування споруд. Віддаленість окремих елементів станції один від одного ускладнює нагляд за ними експлуатаційного персоналу. Адміністративні приміщення, лабораторію необхідно зосередити в одному будинку, насосну станцію циркулюючого активного мулу потрібно об'єднати з будинком повітрорудної станції.

До кожної споруди повинен бути забезпечений вільний під'їзд транспорту (не менше ніж з одного боку) для можливості доставки матеріалів під час ремонту.

На генеральному плані необхідно вказати підсіпки та виїмки ґрунту (планування території), а також відкоси насипів і виїмок.

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

Під час компонування генплану рекомендується раціонально використовувати територію з урахуванням перспективного розширення споруд і можливість будівництва їх у різний час (за чергами будівництва).

Повинен бути передбачений рівномірний розподіл стічних вод (за кількістю і якістю) по окремим спорудам та їх групам. Розподіл повинен проводитись автоматично, а не регулюванням шиберами.

Автоматичний розподіл здійснюється за допомогою розподільчих камер із підведенням і відведенням води по трубах або відкритих лотках. У разі розташування окремих споруд усієї станції, тобто під час їх компонування, необхідно передбачати можливість подальшого розвитку станції.

Котельня повинна бути розташована не ближче за 25–30 м від метантенків відповідно до вимог пожежної безпеки.

Газгольдери повинні розташовуватися на відстані (у разі місткості газгольдерів менше ніж 1 000 м<sup>3</sup>):

– від внутрішньомайданчикових доріг – 15 м;

- виробничих і підсобних будинків – 20 м;
- складів палива – 35 м;
- житлових і громадських будинків – 65 м.

Розрив між сусідніми газгольдерами обирається таким, що дорівнює половині суми їхніх діаметрів.

Приміщення для зберігання рідкого хлору, призначеного для хлорування стічних вод, розташовують у пониженому місці території очисної станції, яке можна було б ізолювати.

Витратний склад хлору повинен бути розташований відповідно до мінімальних розривів між ним і найближчими будівлями:

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

Очисні споруди необхідно розташовувати за природним ухилом місцевості, але так, щоб забезпечувався самопливний рух води, за можливості без виїмок і насипів, щоб обсяг планувальних робіт був мінімальним. Довжина лотків між спорудами повинна бути найменша, однак із врахуванням можливості використання транспортних засобів.

У разі розташування споруд доцільно з одного боку прокласти дорогу, що забезпечить під'їзди до споруд, а інший бік намагатися залишити вільним для майбутнього розширення станції у разі збільшення продуктивності, а також будівництва за чергами.

Упродовж низової сторони основних очисних споруд з очистки води доцільно розмістити споруди з обробки осадів і допоміжні споруди, пов'язані з обробкою осадів, а також загальноексплуатаційні служби станції (адміністративні, побутові будівлі, майстерні, гаражі, склади, прохідну тощо). До кожної споруди повинен бути забезпечений під'їзд із шириною дороги 3,5 м (односторонній рух) або 5,5 м (двосторонній рух). Радіус повороту доріг обирають 8 м.

Відстані між спорудами можна обрати: приймальна камера – будівля решіток 2–4 м; будівля решіток – пісковловлювачі – 2–4 м; пісковловлювачі – вимірювальний лоток – 15 м; вимірювальний лоток – розподільна чаша відстійників (первинна) – 20 м; відстійники – аеротенки – 15–20 м; аеротенки – вторинні відстійники – 6–7 м; вторинні відстійники – змішувач – 5–10 м; змішувач – контактні резервуари – 3–5 м.

Озеленення здійснюють за периметром очисної станції (уздовж огорожі) у смузі, що дорівнює 10–15 м із відстанню між осями дерев 5–10 м.

Видимі ділянки комунікацій на кресленні позначаються суцільними лініями, а невидимі – пунктирними. Труби позначаються однією лінією, відкриті лотки – двома лініями відповідно до вимог державного стандарту.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які відомі конструктивні різновиди мулових майданчиків?
2. Які типи споруд застосовують для механічного зневоднення осаду?

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 01–01–2014. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 214 с.
2. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки : навч. посіб. / О. А. Василенко, С. М. Епоян, Г. М. Смірнова [та ін.]. – Київ : КНУБА ; Харків : ХНУБА, 2012. – 572 с.
3. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посіб. / В. А. Ковальчук. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.
4. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін, М. Т. Брик. – Київ : Лібра, 2000. – 552 с.
5. Природоохоронні технології : навч. посіб. у 2 ч. Ч 2. Методи очищення стічних вод / В. Г. Петрук, Л. І. Северин, І. В. Васильківський, І. І. Безвозюк. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 258 с.
6. Обробка технологічних рідин та стічних вод : навч. посіб. / С. С. Рижков [та ін.] ; Нац. ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова, Херсон. філ. – Херсон : Грінь Д. С. [вид.], 2017. – 315 с.
7. Біологічне очищення та знезараження міських стічних вод : навч.-метод. посіб. для здобувачів вищої освіти спеціальностей 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (професійного спрямування «Водопостачання та водовідведення») та 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів / С. М. Епоян, В. Ю. Сорокіна, О. Г. Ісакієва, О. Г. Гайдучок. – Харків : ХНУБА, 2022. – 68 с.

## ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Вихідні дані для розрахунків

Варіанти	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Середньодобова витрата стічних вод населення, $Q_{\text{доб}}^{\text{поб}}$ , м <sup>3</sup> /добу	20 000	25 000	30 000	35 000	40 000	45 000	50 000	55 000	60 000	65 000
Норма водовідведення, п, л/добу	250	240	230	220	210	200	245	235	225	215
Витрата стічних вод від промислового підприємства, $Q_{\text{доб}}^{\text{пп}}$ , м <sup>3</sup> /добу	4 000	3 900	3 800	3 700	3 600	3 500	3 400	3 300	3 200	3 000
Характеристика промислових стічних вод: БПК <sub>20</sub> , мг/л	900	850	800	750	700	650	600	550	600	650
Концентрація завислих речовин, мг/л	400	410	420	430	440	450	440	430	420	400
Температура стічних вод, °С	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Стічні води після очищення випускаються у	річку	річку	річку	річку	річку	річку	річку	річку	річку	річку
Дані з водойми: мінімальна витрата водоймища у разі 95 % забезпеченості, м <sup>3</sup> /с	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5
Середня швидкість за мінімальної витрати, м/с	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,44	0,42
Максимальна глибина водоймища за низького горизонту води, м	3,0	4,0	3,0	4,0	3,0	4,0	3,5	3,5	3,5	3,5
Відстань по фарватеру від місця скидання стічних вод до створу водокористування, км	4	5	6	4	5	6	4,5	5,5	6,5	7
Коефіцієнт звивистості русла річки	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2
БПК води річки, мг/л	2,4	2,6	2,8	2,4	2,6	2,8	2,4	2,6	2,8	2,4
Концентрація розчиненого кисню, мг/л	7,2	7,4	7,6	7,2	7,4	7,6	7,2	7,4	7,6	7,4
Концентрація завислих речовин, мг/л	11	12	13	14	11,5	12,5	13,5	1,45	12	14
Відстань від очисних споруд до випуску до річки, м	800	850	900	800	850	900	800	850	900	800
Нижче місця випуску стічних вод річка використовується для: а) питного та культурно- побутового водокористування; б) для рибогосподарських цілей – І вид; в) для рибогосподарських цілей – ІІ вид	а)	б)	в)	а)	б)	в)	а)	б)	в)	а)

*Електронне навчальне видання*

Методичні рекомендації

до проведення практичних занять та організації самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

**«ОЧИСНІ СПОРУДИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
всіх форм навчання зі спеціальності  
G19 – Будівництво та цивільна інженерія,  
освітня програма «Цивільна інженерія»)*

Укладачі: **ЛУКАШЕНКО** Сергій Вікторович,  
**ЕПОЯН** Степан Михайлович,  
**АЙРАПЕТЯН** Тамара Степанівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

Редактор *Б. О. Хільська*

Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2026, поз. 68М

---

Підп. до друку 29.04.2026. Формат 60 × 84/16.  
Ум. друк. арк. 3,2.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Черноглазівська, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: office@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 8386 від 14.07.2025.