

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

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до практичних занять та організації самостійної роботи

з навчальної дисципліни

**«ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД»**

*(для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня*

*за спеціальністю*

*194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)*

**Харків**

**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**

**2021**

Методичні рекомендації до практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисциплін «Технологія очистки стічних вод» (для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 72 с.

Укладач доц. Т. С. Айрапетян

Рецензент

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

*Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод, протокол № 1 від 27.08.2020.*

## ЗМІСТ

1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ.....	4
Практичне заняття 1.....	4
1.1 Визначення витрат стічних вод.....	4
1.2 Визначення концентрацій забруднень міських стічних вод.....	5
Практичне заняття 2 Розрахунок коефіцієнта змішування стічних вод....	7
Практичне заняття 3 Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод.....	9
Практичне заняття 4 Механічне очищення стічних вод. Розрахунок і підбір решіток.....	11
Практичне заняття 5 Розрахунок піскоуловлювачів.....	20
Практичне заняття 6 Розрахунок первинних відстійників.....	25
Практичне заняття 7 Інтенсифікація первинного освітлення.....	29
Практичне заняття 8 Розрахунок крапельних біофільтрів.....	30
Практичне заняття 9 Розрахунок високонавантажуваних біофільтрів (аерофільтрів).....	33
Практичне заняття 10 Розрахунок аеротенків.....	38
Практичне заняття 11 Знезараження стічних вод.....	43
Практичне заняття 12 .....	44
12.1 Компонування генплану очисної станції.....	44
12.2 Побудова поздовжнього профілю руху стічних вод та осаду.....	49
2 ЗМІСТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИСЦИПЛІНИ Й КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	54
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	63
ДОДАТКИ.....	64

# 1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1

### 1.1 Визначення витрат стічних вод

**Мета заняття** – набуття навичок розрахунку витрат та концентрацій забруднень міських стічних вод.

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

$$Q_{доб} = Q_{доб}^{nob} + Q_{доб}^{III}, \quad (1.1)$$

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

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

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

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

Середньосекундна витрата, м<sup>3</sup>/с:

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

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

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

де  $K_{доб.max}$  – коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання, що враховує уклад життя населення, режим роботи підприємств, ступінь благоустрою будинків і зміну водоспоживання за сезонами року й дням, приймається за рекомендаціями [1].

$$K_{доб.max} = 1,1-1,3.$$

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

$$Q_{год.max}^{nob} = Q_{год}^{nob} \cdot K_{ген.max}, \quad (1.5)$$

де  $K_{ген.max}$  максимальний коефіцієнт нерівномірності, що визначається залежно від середньої секундної добової витрати  $q_{nob}$ , 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	2,5	2,1	1,9	1,7	1,6	1,55	1,5	1,47	1,44
Мінімальний	0,38	0,45	0,5	0,55	0,59	0,62	0,66	0,69	0,71

Максимальна секундна витрата, м<sup>3</sup>/с:

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

### 1.2 Визначення концентрацій забруднень міських стічних вод

Склад стічних вод визначається на основі питомої кількості забруднень на одного мешканця і норми водовідведення

Концентрації забруднень побутових стічних вод визначається за формулою:

$$C_i^{nob} = \frac{a_i \times 1\,000}{n}, \quad (1.7)$$

де  $a_i$  – питома кількість забруднень, г/добу на 1 люд., приймається за табл. 16, п.10.1.4 [1];

$n$  – питома середньодобове водовідведення побутових стічних вод, л/добу на 1 людину.

Оскільки в міській мережі водовідведення скидаються виробничі стоки, необхідно визначити середню концентрацію забруднень стічних вод у міських стоках.

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

$$C_{en} = \frac{C_i^{nob} \cdot Q^{nob} + C_i^{пром} \cdot Q^{пром}}{Q^{nob} + Q^{пром}}, \quad (1.8)$$

де  $C_i^{nob}$  та  $C_i^{пром}$  – відповідно концентрації забруднень побутових і виробничих стічних вод відповідно, мг/л;

$Q^{nob}$  та  $Q^{пром}$  – середньодобова витрата побутових і виробничих стічних вод відповідно, м<sup>3</sup>/добу.

### Завдання для письмового розв'язання

Визначити концентрацію забруднень за завислими речовинами і БПК у стічних водах, що надходять на міські очисні споруди. У місті є три райони з різним ступенем благоустрою. Дані для районів наведені в таблиці 1.2 та таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Норма водовідведення за районами

Номери районів	Норма водовідведення, л/добу на 1 людину														
	I район	150	160	170	180	190	200	140	210	220	230	240	250	260	270
II район	300	310	320	330	340	350	305	315	325	335	345	355	300	320	340
III район	195	185	175	165	155	145	205	245	255	265	275	285	235	225	215

Таблиця 1.3 – Число мешканців за районами

Номери районів	Число мешканців, тис.														
	I район	10	15	2	2,5	30	3,5	4	45	5	5,5	6	6,5	7	7,5
II район	5	6	7	8	9	10	30	4	20	10	15	25	4,2	30	45
III район	49	42	36	32	28	27	22	17	13	6,4	52	48	33	21	18

Таблиця 1.4 – Характеристика стоки від хлібозаводу

Найменування показників	Значення показників									
	Витрата, тис. м <sup>3</sup> /добу	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Завислі речовини, мг/л	100	120	110	130	140	150	105	115	125	135
БПК, мг/л	200	250	210	220	230	240	190	180	170	160

Таблиця 1.4 – Характеристика стоків від молочного заводу

Найменування показників	Значення показників									
	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	3	4	5	6	7
Витрата, тис. м <sup>3</sup> / добу	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	3	4	5	6	7
Завислі речовини, мг/л	90	80	70	60	100	110	120	130	140	150
БПК, мг/л	210	220	230	240	250	205	215	225	235	245

Таблиця 1.5 – Стоки від машинобудівельного заводу

Найменування показників	Значення показників									
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Витрата, тис. м <sup>3</sup> / добу	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Завислі речовини, мг/л	200	210	220	230	240	250	205	215	225	235
БПК, мг/л	50	60	70	80	90	100	95	65	75	85

**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**

**Розрахунок коефіцієнта змішування стічних вод**

**Мета заняття** – набуття навичок розрахунку коефіцієнта змішування стічних вод у водоймі

Для урахування витрати річки, що бере участь у процесі змішування при спуску стічних вод, розраховують коефіцієнт змішування  $\gamma$ , який вказує, яка частина витрати річки змішується зі стічною водою в даному створі.

При спуску стічних вод у протокові водойми значення  $\gamma$  визначається за методом В. А. Фролова, И. Д. Родзіллера й А. В. Караушева:

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{l_\phi}}}{1 + (Q_p/q) \cdot e^{-\alpha \sqrt[3]{l_\phi}}}, \quad (2.1)$$

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

$l_\phi$  – відстань від створу випуску стічних вод до розрахункового створу за течією (фарватером) річки, м;

$Q_p$  – найменша середньодобова витрата води (при 95 % забезпеченості) у створі річки біля місця випуску, м<sup>3</sup>/с;

$q$  – середньо секундна витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/с;

$a$  – коефіцієнт, що враховує гідравлічні фактори в річці, визначають за формулою:

$$a = \varphi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{E/q}, \quad (2.2)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт хвилястості річки, що дорівнює відношенню відстані від місця випуску стічних вод до контрольного створу за фарватером  $l_\phi$  до відстані між цими самими пунктами по прямій,  $l_{np}$ ,  $\varphi = l_\phi/l_{np} = 1,1-1,2$ . Слід врахувати, що контрольний створ, для якого визначають коефіцієнт змішування, розташовується на 1 км вище від розрахункового;

$\xi$  – коефіцієнт, який залежить від конструкції випуску стічних вод у водойму: при береговому випуску  $\xi = 1,0$ , при випуску у фарватер  $\xi = 1,5$ , при дифузійному випуску  $\xi = 3,0$ ;

$E$  – коефіцієнт турбулентної дифузії, який для рівнинних річок визначають за формулою:

$$E = V_p \cdot H_p / 200, \quad (2.3)$$

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

$H_p$  – середня глибина річки 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 з водою водойми.



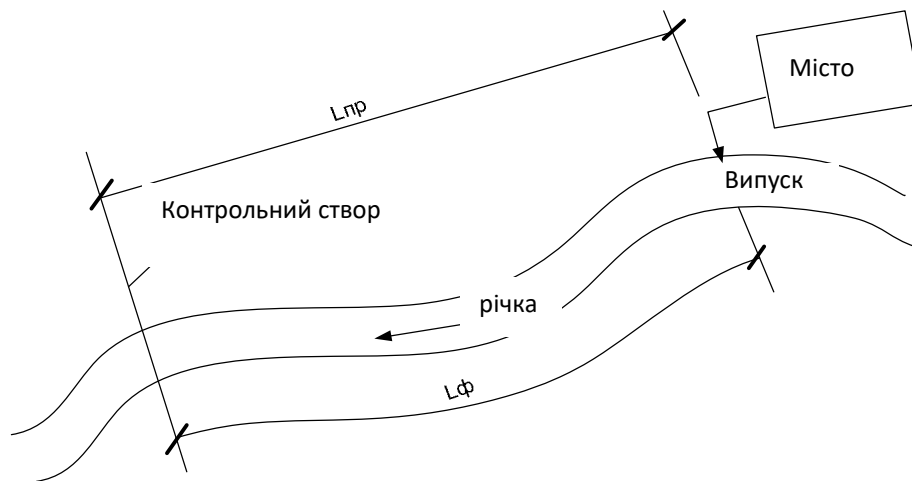


Рисунок 1.1. Схема ділянки ріки, де здійснюється змішування стічних вод з водою водойми

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

#### *Завдання*

Визначити ступінь змішування стічних вод у водоймі в розрахункового створу, якщо середньомісячна витрата води в ріці при 95 % забезпеченості становить у розрахунковому створі  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, середня швидкість плину дорівнює  $V$ , м/с, при глибині  $H$ , м, звивистість русла  $\phi$ . Випуск стічних вод з витратою  $q$ , м<sup>3</sup>/с, береговий (русловий). Відстань від місця випуску стічних вод до розрахункового створу по фарватеру становить  $l$ , км.

### *ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3*

#### *Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод*

**Мета заняття** – набуття навичок розрахунку необхідного ступеня очищення стічних вод за завислими речовинами, БПК, розчиненому кисню й температурі.

#### **Виконання завдання**

Водойма належить до I/II категорії санітарно-побутового/рибогосподарського (далі – СП/РГ) водокористування. Концентрація завислих речовин у річці  $b$ , г/м<sup>3</sup>, БПК ріки  $L_p$ , мг/л. Максимальна літня температура річкової води –  $t_p$ , °C (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Характеристика водойми за категоріями водокористування

Тип водокористування	$b$ , г/м <sup>3</sup>	$L_p$ , мг/л	$t_p$ , °C
СП–І	8	1,8	19
СП–ІІ	7	1,9	20
РГ–І	6	2	21
РГ–ІІ	5	2	22

*Питання для самоконтролю:*

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

*Тест для контролю результатів навчання*

1. Які наслідки викликають забруднення водойм?

2. Які показники складу стічних вод повинні бути в пункту

водокористування РГ–І:

а)  $v = 0,25$  мг/л,  $O = 4$  мг/л;

б)  $v = 0,75$  мг/л,  $O = 6$  мг/л;

в)  $v = 0,25$  мг/л,  $O = 3$  мг/л;

г)  $v = 0,75$  мг/л,  $O = 4$  мг/л?

3. Визначити ефект очищення по БПК, якщо БПК стічних вод при

$L_{en} = 310$  мг/л, а БПК очищеної води  $L_{ex} = 25$  мг/л.

6. Назвіть припустиме підвищення температури води у водоймі:

а) 6 °C;

б) 2 °C;

в) 3 °C;

г) 4 °C.

**Механічне очищення стічних вод. Розрахунок і підбір решіток**

**Розрахунок решіток типу МГ**

У даному розділі наведено методику гідравлічного розрахунку решіток з механізованими граблями типу МГ, які застосовують для вилучення зі стічних вод крупних забруднень з механізованим вивантаженням їх на транспортних пристроях до дробарок.

Розрахунок решіток виконуємо на максимальний секундний приплив стічних вод (м<sup>3</sup>/с).

Механізоване очищення решіток від затриманого осаду з улаштуванням дробарки для їх подрібнення передбачають при кількості осаду 0,1 м<sup>3</sup>/добу і більше. Питома кількість осаду, що затримуються решітками типу МГ при ширині прозорів 16–20 мм, дорівнює 8 л/(мешк. рік).

Решітки влаштовуються в розширеній частині лотка – камері решіток (рис. 4.1).

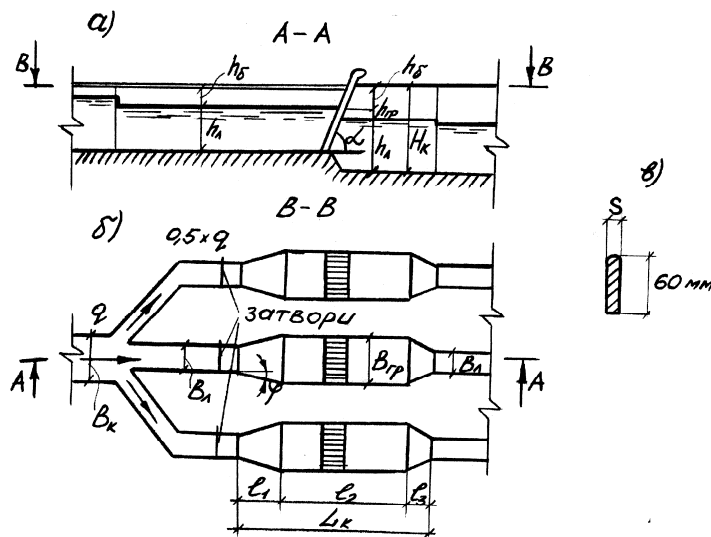


Рисунок 4.1– Схема влаштування підвідних каналів і лотків і решіток:

а – переріз підвідних каналів, лотків і решіток; б – план підвідних каналів, лотків і решіток; в – поперечний переріз стрижня решітки типу МГ

Кількість осадів, що знімаються з решіток:

$$\Omega_{zp} = \frac{8 \cdot N_c}{1000 \cdot 365} = \frac{8 \cdot 202718}{1000 \cdot 365} = 4,44 \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (4.1)$$

де  $N_c$  – приведене за завислими речовинами населення

За таблицею 4.2 підбираються відповідні для розрахункового випадку типові ґрати з механізованим очищенням (якщо  $\Omega_p > 0,1$  м<sup>3</sup>/добу).

Таблиця 4.2 – 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 $B_{zp} \times H_{zp}$ , мм	Кількість			
				решіток робочих (резервних)	прозорів	дробарок Д-3б продуктивністю, кг/год	
						50–100	300–600
18	0,29	МГ–7Т $Q = 0,31$ м <sup>3</sup> /с	800×1 400	1 (1)	31	1	–
25–35	0,4–0,53	–”–	–”–	2(1)	31	1	–
50	0,72	МГ–11Т $q = 0,45$ м <sup>3</sup> /с	1 000×1 600	2 (1)	39	1	–
70	0,96	–”–	–”–	2 (1)	39	1 (1)	1 (1)
100	1,36	МГ–8Т $q = 1$ м <sup>3</sup> /с	1 400×2 000	2 (1)	55	–	1 (1)
140	1,87	–”–	–”–	2 (1)	55	–	1 (1)
200	2,68	МГ–6Т $Q = 1,62$ м <sup>3</sup> /с	2 000×2 000	2 (1)	84	–	1 (1)

Примітка. Пропускна здатність решіток визначена при швидкості потоку 0,8 м/с.

Ширина камери,  $B_p$ , м, яка дорівнює ширині решітки, обчислюється за формулою:

$$B_p = S \cdot (n - 1) + v \cdot n, \quad (4.2)$$

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

$n$  – число прозорів, яке приймається за таблицею 1.8;

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

Швидкість течії води в прозорах решіток типу МГ при максимальному припливу стічних вод повинна бути рівною 0,8–1,00 м/с

$$v_{zp} = \frac{q_{\max} \cdot K}{\varepsilon \cdot h_l \cdot h}, \quad (4.3)$$

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

$h_l$  – висота шару води перед решітками дорівнює наповненню в лотку.

Швидкість течії води перед решітками при мінімальному припливі стічних вод визначаємо за формулою:

$$V_{\min} = \frac{q_{\min}}{B_{zp} \cdot h_l} \text{ м/с.} \quad (4.4)$$

Загальна довжина камери решіток дорівнює сумі довжин усіх елементів камери:

$$L_k = l_1 + l_2 + l_3, \quad (4.5)$$

де  $l_1$  – довжина розширення при вході лотка в камеру, м,

$$l_1 = \frac{B_{zp} - B_l}{2 \cdot \operatorname{tg} \varphi} \text{ м,} \quad (4.6)$$

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

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

$$l_3 = 0,5 \cdot l_1. \quad (4.7)$$

Загальну висоту камери решіток  $H_k$ , м, визначають за формулою

$$H_k = h_l + h_{zp} + h_{\delta}, \quad (4.8)$$

де  $h_l$  – глибина шару води перед решітками, яка дорівнює наповненню в лотку при максимальному припливі, м;

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

$h_{\delta}$  – висота бортів камери, конструктивно приймають 0,5 м.

Втрати напору, м, в решітках розраховуємо за формулою:

$$h_{zp} = \frac{3 \cdot \xi \cdot v^2}{2 \cdot g}, \quad (4.9)$$

де  $3$  – коефіцієнт, що враховує засмічення решіток;

$v$  – швидкість руху води в решітках;

$\xi$  – коефіцієнт місцевого опору решіток для прямокутних стержнів, визначаємо за формулою:

$$\xi = 2,42 \cdot (S/e)^{4/3} \cdot \sin 60^\circ \quad (4.10)$$

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

У місці влаштування решіток дно камери понижується на висоту, яка дорівнює втраті напору в решітках.

Для подрібнення затриманих осадів проектуємо дробарки молоткового типу Д-3б, в які подається технічна вода (після первинних або вторинних відстійників) з розрахунку  $40 \text{ м}^3$  на 1 т осадів. Вологість дроблених осадів  $P_{д.н.}$  становить 98–98,5 %, кількість

$$W_{д.н.} = 40 \cdot \Omega_{2p} \cdot \rho, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (4.11)$$

де  $\rho$  – середня густина покидьків, яка дорівнює  $0,75 \text{ т/м}^3$ .

Подрібнені осади направляються в споруди з переробки осадів або в стічну воду перед решітками.

### **Розрахунок решіток типу СУ**

Стержні решіток СУ виготовляються з нержавіючого профілю, що має в перерізі краплеподібну форму товщиною  $S = 4,8 \text{ мм}$ . Прозори між стержнями дорівнюють  $e = 5,2 \text{ мм}$ , відстань між центрами стержнів –  $10 \text{ мм}$ . Таке конструктивне рішення дозволяє звести до мінімуму гідравлічний опір конструкції, запобігти забрудненню, збільшити затримання їх у 4–6 разів. При куті нахилу решіток до горизонту  $60^\circ$ , втрати напору в решітках не перевищують  $0,2 \text{ м}$ .

Розрахунок решіток СУ, прийнятих до складу очисних споруд, виконують на максимальну подачу (л/с) і перевіряють на мінімальну подачу (л/с) стічних вод.

Решітки типу СУ влаштовують у окремій будівлі, тут же розміщують дробарки з бункером. Виготовляють різних типорозмірів залежно від будівельних розмірів підвідних лотків (табл. 4.3).

Таблиці 4.3 – Технічні характеристики решіток типу СУ

Типорозмір решіток	Ширина камери решіток $B_{к}$ , мм	Повна довжина решіток $L$ , мм	Довжина решіток, яка занурена у потік $h$ , мм	Висота до опори валу, $H$ , мм	Ширина проціджуючого полотна решіток $B_{пр}$ , мм	Живий переріз проціджуючого полотна $f$ , м <sup>2</sup>	Кількість прозорів $n$	Радіус звороту решітки $R$ , мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0590	500	2 950	1 220	1 447	392	0,25	40	2 200
0790	700	2 950	1 220	1 447	592	0,38	60	2 200
0890	800	2 950	1 220	1 447	692	0,44	70	2 200
0914	900	3 250	1 520	1 707	792	0,63	80	2 500
1014	1 000	3 250	1 520	1 707	892	0,71	90	2 500
1018	1 000	3 850	2 120	2 227	892	0,99	90	3 100
1214	1 200	3 250	1 520	1 707	1 092	0,87	110	2 500
1230	1 200	4 670	2 680	3 062	1 092	1,53	110	3 710
1230 (спарена)	2 600	4 670	2 680	3 062	2 384	3,34	240	
1521	1 510	4 150	2 420	2 452	1 392	1,76	140	3 400
2018	1 810	3 850	2 120	2 192	1 692	1,87	170	3 100
2021	1 810	4 150	2 420	2 452	1 692	2,14	170	3 400

Визначимо потрібну загальну площу живого перерізу робочих решіток:

$$F = \frac{q_{\max}}{v_{zp}}, \quad (4.12)$$

де  $v_{zp}$  – швидкість руху рідини в прозорах решіток, м/с. У решітках типа СУ з шириною прозорів 0,0052 м, швидкість слід приймати 0,8–1,5 м/с, що запобігає продавлюванню забруднень через прозори.

$$F = \frac{0,833}{1,0} = 0,833 \text{ м}^2. \quad (4.13)$$

Кількість робочих решіток:

$$N = \frac{F}{f}. \quad (4.14)$$

Кількість резервних решіток – 1.

Ширина решіток  $B_{ep}$ , м:

$$B_{ep} = S \cdot (n - 1) + e \cdot n, \quad (4.15)$$

Швидкість рідини, м/с, у прозорах решіток, яка забезпечує рух розрахункової витрати, визначимо з формули постійності витрат:

$$q_{\max} = f \cdot v_{ep}, \quad (4.16)$$

$$v_{ep} = \frac{q_{\max} \cdot K}{e \cdot h \cdot n \cdot N}, \quad (4.17)$$

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

$h$  – змочена довжина решіток, яка знаходиться у потоці рідини при розрахунковій витраті і визначається з умови кута нахилу решітки до горизонту, рівному  $60^\circ$ :

$$h = \frac{h_{\max}}{\sin 60^\circ}, \quad (4.18)$$

де  $h_{\max}$  – наповнення в камері решіток, однакове з наповненням у підвідному лотку.

Швидкість стічних вод при мінімальному притоці в розширеній частині каналу перед решітками – камері решіток, яка повинна бути не менша за 0,6 м/с для запобігання замулювання:

$$V_{\min} = \frac{q_{\min}}{B_k \cdot h_{\min}}, \text{ м/с}, \quad (4.19)$$

де  $h_{\min}$  – наповнення в каналі при мінімальному притоці, м.

Втрати напору в решітках визначають за формулою:

$$h = \frac{K \cdot \xi \cdot v_{ep}^2}{2 \cdot g}, \quad (4.20)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що враховує збільшення втрат напору в решітках при забрудненні їх сміттям;



$\xi$  – коефіцієнт місцевого опору решіток:

$$\xi = \beta \cdot (S/\epsilon)^{4/3} \cdot \sin \varphi. \quad (4.21)$$

Значення коефіцієнта місцевого опору  $\beta$  для стержня краплеподібної форми складає:  $\beta=0,76$ ;  $\varphi$  – кут нахилу решіток до горизонту:  $\varphi=60^\circ$ .

На величину втрат напору,  $h_{cp}$ , слід понизити дно камери за решітками.

Будівельна глибина камери за решітками збільшиться на величину втрат напору  $h_p$ :

$$H_K^2 = H_K^1 + h_p, \text{ м.} \quad (4.22)$$

Будівельна глибина камери решіток визначається за рисунком 4.2.

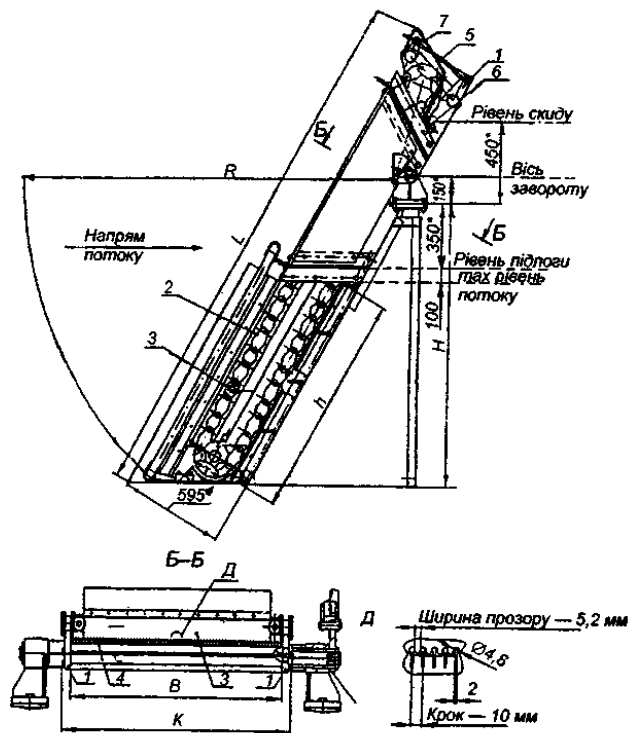


Рисунок 4.2 – Каналізаційні механізовані решітки СУ:

- 1 – поздовжній борт; 2 – замкнені пластинкові ланцюги; 3 – граблини;  
 4 – стержні краплеподібної форми; 5 – ведучі зірочки; 6 – приводний вал;  
 7 – кулькова запобіжна муфта; 8 – гідродвигун; 9 – нарізні муфти  
 натягнення ланцюгів; 10 – перемичка; 11 – підставка; 12 – поперечна плита  
 рами; 13 – скидувач; 14 – тарільчата пружина; 15 – регулювальні гайки;  
 16 – мікровимикач; 17 – ущільнювачний екран; 18 – 7 точок змазування;

\* – постійні розміру до всіх СУ

Визначимо розміри камери решіток у плані:

$$l_1 = \frac{B_K - B_L}{2 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ}, \text{ м}, \quad (4.23)$$

$$l_3 = l_1/2, \text{ м}. \quad (4.24)$$

Загальна будівельна довжина камери решіток:

$$L_K = l_1 + l_2 + l_3, \text{ м}. \quad (4.25)$$

$$H_K^1 = H - 0,35 \text{ м}. \quad (4.26)$$

Добову витрату осадів, що знімаються з решіток, визначають за формулою:

$$\Omega_P = \frac{\alpha_P \cdot N_C}{1000 \cdot 365}, \quad (4.27)$$

де  $\alpha_P$  – кількість відходів, що видаляються на решітках з господарсько-побутових стічних вод населених пунктів в розрахунку на одного жителя за рік, залежно від ширини прозорів, визначатися за табл. 18, п. 10.2.1.5 [1].

У даному випадку, кількість відходів, що видаляються на решітках  $CV$  з шириною прозорів 0,0052 м дорівнює  $\alpha_P = 8 \times (4 \div 6)$  л/(мешк.  $\times$  рік);

$N_C$  – приведене населення за завислими речовинами.

Приведене населення  $N$  – це сума розрахункового населення  $N_P$  від міста і еквівалентного числа мешканців від промислових підприємств  $N^{екв}$ :

$$N_P = \frac{Q_{доб} \cdot 1000}{n}, \text{ мешк.}, \quad (4.28)$$

де  $n$  – норма водовідведення, л/ мешк. на добу.

Для подрібнення затриманих відходів проектується дробарки молоткового типа Д-3б, в які подають технічну воду (після первинних або вторинних відстійників) з розрахунку 40 м<sup>3</sup> на 1 т покидьків. Вологість осадів  $P_{д.н.}$  дорівнює 98–98,5%, кількість:

$$\Omega = 40 \cdot \Omega_{зр} \cdot \rho, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (4.29)$$

де  $\rho$  – середня густина осадів, яка дорівнює 0,75 т/м<sup>3</sup>.

Подрібнені осади направляються до споруд з переробки осадів або у стічну воду перед решітками.

*Порядок розрахунку решіток:*

1. Розрахунковою витратою для решіток є максимальна секундна витрата.
2. Підбирається перетин каналу перед решітками:  $B_k$ ,  $h_k$ ,  $V_k$ , при цьому краще коли відношення  $h_k/B_k = 1$ .
3. Приймається глибина води в камері решіток, середня швидкість води в прозорах між стрижнями й ширина прозорів.
4. Приймається товщина стрижнів решітки й визначається ширина решіток.
5. За отриманим даними підбираються типові решітки й перевіряється швидкість води в її прозорах.
6. Обчислюється довжина камери решіток й визначаються позначки рівня води в каналі до і після решіток.
7. Визначається кількість забруднень, що затримуються на решітках.

***Питання для самоконтролю:***

1. Для чого на очисних спорудах необхідно встановлювати решітки?
2. Наведіть класифікацію решіток.
3. Укажіть припустимий діапазон значення середньої швидкості води в прозорах решіток, припустимий діапазон значення ширини прозорів.
4. Які решітки можна віднести до перспективних?
5. Де розміщуються решітки?
6. Як визначається ширина решітки?
7. Яка швидкість потоку стічних вод між стрижнями решітки?

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №5

### Розрахунок піскоуловлювачів

**Мета заняття** – набуття навичок розрахунку й підбору піскоуловлювачів різних типів.

*Горизонтальні піскоуловлювачі* розраховують на уловлювання піску діаметром 0,2–0,25 мм. При цьому загальна кількість уловленого піску досягає 65–70 %.

Максимальна глибина піскоуловлювачів – 1,2 м. Максимальна довжина піскоуловлювача – 20 м.

Тривалість перебування стічних вод в горизонтальних піскоуловлювачах має бути не менше ніж 30 с.

Площа поперечного перерізу одного відділення:

$$F = \frac{Q}{V \cdot n}, \quad (5.1)$$

де  $Q_{\max \text{сек}}$  – максимальна секундна витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/с;

$V$  – розрахункова швидкість руху води;

$n$  – число відділень.

Швидкість руху стічних вод для горизонтальних піскоуловлювачів приймають 0,3 м/с при максимальному притоці та 0,15 м/с при мінімальному

Довжину проточної частини  $L_s$ , м, одного піскоуловлювача визначають за формулою:

$$L_s = \frac{1\,000 \cdot K_s \cdot H_s \cdot v_s}{u_o}, \quad (5.2)$$

де  $K_s$  – коефіцієнт, що враховує вплив турбулентності й нерівномірність розподілення швидкостей води вздовж висоти і ширини споруди, приймається за табл. 19, п. 10.2.2.1 [1];

$H_s$  – розрахункова глибина піскоуловлювача, м, яка дорівнює глибині потоку  $h_n$  в підвідному лотку;

$u_o$  – гідравлічна крупність піску, мм/с, яка приймається залежно від потрібного діаметра частинок піску, що затримуються (табл. Б.1, дод. Б)

$v_s$  – швидкість руху потоку в піскоуловлювачах, приймається за таблицею Б.2, дод. Б [1, табл. 20, п.10.2.2.1];

Відповідно до будівельних норм [1, п.10.2.2.2] для розрахунку горизонтальних піскоуловлювачів тривалість протоку стічних вод рекомендується приймати не менше ніж 30 с (при максимальному припливі).

Для тангенціальних піскоуловлювачів відповідно до п.10.2.2.2 рекомендується приймати [1]:

- тривалість протоку стічних вод – від 120 с до 180 с;
- навантаження – від  $110 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  до  $130 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  при максимальному припливі стічних вод;
- діаметр – не більше ніж 6 м,
- глибину – такою, що дорівнює половині діаметра

### **Виконання роботи**

За максимальною розрахунковою витратою необхідно підібрати тип піскоуловлювача й розрахувати його, тобто визначити габаритні розміри, обсяг затриманого осаду, підібрати встаткування для переміщення осаду і його видалення.

#### *Розрахунок аерованих піскоуловлювачів*

##### *Завдання*

Визначити довжину, ширину і глибину аерованих піскоуловлювачів за розрахунковою витратою очищуваних стічних вод  $Q_{\text{макс}}$ ,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

##### *Розв'язання*

1. Визначають загальну площу поперечного перерізу піскоуловлювачів за формулою:

$$F = \frac{Q_{\text{макс}}}{3600 \cdot V_s}, \quad (5.3)$$

де  $V_s$  – швидкість руху стічних вод у піскоуловлювачі за їх максимальної витрати, м/с, яку приймають за табл. 20, п.10.2.2.1 [1] у межах 0,08–0,12 м/с за прийнятої гідравлічної крупності затримуваного піску  $u_0$  13,2–18,7 мм/с відповідно.

2. Визначають кількість відділень піскоуловлювачів, яка може бути від 2 до 4 за формулою:

$$N = \frac{F}{B \cdot H}, \quad (5.4)$$

де  $B$  – ширина відділення піскоуловлювача, яку приймають за орієнтовним типорозміром (3 або 4,5 м за пропускної здатності відповідно 70–200 та 200–480 тис. м<sup>3</sup>/добу);

$H$  – глибина піскоуловлювача (2,1 або 2,8 м при ширині відділення 3 м або 4,5 м).

3. Визначають довжину аерованих піскоуловлювачів

$$L_s = \frac{1000 \cdot K_s \cdot H_s \cdot v_s}{u_o}, \quad (5.5)$$

де  $K_s$  – коефіцієнт, що залежить від відношення  $B/H$ ;

$H_s$  – розрахункова глибина піскоуловлювача, м (для керованих піскоуловлювачів дорівнює половині загальної глибини ( $H_s = 0,7–3,5$  м));

Рекомендується приймати:

- відношення  $B/H = 1–1,5$ ;
- занурення аераторів –  $(0,5–0,75)H$ ;
- інтенсивність аерації –  $3–5$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год.

Остаточно приймають довжину типового піскоуловлювача кратним 3 м. Розміри типових піскоуловлювачів наведені у таблицях Б.3–Б.5 (дод. Б).

Добову кількість піску, що затримується в піскоуловлювачах, визначають за формулою:

$$\Omega_n = \frac{q_n \cdot N_{36}^{3 \cdot p}}{1000} \quad (5.6)$$

де  $q_n$  – кількість піску, що затримується у піскоуловлювачах [1], таблиця Б.2 (дод. Б);

$N_{36}^{3 \cdot p}$  – приведена кількість мешканців за завислими речовинами.

### Завдання для письмового розв'язання

Визначити значення параметрів піскоуловлювача, позначених у таблиці 5.1, яка містять вихідні дані для розрахунків, символом X. Визначити ефективність очищення стічних вод у піскоуловлювачі.

Таблиця 5.1 – Варіанти завдань до розрахунку піскоуловлювачів

№ варіанту	1	2	3	4	5	6
Середня продуктивність, м <sup>3</sup> /добу	100 000	85 000	110 000	90 000	95 000	105 000
Тип піскоуловлювача	горизонтальна	аеро-вана	горизонтальна	аеро-вана	горизонтальна	аеро-вана
Ширина, м	3	X	X	2,5	3,5	X
Довжина, м	X	5	4,5	X	X	4
Щільність твердої фази забрудн., кг/м <sup>3</sup>	2 600	2 750	2 550	2 700	2 500	2 800
Щільність рідкої фази забрудн., кг/м <sup>3</sup>	980	975	985	970	965	990
В'язкість рідкої фази забрудн., Па·с	0,0016	0,0066	0,0018	0,0071	0,002	0,0058

#### *Тест для контролю результатів навчання*

1. Яка оптимальна швидкість руху води в горизонтальних пісколовках:

- а) 0,03 м/с;
- б) 0,15 м/с;
- в) 0,3 м/с;
- г) 0,1 м/с?

2. Як видаляється осад з піскоуловлювачів?

- а) насосом;
- б) ерліфтом;
- в) гідроелеватором;
- г) під гідростатичним напором.

3. Кількість піску, затриманого горизонтальним піскоуловлювачем на 1 мешк/добу:

- а) 0,01 л;
- б) 0,02 л;
- в) 0,03 л;
- г) 0,04 л?

4. Чому дорівнює вологість піску, видаленого з піскоуловлювачів:

а) 98 %;

б) 70 %;

в) 60 %;

г) 80 %?

***Питання для самоконтролю:***

1. Яке призначення мають піскоуловлювачі?

2. Що таке «умовна гідравлічна крупність»? На затримання піску якої крупності розраховуються піскоуловлювачі?

3. За рахунок яких сил відбувається видалення піску?

4. На яку швидкість потоку стічної води розраховуються горизонтальні та аеровані піскоуловлювачі?

5. Принцип роботи гідромеханічної системи змиву осаду в піскоуловлювачі.

6. Яка нормативна кількість піску затримується в горизонтальному піскоуловлювачі у розрахунку на одну людину?

7. Яка нормативна кількість піску затримується в аерованому піскоуловлювачі у розрахунку на одну людину?

8. У якому місці в аерованих піскоуловлювачах встановлюються дірчасті труби-аератори?

9. Яке нормативне значення відношення ширини відділення до глибини аерованого піскоуловлювача?



## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №6

### Розрахунок первинних відстійників

**Мета заняття** – набуття навичок підбора й розрахунку первинних відстійників.

Під час розрахунку первинних відстійників визначають кількість відстійників, що забезпечать потрібний ефект освітлення, основні конструктивні розміри, а також обсяг затриманого осаду.

Розрахунок відстійників слід виконувати з урахуванням кінетики осідання завислих речовин, глибини проточної частини відстійника, необхідного ефекту освітлення, мінімальної середньомісячної температури стічних вод, а також коефіцієнтів використання об'єму споруд [1, п.10.2.4.5]

Потрібний ефект освітлення у відсотках:

$$E = \frac{(C_{en} - C_{cdp}) \cdot 100}{C_{en}}, \quad (6.1)$$

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

Розрахункову гідравлічну крупніють частинок, що мають бути затримані у відстійниках, мм/с, визначають за формулою:

$$u_o = \frac{1000 \cdot K_{set} \cdot H_{set}}{t_{set} \cdot \left( \frac{K_{set} \cdot H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}}, \quad (6.2)$$

де  $K_{set}$  – коефіцієнт використання об'єму відстійника, приймається за таблицею 21 [1];

$H_{set}$  – глибина проточної частини у відстійнику, табл. 21 [1];

$t_{set}$  – тривалість відстоювання, с, відповідна до ефекту освітлення  $E$  й отримана в лабораторному циліндрі в шарі  $h_1 = 500$  мм, для міських стічних вод (дод. В, табл. В.1);

$n_2$  – коефіцієнт, який залежить від агломерації зависі в процесі осадження (дод. В, рис. В.1);

Продуктивність одного відстійника залежно від розмірів та типу визначають за формулами:

– горизонтальний:

$$q_{set} = 3,6K_{set}L_{set}B_{set}(u_0 - v_{tb}), \text{ м}^3/\text{год} \quad (6.3)$$

– радіальний і вертикальний:

$$q_{set} = 2,8 \cdot K_{set} \cdot (D_{set}^2 - d_{en}^2) \cdot (u_0 - v_{tb}), \quad (6.4)$$

де  $K_{set}$  – коефіцієнт використання об'єму відстійників;

$L_{set}, B_{set}$  – відповідно довжина й ширина секції (відділення) відстійника, м;

$D$  – діаметр відстійника, м (приймають 18, 24, 30 або 40 м);

$d_{en}$  – діаметр впускного пристрою радіального відстійника чи центральної труби вертикального відстійника, м;

$u_0$  – гідравлічна крупність частинок, що затримуються, мм/с;

$v_{tb}$  – турбулентна складова, мм/с, приймають залежно від швидкості потоку

у відстійнику  $v_{\omega}$ , мм/с:

$v_{\omega}$ , мм/с	5	10	15
$v_{tb}$ , мм/с	0	0,05	0,1

Основні розміри первинних відстійників:

Діаметр радіальних відстійників,  $D_{set}$ , м:

$$D_{set} = \sqrt{\frac{4Q}{3,6 \cdot \pi \cdot K_{set} \cdot (u_0 - v_{tb}) \cdot n_{set}}}, \quad (6.5)$$

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

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

$n_{set}$  – кількість первинних відстійників;

Довжина горизонтальних відстійників

$$L_{set} = \frac{v_w \cdot H_{set}}{K_{set} \cdot u_0} \quad (6.6)$$

При визначенні розмірів відстійників доцільно орієнтуватися на розміри типових споруд (табл. В.3 і В.4, дод. В). При визначенні турбулентної складової

горизонтальну швидкість руху води  $v_w$  для попередніх розрахунків призначають у межах 5–10 мм/с.

Кількість відстійників (секцій) розраховують за максимальною годинною витратою  $Q_{\max}$  за формулою:

$$N_{\text{відст}} = \frac{Q_{\max}}{q_{\text{set}}}. \quad (6.7)$$

Кількість відстійників має бути не менше двох, усі відстійники – робочі. При двох відстійниках розрахунковий об'єм збільшується в 1,2–1,3 рази. Якщо загальна продуктивність прийнятих відстійників суттєво перевищує розрахункову витрату, то необхідно визначити фактичну гідравлічну крупність частинок, що затримуються та фактичний ефект очистки  $E_{\phi}$ .

Після визначення  $L_{\text{set}}$  і  $D_{\text{set}}$  для радіальних перевіряють фактичну швидкість  $v_{\phi}$  в проточній частині відстійника:

– для радіальних відстійників:

$$v_{\phi} = \frac{2 \cdot q_{\text{set}}}{3,6 \cdot \pi \cdot D_{\text{set}} \cdot H_{\text{set}} \cdot K_{\text{set}}}, \text{ мм/с}, \quad (6.8)$$

– для горизонтальних відстійників:

$$v_{\phi} = \frac{q_{\text{set}}}{3,6 \cdot \pi \cdot H_{\text{set}} \cdot B_{\text{set}}} \quad (6.9)$$

Об'єм осаду ( $W_{\text{mud}}$ , м<sup>3</sup>/добу), який виділяється при відстоюванні в первинних відстійниках, визначають виходячи з концентрації завислих речовин у воді, яка надходить ( $C_{\text{en}}$ ) і концентрації завислих речовин в освітленій воді, ( $C_{\text{cdp}}$ ):

$$\Omega_{\text{mud}} = \frac{K \cdot Q_{\text{доб}} \cdot (C_{\text{en}} - C_{\text{cdp}})}{(100 - P_{\text{mud}}) \cdot \rho_{\text{mud}} \cdot 10^4}, \quad (6.10)$$

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

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

$P_{\text{mud}}$  – вологість осаду, що дорівнює 93,5 % при виведенні осаду насосами;

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

Механічне очищення призводить до видалення з суміші побутових і виробничих стічних вод до 60 % нерозчинених домішок і зниження БПК<sub>повн</sub> на 10–20 %.

Таким чином, на біологічне очищення надходять стічні води з показниками забруднень:

- за завислими речовинами:

$$C_{cdp} = \frac{C_{en} \cdot (100 - E)}{100} \quad (6.11)$$

- за БПК<sub>повн</sub>:

$$L_{en} = \frac{L'_{en} \cdot (100 - E)}{100} \quad (6.12)$$

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

### **Завдання**

Визначити кількість і діаметр первинних радіальних відстійників.

*Вихідні дані:*

- розрахункова витрата очищуваних стічних вод –  $Q_{\text{макс}}$ , м<sup>3</sup>/год;
- розрахункова гідравлічна крупність затримуваних завислих частинок –  $U_0$ , мм/с.

*Розв'язання:*

1. Визначають продуктивність одного радіального відстійника за формулою (6.4).
2. Обчислюють кількість відстійників за максимальною годинною витратою стічних вод за формулою (6.7).
3. Обчислюють фактичну горизонтальну швидкість руху води у відстійнику.

### ***Питання для самоконтролю:***

1. Як визначити необхідний ефект очищення при первинному відстоюванні?

2. За якої продуктивності очисних споруд доцільно використовувати радіальні відстійники? А за якої горизонтальні відстійники?
3. Яку вологість і щільність має осад з первинних відстійників?
4. Що таке крива кінетики освітлення?
5. У якому типі відстійника змінюється швидкість руху стічних вод ?

## *ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7*

### *Інтенсифікація первинного освітлення*

#### **Попередня аерація**

*Послідовність розрахунку преаераторів:*

1. Визначають обсяг однієї камери преаератора, м<sup>3</sup>:

$$W = \frac{Q_p \cdot t}{n_{set}} \quad (7.1)$$

де  $Q_p$  – розрахункова максимальна витрата, м<sup>3</sup>/год;

$t$  – тривалість аерації, год, приймається 20 хв.

2. Обчислюють площу одного відділення преаератора, м<sup>2</sup>:

$$F = \frac{W}{H_{set}} \quad (7.2)$$

де  $H_{set}$  – висота преаератора, м, що дорівнює глибині проточної частини відстійника.

3. Визначають ширину коридору преаератора, м:

$$B = H_{set} - 1,5 H_{set}. \quad (7.3)$$

4. Розраховують довжину преаератора, м:

$$L = \frac{F}{B} \quad (7.4)$$

#### ***Завдання для письмового розв'язання***

Визначити значення невідомих параметрів горизонтального або радіального відстійника (за вказівкою викладача). При розрахунку радіального відстійника перевірити допустимість значення відношення його діаметра до глибини.

Таблиця 7.1 Варіанти завдань до розрахунку відстійників

горизонтальні відстійники	№ варіанту	1	2	3	4	5
	середня продуктивність, м <sup>3</sup> /добу	20 000	13 200	10 000	50 000	15 000
	число секцій відстійника	6	X <sub>1</sub>	5	X <sub>1</sub>	4
	ширина секції, м	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	10	X <sub>1</sub>
	довжина секції, м	X <sub>2</sub>	45	X <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>
	вихідний вміст зав. речовин, мг/л	250	313	320	220	300
	необх. вміст зав. речовин на виході, мг/л	120	145	150	100	130
радіальні відстійники	№ варіанту	6	7	8	9	10
	середня продуктивність, м <sup>3</sup> /добу	132 000	45 000	102 000	65 000	120 000
	число секцій відстійника	3	X	4	X	5
	діаметр відстійника, м	X	45	X	40	X
	глибина відстійника, м	3,8	4	3,5	3,7	4,5
	вихідний вміст зав. речовин, мг/л	311	300	280	290	285
	необх. вміст зав. речовин на виході, мг/л	125	140	130	135	120

**Питання для самоконтролю:**

1. Що розуміють під терміном «преаерація»?
2. Чому дорівнює тривалість преаерації стічних вод?
3. Яка розрахункова витрата повітря при преаерації стічних вод?

**ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №8**

**Розрахунок крапельних біофільтрів**

**Мета заняття** – освоїти методику розрахунку біофільтрів, обсягу завантаження й обсягу надлишкової біоплівки при заданих кількості стічних вод і ступеня їхнього забруднення.

Крапельні біофільтри розміщують в опалювальному або неопалюваному приміщеннях залежно від витрати стічних вод і температури. БПК<sub>повн</sub> = 220 мг/л. Гідравлічне навантаження 3 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>добу.

## А) Без рециркуляції

1. Визначається коефіцієнт  $K_{bf}$

$$K_{bf} = \frac{L_{en}}{L_{ex}}. \quad (8.1)$$

де  $L_{en}$  і  $L_{ex}$  – БПК<sub>ПОВН</sub> стічних вод, що надходять і очищених стічних вод, мг/л.

2. Відповідно до заданої розрахункової температури стічних вод  $T_{\omega}$  і за визначеним значенням коефіцієнта  $K_{bf}$ , знаходяться параметри краплинних біофільтрів висота біофільтра  $H_{bf}$  і гідравлічне навантаження  $q_{bf}$  (табл. 8.1)

3. Залежно від добової витрати стічних вод  $Q_w$  м<sup>3</sup>/добу і прийнятого за таблицею 8.1 гідравлічного навантаження розраховується площа біофільтра:

$$F_{bf} = \frac{Q}{q_{bf}}, \quad (8.2)$$

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

4. Підбирається кількість секції  $n_{bf}$ , і розміри типових біофільтрів. Число і розміри секцій залежать від способу розподілу стічної води по поверхні. Кількість секцій повинна бути не менше 2 і не більше 6–8, усі секції робочі.

У практиці проектування застосовують біофільтри прямокутної форми в плані з розмірами сторін 3 x 3; 6 x 4; 9 x 12; 12 x 12; 15 x 15; 12 x 18 м й ін., із висотою шару завантаження 2, 3 й 4 м, а також круглої форми в плані діаметром 6, 12, 18, 24, 30 м, із висотою шару завантаження 2, 3, 4 м.

Таблиця 8.1 – Параметри для розрахунку крапельних біофільтрів

Гідравлічне навантаження м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> добу)	Коефіцієнт $K_{bf}$ при температурах $T_{\omega}$ і висоті $H_{bf}$ , м							
	$T_{\omega} = 8$		$T_{\omega} = 10$		$T_{\omega} = 12$		$T_{\omega} = 14$	
	$H_{bf}=1,5$	$H_{bf}=2$	$H_{bf}=1,5$	$H_{bf}=2$	$H_{bf}=1,5$	$H_{bf}=2$	$H_{bf}=1,5$	$H_{bf}=2$
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

3. Висоту шару завантаження крапельного біофільтра приймають у межах 1,5–2 м.

4. Визначається об'єм завантаження  $V_{bf}$ :

$$V_{bf} = H_{bf} \cdot F_{bf} \cdot K_{bf} \quad (8.3)$$

де  $H_{bf}$  – висота шару завантаження;

$F_{bf}$  – площа завантаження.

Якщо вирахуване значення коефіцієнта  $K_{bf}$  перевищує значення, що наведені в таблиці 8.1 для заданої температури стічних вод, необхідно передбачити рециркуляцію. Крапельні біофільтри з рециркуляцією розраховують у тій самій послідовності, що і високонавантажувані біофільтри.

5. Визначається обсяг надлишкової біоплівки  $V_{mud}$ , що виноситься у вторинні відстійники:

$$V_{mud} = \frac{100 \cdot q_{mud} \cdot Q_w \cdot L_{en}}{10^6 \cdot (100 - P_{mud}) \cdot a}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (8.4)$$

де  $q_{mud}$  – питома кількість надлишкової біоплівки;

$P_{mud}$  – вологість біоплівки, дорівнює 96 %;

$a$  – кількість БПК<sub>ПОВН</sub> в стічній воді на одного мешканця за добу, г/(люд·добу).

Кількість надлишкової біоплівки, яка утворюється на станціях очистки із крапельними біофільтрами визначають у залежності від норми на 1 люд., що складає 8 г за сухим залишком на добу, і вологістю плівки 96 %.

### **Б) Із рециркуляцією**

1. Визначається коефіцієнт  $K_{bf}$ , при цьому замість значення  $L_{en}$  підставляється максимально припустиме значення БПК<sub>ПОВН</sub> (220 мг/л).

$$K_{bf} = \frac{L_{en}}{L_{ex}} \quad (8.5)$$

2. За таблицею підбирається гідравлічне навантаження  $q_{bf}$ , і висота біофільтра  $H_{bf}$ .

3. Розраховується середнє значення БПК<sub>ПОВН</sub> у суміші стоків перед біофільтром  $L_{mix}$ :



$$L_{mix} = L_{ex} \cdot K_{bf}^{min}, \text{ мг/л} \quad (8.6)$$

де  $K_{bf}^{min}$  – найменше ближнє до  $K_{bf}$  значення в таблиці.

4. Після визначення  $L_{mix}$  розраховують коефіцієнт рециркуляції  $K_{rc}$ :

$$K_{rc} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{ex}}. \quad (8.7)$$

5. Визначається загальна площа біофільтрів  $F_{bf}$ .

$$F_{bf} = \frac{Q(K_{rc} + 1)}{q_{bf}}, \text{ м}^2 \quad (8.8)$$

6. Підбираються кількість і розміри типових біофільтрів, розраховується обсяг завантаження  $V_{bf}$ .

### *ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №9*

#### ***Розрахунок високонавантажуваних біофільтрів (аерофільтрів)***

**Мета заняття** – засвоїти методику розрахунку аерофільтрів, обсягу завантаження й обсягу надлишкової біоплівки при заданих кількості стічних вод і ступеня їхнього забруднення.

Аерофільтри завантажують сипучими (гравій, шлак, керамзит, галька та ін.) і зблокованими (піноскло, шифер та ін.) фільтруючими матеріалами.

Ступінь очистки в аерофільтрах залежить від висоти фільтруючого завантаження, температури стічної рідини  $T_w$ , питомої кількості повітря, що подається,  $q_a$  та гідравлічного навантаження  $q_{af}$ . Максимальна БПК<sub>повн</sub> для стічних вод, що подаються на аерофільтри – 300 мг/л. Стічні води з більшою концентрацією за БПК<sub>повн</sub> необхідно розбавляти очищеними стічними водами (проводити рециркуляцію).

#### **А) Без рециркуляції**

1. За заданою середньо зимовою температурою стічної води  $T_w$  і визначеним коефіцієнтом  $K_{af} = L_{en}/L_{ex}$ , (табл. 9.1) знаходять параметри біофільтра: висоту біофільтра  $H_{af}$ , гідравлічне навантаження  $q_{af}$  і питому витрату повітря  $q_a$ .

2. У формулу  $F_{af} = Q_w/q_{af}$ , підставляють знайдене значення  $q_{af}$  і розраховують загальну площу  $F_{af}$ .

3. Підбирається кількість секцій  $n_{af}$  і розміри типових біофільтрів.

4. Визначається обсяг завантаження  $V_{af}$  і кількість надлишкової біоплівки, що виноситься з біофільтра  $V_{mud}$ :

$$V_{af} = H_{bf} \cdot F_{1bf} \cdot n_{af} \quad (9.1)$$

При цьому питома кількість біоплівки  $q_{mud}$  приймається 28 г/(люд·добу), вологість біоплівки  $P_{mud}$  дорівнює 96 %.

5. Визначається витрата повітря  $Q_{air}$ :

$$Q_{air} = q_a Q_w, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (9.2)$$

Потім підбирається марка і кількість вентиляторів низького тиску.

Якщо отримане значення  $K_{af}$  відрізняється від значень, що наведені в таблиці 9.1, то для очищення **без рециркуляції** необхідно приймати  $H_{af}$ ,  $q_{af}$  і  $q_a$  за найближчим **більшим значенням**  $K_{af}$ , а для очищення з **рециркуляцією** – за **меншим** (встановлювати за техніко-економічним розрахунком). **БПК<sub>повн</sub> суміші стічних вод, що припустиме для подачі на аерофільтри** визначають за формулою:

$$L_{mix} = K_{af} \cdot L_{ex}. \quad (9.3)$$

При **БПК<sub>повн</sub>** вихідних стічних вод, **що перевищують 300 мг/л, необхідно приймати**  $K_{af} = 300/L_{ex}$ . Якщо в таблиці є значення  $K_{af} \geq 300/L_{ex}$ , приймають  $L_{mix} = 300$  мг/л. Якщо вказаних значень  $K_{af}$  у таблиці немає, то необхідно приймати менше значення  $K_{af}$  визначаючи за ним значення  $L_{mix}$ .

Після визначення  $L_{mix}$  розраховують коефіцієнт рециркуляції:

$$K_{rc} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{en}}. \quad (9.4)$$

Таблиця 9.1 – Параметри для розрахунку аерофільтрів

$q_a$ , М <sup>3</sup> /М <sup>3</sup>	$H_{af}$ , м	Коефіцієнт $K_{af}$ , °С; $H_{af}$ , м, і $q_{af}$ , М <sup>3</sup> /(М <sup>2</sup> ·добу)											
		$T_\omega = 8$			$T_\omega = 10$			$T_\omega = 12$			$T_\omega = 14$		
		$q_{af}= 10$	$q_{af}= 20$	$q_{af}= 30$	$q_{af}= 10$	$q_{af}= 20$	$q_{af}= 30$	$q_{af}= 10$	$q_{af}= 20$	$q_{af}= 30$	$q_{af}= 10$	$q_{af}= 20$	$q_{af}= 30$
8	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
	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
10	2	3,69	2,89	2,58	4,08	3,11	2,76	4,5	3,36	2,93	5,09	3,67	3,16
	3	6,1	4,24	3,56	7,08	4,74	3,94	8,23	5,31	4,36	9,9	6,04	4,84
	4	10,1	6,23	4,9	12,3	7,18	5,68	15,1	8,45	6,88	16,4	10	7,42
12	2	4,32	3,88	3,01	4,76	3,72	3,28	5,31	3,98	3,44	5,97	4,31	3,7
	3	7,25	5,01	4,18	8,35	5,55	4,78	9,9	6,35	5,14	11,7	7,2	5,72
	4	12	7,35	5,83	14,8	8,5	6,2	18,4	10,4	7,69	23,1	12	8,83

## Б) Із рециркуляцією

1. Визначається коефіцієнт  $K_{af}$ , при цьому замість значення  $L_{en}$  підставляється максимально припустиме значення  $BPK_{повн}$

$$K_{af} = L_{en}/L_{ex}, \quad (9.5)$$

2. За таблицею 9.1 визначається гідравлічне навантаження  $q_{af}$ , висота біофільтра  $H_{af}$  і питома витрата повітря  $q_a$ .

3. При очищенні стічних вод з рециркуляцією знаходять  $BPK_{повн}$  суміші стічних вод, яка припустима для подачі на аерофільтри за формулою:

$$L_{mix} = K_{af} \cdot L_{ex} \quad (9.6)$$

при цьому у формулу підставляється найменше ближнє до  $K_{af}$  значення з таблиці.

4. Визначається коефіцієнт рециркуляції  $K_{rc}$  за формулою (9.4)

5. Визначається загальна площа біофільтрів за формулою  $F_{af}$ ,

$$F_{af} = \frac{Q(K_{rc} + 1)}{q_{af}}. \quad (9.7)$$

де  $Q$  – середньодобовий приток стічних вод,  $m^3$ ;

$q_{af}$  – навантаження,  $m^3$ , стічних вод на  $1 m^2$  площі аерофільтра на добу.

6. Підбираються кількість та розміри типових біофільтрів, об'єм завантаження, кількість надлишкової біоплівки,

7. Залежно від прийнятої висоти завантаження фільтруючого матеріалу  $H_{af}$  і отриманої площі біофільтру визначають об'єм фільтруючого матеріалу:

$$V_{af} = H_{af} \cdot F_{af}. \quad (9.8)$$

8. Розраховується витрата повітря:

$$Q_{air} = q_a \cdot Q_w \cdot (1 + K_{rc}), \quad m^3/\text{добу} \quad (9.9)$$

і підбираються марка й кількість вентиляторів.

Необхідну питому витрату повітря  $q_a$  приймають в межах  $8-12 m^3/m^2$  з урахуванням рециркуляційної витрати.

Кількість біоплівки, що виноситься з біофільтрів, приймають  $28 g$  за сухою речовиною на людину за добу, вологість –  $96\%$

### ***Завдання для письмового розв'язання***

*Завдання 1.* Розрахувати високонавантажуваний біофільтр.

*Вихідні дані.* Добова витрата стічних вод  $Q_w = 13\ 200\ \text{м}^3/\text{добу}$ ; БПК<sub>повн</sub> надходжуваних на очищення стічних вод  $L_{en} = 215\ \text{мг/л}$ ; БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води  $L_{ex} = 14\ \text{мг/л}$ ; середньозимова температура  $T_w = 12\ \text{°C}$ ; кількість БПК<sub>повн</sub> у стічній воді на одного мешканця за добу  $a = 40\ \text{г}/(\text{мешк.} \cdot \text{добу})$ .

*Завдання 2.* Розрахувати високонавантажуваний біофільтр із рециркуляцією води.

*Вихідні дані.* Добова витрата стічних вод  $Q_w = 800\ \text{м}^3/\text{добу}$ ; БПК<sub>повн</sub> надходжуваних на очищення стічних вод  $L_{en} = 160\ \text{мг/л}$ ; БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води  $L_{ex} = 12\ \text{мг/л}$ ; середньозимова температура  $T_w = 10\ \text{°C}$ ; кількість БПК<sub>повн</sub> у стічній воді на одного мешканця за добу  $a = 40\ \text{г}/(\text{мешк.} \cdot \text{добу})$ .

*Завдання 3.* Розрахувати краплинний біофільтр.

*Вихідні дані.* БПК<sub>повн</sub> надходжуваних на очищення стічних вод  $L_{en} = 260\ \text{мг/л}$ , добова витрата стічних вод  $Q_w = 800\ \text{м}^3/\text{добу}$ ; БПК<sub>повн</sub> очищені стічні води  $L_{ex} = 12\ \text{мг/л}$ ; середньо зимова температура  $T_w = 10\ \text{°C}$ ; кількість БПК<sub>повн</sub> у стічній воді на одного мешканця за добу  $a = 40\ \text{г}/(\text{мешк.} \cdot \text{добу})$ .

### ***Питання для самоконтролю:***

1. Що поглинає органічні забруднення у біофільтрі?
2. Гранична БПК<sub>повн</sub> стічних вод, які надходять на краплинний біофільтр?
3. Як здійснюється зрошування поверхні завантаження краплинних біофільтрів?
4. Яку крупність завантаження і висоту шару завантаження мають краплинні біофільтри?
5. Гранична БПК<sub>повн</sub> стічних вод, які надходять на високонавантажуваний біофільтр?
6. Як здійснюється подача повітря у високонавантажуваний біофільтр?
7. Чи залежить окислювальна потужність завантаження біофільтра від температури очищуваних стічних вод?

8. Яку крупність завантаження і висоту шару завантаження мають високонавантажувані біофільтри?

9. Що таке коефіцієнт рециркуляції для біофільтрів?

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №10

### Розрахунок аеротенків

**Мета заняття** – освоїти методику розрахунку аеротенків.

#### Розрахунок аеротенка-змішувача

Алгоритм розрахунку параметрів аеротенків-змішувачів без регенератора:

1. Приймається доза активного мулу в аеротенку  $a_i = 2-3$  г/л.

2. Розраховується питома швидкість окислення  $\rho$ :

$$\rho = \rho_{\max} \cdot \left( L_{ex} \cdot \frac{C_o}{L_{ex} \cdot C_o + K_L \cdot C_o + K_o \cdot L_{ex}} \right) \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_r}, \text{ мг/(г} \times \text{год.)}, \quad (10.1)$$

де  $\rho_{\max}$  – максимальна швидкість окислення,  $\rho_{\max} = 85$  мг/(г×год);

$L_{en}$  – БПК повн. надходжуваної в аеротенк стічної води, мг/л;

$L_{ex}$  – БПК повн. очищеної стічної води, мг/л;

$K_L$  – константа, що характеризує властивості забруднень,  $K_L = 33$

$K_o$  – константа, що характеризує вплив кисню, дорівнює 0,625 мг  $O_2$ /л;

$\varphi$  – коефіцієнт інгібування  $\varphi = 0,07$  л/г;

$C_o$  – концентрація кисню в аеротенку  $C_o = 2$  мг/л.

3. Розраховується період аерації  $t_{at}$ :

$$t_{at} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i \cdot (1 - S) \cdot \rho}, \text{ год} \quad (10.2)$$

де  $S$  – зольність мулу, дорівнює 0,3.

4. Розраховується навантаження на активний мул  $q_i$ , мг БПК<sub>повн</sub> на 1 г беззольної речовини мулу на добу:

$$q_i = \frac{24 \cdot (L_{en} - L_{ex})}{a_i \cdot (1 - S) \cdot t_{at}}. \quad (10.3)$$

5. За таблицею 10.1 методом інтерполяції приймається муловий індекс  $J_i$  см<sup>3</sup>/г, що відповідає навантаженню  $q_i$

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

$$R_i = \frac{a_i}{\left(\frac{1000}{J_i} - a_i\right)}, \quad (10.4)$$

де  $J_i$  – муловий індекс.

Розраховане значення  $R_i$  повинне бути не менше 0,3 для відстійників з мулососами, 0,4 – з мулошкребами, 0,6 – при самопливному видаленні мулу. Якщо значення менше мінімальної величини, то ступінь рециркуляції приймається такою, що дорівнює мінімальній величині.

Таблиця 10.1 – Значення мулового індексу  $J_i$ , см<sup>3</sup>/г, залежно від навантаження на мул  $q_i$ , мг/(г·добу), для міських стічних вод [1]

$q_i$ , мг/(г·доб)	100	200	300	400	500	600
$J_i$ , см <sup>3</sup> /г	130	100	70	80	95	130

6. Визначається об'єм аеротенка  $W_{at}$ :

$$W_{at} = t_{at} \cdot q_w, \quad (10.5)$$

де  $q_w$  – розрахункова витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/год.

7. Підбирається типовий проект аеротенка, підбирається число секцій  $n_{at}$  (не менш двох, при добовій витраті до 50 000 м<sup>3</sup>/добу – 4–6, при більшій витраті – 6–8). Довжина аеротенка  $l_{at}$  визначається за формулою:

$$l_{at} = \frac{W_{at}}{n_{at} \cdot H_{at} \cdot B_{at} \cdot m_{at}}, \text{ м.} \quad (10.6)$$

де  $m_{at}$  – число коридорів в одній секції;

$B_{at}$  – ширина коридору, м;

$H_{at}$  – робоча глибина аеротенка, м.

8. Розраховується приріст активного мулу  $P_i$  за сухою речовиною:

$$P_i = 0,8 \cdot C_{cdp} + K_g \cdot L_{en}, \text{ мг/л} \quad (10.7)$$

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

$K_g$  – коефіцієнт приросту, для міських стічних вод дорівнює 0,3;

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

### **Розрахунок вторинних відстійників**

Багато приймати один тип відстійників для первинного та вторинного відстоювання.

Розрахунок вторинних відстійників виконують за гідравлічними навантаженням,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$ , яке визначається [2] за формулою:

$$q_{ssa} = \frac{4,5 \cdot K_{ssa} \cdot H_{set}^{0,8}}{(0,1 \cdot J_i \cdot a_i)^{0,5-0,01 \cdot a_i}}, \quad (10.8)$$

де  $K_{ssa}$  – коефіцієнт використання проточної частини відстійника;

$H_{set}$  – глибина проточної частини відстійника, м;

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

$a_i$  – доза активного мулу в аеротенку, прийнята в підрозділі 4.1:  $a_i=3$  г/л;

$a_t$  – винесення завислих речовин з вторинних відстійників; відповідно до розрахунку необхідного ступеня очищення стічних вод,  $a_t = C_{ex}$ , мг/л. Тривалість відстоювання у вторинних відстійниках суміші стічних вод і активного мулу дорівнює 2 год.

Потрібна загальна площа  $F_{ssa}$ , вторинних відстійників:

$$F_{ssa} = \frac{q_w \cdot (1 + R_i)}{q_{ssa}}, \quad (10.9)$$

$$n_{ssa} = \frac{4 \cdot F_{ssa}}{\pi \cdot D_{set}^2}. \quad (10.10)$$

Діаметр вторинного відстійника,  $D_{ssa}$ , приймаємо таким, що дорівнює діаметру первинного,  $D_{set}$ , і визначаємо кількість,  $n_{ssa}$ , вторинних відстійників:

$$n_{ssa} = \frac{F_{ssa}}{f_{ssa}}, \quad (10.11)$$

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

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



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

$$V = \frac{2 \cdot q_w \cdot (1 + R_i)}{3,6 \cdot \pi \cdot D_{ssa} \cdot H_{ssa} \cdot K_{ssa} \cdot n_{ssa}} \quad (10.12)$$

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

Концентрація активного мулу, що виводиться з вторинних відстійників, дорівнює дозі мулу в регенераторі  $a_r$ .

Приріст активного мулу  $P_i$  за сухою речовиною:

$$P_i = 0,8 \cdot C_{cdr} + K_g \cdot L_{en}, \text{ мг/л} \quad (10.13)$$

де  $C_{cdr}$  – концентрація завислих речовин у стічній воді, яка надходить в аеротенк;

$K_g$  – коефіцієнт приросту, для міських стічних вод дорівнює 0,3;

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

Об'єм надлишкового активного мулу:

$$\Omega_{\text{мул.надл.}} = \frac{P_i \cdot q_w \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}}{100 - P_1} \text{ м}^3/\text{ГОД.} \quad (10.14)$$

Кількість зворотного (циркулюючого) активного мулу становить 0,3 від розрахункової для аеротенків витрати:

$$\Omega_{\text{мул.зв.}} = 0,3 \cdot q_w, \text{ м}^3/\text{ГОД.} \quad (10.15)$$

Висота мулової зони типового вторинного відстійника дорівнює 0,6 м.

Об'єм мулової зони відстійників:

$$W_{\text{мул}} = F_{ssa} \cdot H_{\text{мул}}, \text{ м}^3, \quad (10.16)$$

де  $F_{ssa}$  – загальна площа відстійників.

Тривалість перебування мулу в муловій зоні вторинних відстійників

$$t = \frac{W_{\text{мул}}}{\Omega_{\text{мул.надл.}} + \Omega_{\text{мул.зв.}}}, \text{ ГОД,} \quad (10.17)$$

що відповідає вимозі, при якій місткість мулової зони вторинних відстійників після аеротенків не повинна перевищувати двохдобового перебування в ній осаду.

### ***Завдання для письмового розв'язання***

Розрахувати аеротенк вказаного типу та систему його аерації.

Вихідні дані для розрахунків зведені в таблицю 10.2

Таблиця 10.2 – Варіанти завдань до розрахунку аеротенків

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
тип аеротенку	змішувач					витискувач				
витрата стічних вод, м <sup>3</sup> /год	2 480	2 860	2 680	2 350	1 980	3 180	2 150	2 910	2 280	2 740
БПК <sub>повн</sub> наводжув. води, мг/л	140	130	240	160	180	147	120	150	135	152
БПК <sub>повн</sub> очищ. води, мг/л	21	16	19	20	18	15	13	17	14	22
конц. завислих речовин у надходжув. воді,	120	125	150	110	145	135	115	130	140	115
Середньорічна температура води, °С	16	22	18	21	19	17	20	15	23	24

### ***Порядок виконання роботи***

1. Виявити необхідність регенерації активного мулу й, відповідно розрахувати регенератора.
2. Визначити тривалість аерації, навантаження на активний мул, індекс мулу та ступінь його рециркуляції.
3. Визначити загальний об'єм споруди, об'єм аеротенка та регенератора (за необхідності), підібрати типовий проект (див. додаток Г), визначити число і довжину секції аеротенка, приріст активного мулу.
4. Визначити необхідну інтенсивність аерації стічних вод та загальну витрату повітря.

### ***Питання для самоконтролю:***

1. Від чого головним чином залежить інтенсивність та ефективність біологічної очистки стічних вод?
2. При якому значенні рН стічних вод біологічне очищення проходить найбільш ефективно?

3. З якою метою очищені стічні води подаються з аеротенків у вторинні відстійники?

4. Поясніть різницю між аеротенками-змішувачами і аеротенками-витискувачами?

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №11

### Знезараження стічних вод

Найбільше розповсюдження отримало хлорування, тобто введення в стічну воду хлору. Установка для хлорування стічної води включає 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 й при дозі активного хлору  $a = 3 \text{ г/м}^3$  [6] визначаємо за формулою:

$$q_{Cl} = \frac{1,5 \cdot a \cdot q_w}{1000}, \text{ кг/год.} \quad (11.1)$$

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

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

Підбирають хлораторну заданої продуктивності.

#### *Вибір типу змішувачів*

Хлор, що додають до стічної води, повинен бути ретельно перемішаний із нею. З хлораторної хлорна вода по поліетиленових або вінілпластових трубах подається в змішувач зі стічною водою. Для витрат стічних вод в діапазоні від 1400 і до 280000 м<sup>3</sup>/добу застосовують змішувачі типу «Лоток Паршалья».

#### *Вибір типа контактних резервуарів*

Для успішного процесу знезараження необхідна тривалість контакту стічної рідини з хлорною водою 30 хв [1, 2], після чого кількість остаточного хлору повинна бути не меншою за 1,5 г/м<sup>3</sup>.

Визначаємо тривалість контакту хлору зі стічною водою в резервуарі:

$$t = 30 - \frac{l}{v \cdot 60}, \quad (11.2)$$

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

$v$  – швидкість течії стічної води в трубопроводах, м/с.

Робочий об'єм контактних резервуарів:

$$W_{к.р.} = q_w \cdot t, \text{ м}^3. \quad (11.3)$$

Контактні резервуари проектують за типом первинних відстійників без скребачок; число резервуарів – не менше 2. Після підрахунку об'єму підбираються контактні резервуари за типом горизонтальних відстійників.

При швидкості руху стічних вод у контактних резервуарах 10 мм/с [2] довжина резервуара:

$$L = v \cdot t, \text{ м}. \quad (11.4)$$

Площа поперечного перерізу:

$$w = \frac{W_{к.р.}}{L}, \text{ м}^2. \quad (11.5)$$

При глибині  $H$  і ширині кожної секції  $b$ , кількість секцій

$$n = \frac{w}{b \cdot H}. \quad (11.6)$$

Кількість осаду:

$$\Omega_{к.р.} = \frac{a \cdot Q_{доб}}{1000}, \quad (11.7)$$

де  $a$  – питома кількість осаду, який випадає в контактних резервуарах, 0,5 л на 1 м<sup>3</sup>.

Вологість осаду – 98 %. Відведення осаду – під гідростатичним напором.

Стічні води, що пройшли повне біологічне очищення й знезараження, з показниками: концентрація завислих речовин  $C_{ex}$ , мг/л, значення БПК<sub>повн</sub>  $L_{ex}$ , мг/л – направляють до водойми та скидають за допомогою берегового випуску.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №12

### 12.1 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 вибирати 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 1:1000. 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 та ін.

При розміщенні 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 осадів теж, за можливості, 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, осадів із вторинних відстійників, біофільтрів у метантенки.

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

Розриви між окремими спорудами, (м), при розташуванні їх на місцевості з порівняно незначним нахилом можуть бути прийняті такими:

- між групами однойменних споруд 2–3;
- групами різнойменних споруд 5–10;
- групами попереднього механічного очищення і біофільтрами (враховується насип 1:1) 15– 20;
- 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;
- між спорудами (залежно від їхнього обсягу) 20 –50.

При компонуванні 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 слід об'єднати з будинком повітродувної 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 з підведенням і відведенням води по трубах або відкритих лотках. При розташуванні окремих споруд усієї станції, тобто при їх компонуванні, 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 (при місткості газгольдерів менше 1000 м<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 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, м:

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

Очисні споруди слід 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 з врахуванням можливості використання транспортних засобів.

При розташуванні споруд доцільно з однієї зі сторін прокласти дорогу, що забезпечує під'їзди до споруд, а іншу сторону намагатися залишити вільною 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 приймають 8 м.

Відстані у світу між спорудами можна прийняти: приймальна камера – будівля решіток 2–4 м; будівля решіток – піскоуловлювачі – 2–4 м; піскоуловлювачі – вимірjuвальний лоток – 15 м; вимірjuвальний 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.

Як приклад [3, рис. 15.1] наведений генплан очисних споруд. Із прикладами будови генплану очисної станції також можна ознайомитися в [2].



## ***12.2 Побудова поздовжнього профілю руху стічних вод та осаду***

Стічні води на станціях очищення транспортуються переважно самопливом відкритими залізобетонними каналами прямокутного перетину, а на окремих ділянках - по трубах або дюкерам.

Поздовжні профілі руху води й мулу по очисних спорудах проектується з урахуванням можливості взаємного висотного розташування споруд. Профілі – це розгорнуті розрізи по найдовшому шляху руху стічних вод і мулу. Для стічних вод профіль має бути виконаний від приймальної камери до випуску у водойму.

Канали прокладаються з таким розрахунком, що їхні стінки перебувають на 10-15 см вище поверхні землі. Заглиблення напірних труб і дюкерів приймається мінімальним, але не менше 0,7 м до верху труби на тих ділянках, де можливий проїзд транспорту. Заглиблення самопливних труб визначається вертикальним плануванням і також обмежується умовами можливого транспорту (0,7 м до верху).

Для складання профілів спочатку необхідно виконати всі гідравлічні розрахунки, підрахувати гідравлічні втрати при проходженні води через споруди, розвідні лотки та трубопроводи.

Глибина води в каналі, як правило, повинна перебувати в межах 0,4-0,75 м від ширини каналів. Відстань від рівня води до борта каналу зазвичай приймається не менше 0,2-0,3 м.

Сполучення ділянок виконується за рівнем води, а при зменшенні її глибини - по дну каналів, тобто з перепадом.

Зазвичай ухили каналів приймаються близькими до ухилів поверхні землі, але якщо останні настільки великі, що швидкість у каналах перевищує 1,5-2 м/с, необхідно передбачати перепади.

Транспортування води від прийомної камери до дюкеру перед розподільною камерою первинних відстійників здійснюється каналами з гідравлічним ухилом  $\geq 0,001$  з дотриманням рекомендованих швидкостей.

При призначенні ухилів каналів виходять із необхідності забезпечити

швидкості не менше мінімальних (табл. 8. 1). За умовами провадження робіт ухили дна каналів не повинні бути менше 0,001-0,0005.

Таблиця 12.1 – Визначення ухилів каналів

Характеристика води	Мінімальна швидкість, м/с
Стічна вода до піскоуловлювачів	0,9
Після піскоуловлювачів до первинних відстійників	0,75
Після первинних відстійників	0,6
Після біологічного очищення до вторинних відстійників	0,75
Після вторинних відстійників	0,5–0,4
На випуску	0,4

Для побудови профілю за рухом води шлях її по комунікаціях і спорудах на генеральному плані розбивають на розрахункові ділянки, границями яких є точки виміру витрати (місця поділу й злиття потоку), зміни поздовжніх ухилів, форми або розмірів перетину каналів або труби, окремі споруди (рис. 12.1). За ділянку приймають відрізок лотка чи труби або цілу споруду, де не відбувається зміна витрати.

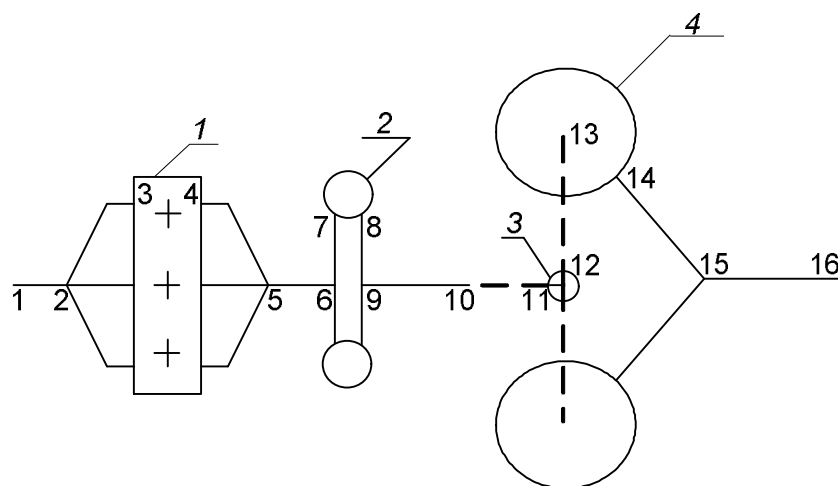


Рисунок 12.1 - Розрахункова схема:

1 – решітка; 2 – піскоуловлювач; 3 – розподільна чаша; 4 – первинний відстійник

Для кожної ділянки визначається розрахункова витрата, що дорівнює розрахунковій продуктивності тих очисних споруд, до яких подається або від яких відводиться вода до даної ділянки, при цьому вводиться підвищувальний

коефіцієнт 1,4, який враховує перспективне збільшення навантаження на станцію очищення.

Отримані в такий спосіб довжини ділянок відкладають на кресленнях у горизонтальному масштабі, який потрібно прийняти однаковим з масштабом генерального плану очисної станції. У вертикальному напрямку в масштабі 1:100 повинні бути відкладені від умовного обр'ю відмітки землі на початку та в кінці кожної ділянки. За отриманими точками будують профіль поверхні землі, а на ньому – профіль руху води (висотна схема).

Для самопливного руху стічної води по всіх спорудах станції необхідно, щоб відмітка поверхні води в каналі, що підводить, перевищувала відмітку води у водоймі при високому обр'ї на величину, достатню для компенсації усіх втрат напору за шляхом руху води по спорудах з урахуванням запасу 1–1,5 м, необхідного для забезпечення вільного витікання води з оголовка випуску у водойму.

Для визначення висотного розміщення основних споруд враховують розрахункові втрати напору у кожному з них, у каналах та трубопроводах за ходом руху стічних вод, мулу, осадів. Втрати напору в окремих спорудах станції допускається приймати без спеціального розрахунку [2, 3].

Для попередніх розрахунків різницю відміток рівня води перед спорудою і після неї приймають за таблицею 12.2. Орієнтовні втрати напору потрібні для визначення мінімально необхідних позначок рівнів води в спорудах. Мінімальні відмітки споруд визначаються починаючи від випуску стічних вод.

Таблиця 12.2 – Орієнтовні втрати напору в спорудах

Споруди	Втрати напору, см
1	2
Решітки	10-25
Піскоуловлювачі, жируловлювачі	10-25
Відстійники:	
горизонтальні	10-25
радіальні	40-60
вертикальні	50-70
Біофільтри зі спринклерною подачею води	H+50

## Продовження таблиці 12.2

1	2
Біофільтри з обертовими зрошувачами	H+50
Аеротенки	50-80
Аеротенки – відстійники	50-80
Барабанні сітки	20-30
Фільтри піщані	H+200
Контактні резервуари	10-30
Умовні позначення: H – висота завантаження.	

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

На профілі повинні бути вказані позначки: рівнів води в окремих точках, лотків, розвідних каналів, відповідальних точок споруд, поверхні землі до й після планування.

Визначення розмірів каналів і трубопроводів та гідравлічних втрат в них проводиться за максимальною секундною витратою стічних вод з коефіцієнтом 1,4 [1]. Швидкості потоку рекомендується приймати у межах (м/с): для сирієї стічної рідини – 0,9–1,0; для води, що пройшла піскоуловлювачі – 0,7–1,0; для освітленої води – 0,6–1,0; для очищеної води 0,5–1,0.

Профіль за рухом стічних вод будують за формою, поданою в таблиці 12.3.

Таблиця 12.3 - Профіль руху стічних вод

Існуючі відмітки поверхні землі (15 мм)	Приймається за генеральним планом очисних споруд
1	2
Проектовані відмітки поверхні землі (15 мм)	
Відмітки поверхні води (15 мм)	Розраховують з урахуванням витрат
Відмітки дна каналу, споруди (15 мм)	Приймають за розрахунковими даними лотків і споруд
Номери точок (10 мм)	Приймають за генеральним планом
Відстані (10 мм)	Залежно від розміщення споруд у плані і беруть за точками, наміченими на плані

### Продовження таблиці 12.3

1	2
Ухил (10 мм)	Приймають за нормами з ухилу припустимих швидкостей у каналі й трубах
Розміри каналів чи труб (15 мм)	З розрахунку
<p><b>Примітка 1.</b> Мінімальну розрахункову швидкість руху біохімічно очищених стічних вод у лотках і трубах допускається приймати 0,6 м/с.</p> <p><b>Примітка 2.</b> Розрахункове наповнення трубопроводів і каналів з поперечним перерізом будь-якої форми слід приймати не більше 0,7 висоти.</p> <p><b>Примітка 3.</b> Найменші ухили трубопроводів і каналів слід приймати залежно від припустимих мінімальних швидкостей руху стічних вод.</p>	

При розрахунку відкритих каналів приймають відношення глибини потоку до ширини каналу – 0,5–0,75, запас від горизонту води до бортів каналу – 0,2– 0,3 м при його ширині до 1 м і 0,3–0,4 при ширині понад 1 м.

Гідравлічний розрахунок каналів та трубопроводів слід здійснювати за таблицями для розрахунку каналізаційних мереж [10].

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 самопливний, так і напірний трубопровід;
- 2) активний мул із вторинних відстійників через мулоущільнювачі також надходить у приймальний резервуар насосної станції метантенків, а після зброджування осад через насосну станцію подається на муловий майданчик або у цех механічного зневоднення осаду.

## **2 ЗМІСТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИСЦИПЛІНИ Й КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

### *ЗМ 1.1 МЕТОДИ І СХЕМИ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД*

#### **Тема 1 СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ СТІЧНИХ ВОД**

1. Поняття «стічні води». Утворення міських стічних вод.
2. Класифікація забруднень стічних вод.
3. Основні показники ступеня забруднення стічних вод.
4. Визначення концентрації забруднень міських стічних вод.

#### ***Питання для самоперевірки:***

1. Як класифікують стічні води?
2. Охарактеризуйте побутові стічні води.
3. Які основні забруднення характерні для побутових стічних вод?
4. Охарактеризуйте промислові стічні води.
5. Охарактеризуйте атмосферні стічні води.
6. Які є джерела забруднення поверхневого стоку?
7. Які основні забруднення характерні для виробничих та атмосферних стічних вод?
8. Як утворюються так звані «міські» стічні води?
9. Які основні забруднення за походженням характерні для різних видів стічних вод?
10. Які основні забруднення за фізичним станом характерні для різних видів стічних вод?
11. Що називають БПК? Стандартні умови для його визначення. Чим відрізняється БПК<sub>5</sub> від БПК<sub>повн.</sub>?

## **Тема 2 ОХОРОНА ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ВІД ЗАБРУДНЕННЯ СТІЧНИМИ ВОДАМИ**

1. Класифікація водних об'єктів за видами водокористування.
2. Санітарні умови випуску стічних вод у водойми.
- 3 Самоочищення води у водних об'єктах.
- 4 Розрахунок коефіцієнта змішування води водойми зі стічними водами.
- 5 Визначення необхідного ступеня очищення стічних вод.

### ***Питання для самоперевірки:***

1. Яким чином визначають концентрацію забруднень у стічних водах?
2. За якими основними показниками визначають необхідний ступінь очищення стічних вод?
3. Як визначають ступінь очистки стічних вод за кількістю завислих речовин?
4. Якими нормативними документами визначені умови спуску стічних вод у водоймища?
5. Чому дорівнює граничне допустиме значення БПК стічних вод після скиду стічних вод у водойму?

## **Тема 3 МЕТОДИ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД І СХЕМИ ОЧИСНИХ СТАНЦІЙ**

1. Методи очистки стічних вод і обробки осадів.
2. Технологічні схеми очисних станцій.

### ***Питання для самоперевірки:***

1. З якою метою проводять очищення стічних вод?
2. Як класифікують способи очищення стічних вод і в яких випадках їх застосовують?
3. Які групи споруд входять до складу загальноміських очисних споруд?

4. Охарактеризуйте схему очищення стічних вод з біологічним очищенням в аеротенках.
5. У яких випадках проводять глибоке доочищення стічних вод?
6. Які осади утворюються при очищенні стічних вод?

*ЗМ 1.2 ПРОЦЕСИ ТА СПОРУДИ МЕХАНІЧНОЇ ОЧИСТКИ  
СТІЧНИХ ВОД*

**Тема 4 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ОЧИЩЕННЯ  
СТІЧНИХ ВОД**

1. Призначення решіток. Конструкції решіток.
2. Розрахунок решіток.

*Питання для самоперевірки:*

1. У чому полягає суть механічного очищення стічних вод?
2. Назвіть споруди, в яких здійснюється механічне очищення стічних вод.

**Тема 5 СПОРУДИ ДЛЯ МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД**

1. Призначення і конструктивні відмінності піскоуловлювачів різних типів.
2. Переваги та недоліки різних типів піскоуловлювачів.
3. Розрахунок піскоуловлювачів різних типів.
4. Видалення і обробка піску.

*Питання для самоперевірки:*

1. Яке призначення мають піскоуловлювачі і на затримання піску якої крупності вони розраховуються?
2. Типи піскоуловлювачів та їхні переваги.
3. За якими критеріями вибирають тип піскоуловлювача?
4. Методи видалення піску з піскоуловлювачів і способи його зневоднення.



## **Тема 6 ПЕРВИННІ ВІДСТІЙНИКИ**

1. Первинні відстійники. Конструктивні типи відстійників.
2. Розрахунок первинних відстійників.

### *Питання для самоперевірки:*

1. Призначення та типи первинних відстійників. Недоліки й переваги кожного типу відстійників.
2. За якими критеріями вибирають тип відстійника?
3. Як визначають розрахункове значення гідравлічної крупності завислих речовин при проектуванні первинних відстійників?
4. Як видаляють сирий осад з первинних відстійників різних типів?
5. Як видаляють плаваючі домішки з первинних відстійників?

## **Тема 7 ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПЕРВИННОГО ВІДСТОЮВАННЯ СТІЧНИХ ВОД**

1. Попередня аерація.
2. Освітлювачі з природною аерацією.
3. Біокоагуляція.

### *Питання для самоперевірки:*

1. У яких випадках виникає необхідність інтенсифікації механічного очищення стічних вод?
2. Інтенсифікація первинного відстоювання стічних вод попередньою аерацією. Недоліки цього методу.
3. Наскільки збільшується ефект первинного освітлення за завислими речовинами і БПК<sub>повн</sub>.
4. Який з методів інтенсифікації первинного відстоювання стічних вод є більш ефективним?
5. Конструкція біофлокулятора.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки : навч. посібник / О. А. Василенко, С. М. Епоян, Г. М. Смірнова, І. В. Корінько, Л. О. Василенко, Т. С. Айрапетян. – Київ – Харків : КНУБА, ХНУБА, 2012. – 572 с.
2. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посібник / В. А. Ковальчук. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.
3. Запольський, А. К. Фізико-хімічна теорія коагуляційного очищення води / А. К. Запольський ; Національний університет харчових технологій. – Київ : НУХТ, 2009. – 39 с.
4. Ласков Ю. М. Примеры расчёта канализационных сооружений / Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов, В. И. Калицун. – М. : Стройиздат, 1987. – 72 с.
5. ДБН В.2.5–75: 2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ : Межрегіон України. – 210 с.
6. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами. Затв. Постановою Кабміну України від 25.03.1999, № 303.
7. Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод / Учебник для вузов / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов ; под общ. ред. Ю. В. Воронова. – 3-е изд., доп. и перераб. – М. : АСВ, 2004. – 704 с.
8. Гудков А. Г. Механическая очистка сточных вод : учеб. пособие / А. Г. Гудков. – Вологда : ВоГТУ, 2003. – 151 с.
9. Очистка сточных вод (примеры расчетов): учебник для высш. и сред. спец. образования по специальности «Водоснабжение и канализация» / [М. П. Лапицкая, Л. И. Зуева, Н. М. Балаескул, Л. В. Кузнецов]. – Минск : Высш. шк., 1988. – 255 с.

*ЗМ 1.3 БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ТА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ  
СТІЧНИХ ВОД*

**Тема 8 МЕТОДИ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД**

1. Класифікація методів біологічного очищення стічних вод.
2. Біологічне очищення стічних вод у природних умовах. Поля зрошення і поля фільтрації.

***Питання для самоперевірки:***

1. У чому полягає сутність біологічного очищення води?
2. Як впливають різні фактори (вміст кисню, біогенних елементів і токсичних речовин, рН середовища, температура тощо) на ефективність процесів біологічного очищення води?
3. Назвіть способи біологічного очищення води?

**Тема 9 БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД  
У ШТУЧНО СТВОРЕНИХ УМОВАХ**

1. Біологічні фільтри, їх класифікація.
2. Технологічні параметри роботи біофільтрів.
3. Основні типи біофільтрів з об'ємним завантаженням.
4. Біофільтри з площинним завантаженням.

***Питання для самоперевірки:***

1. Яке призначення мають і для яких умов роботи призначені біофільтри?
2. Як класифікують біофільтри за умовами аерації й за матеріалами завантаження?
3. Крапельні та високонавантажувані біофільтри, їх відмінні особливості.
4. Основні конструктивні елементи біофільтрів.
5. Принцип дії біофільтрів.
6. Системи розподілу стічних вод по поверхні біофільтра.

## **Тема 10 БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД В АЕРОТЕНКАХ**

1. Сутність процесу очищення в аеротенках.
2. Класифікація аеротенків за основними ознаками. Конструкції аеротенків.
3. Основні технологічні схеми очищення стічних вод в аеротенках
4. Системи аерації в аеротенках.
5. Технологічні характеристики роботи аераційних споруд.
6. Розрахунок аеротенків.
7. Класифікація і конструкції вторинних відстійників.
8. Розрахунок вторинних радіальних відстійників.

### ***Питання для самоперевірки:***

1. Які є типи аеротенків?
2. Що таке активний мул і його роль в очищенні стічних вод?
3. Які відомі основні показники стану активного мулу?
4. В яких випадках необхідно проектувати аеротенки з регенерацією?
5. Для чого потрібна подача стисненого повітря в аеротенки?
6. Як здійснюють аерацію стічних вод у аеротенках?
7. Яке призначення мають вторинні відстійники після аеротенків?
8. Схарактеризуйте осади, що утворюються під час біологічного очищення стічних вод.
9. Чому дорівнює час відстоювання рідини у вторинних відстійниках після аеротенків?

## **Тема 11 ЗНЕЗАРАЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД**

1. Методи знезараження стічних вод.
2. Змішувачі стічних вод із хлорною водою і контактні резервуари.

### ***Питання для самоперевірки:***

1. Які методи застосовують для знезараження стічних вод?
2. Як здійснюють введення хлору в стічну воду з метою її знезараження?

3. Яка необхідна тривалість контакту стічної рідини з хлорною водою?
4. Яку дозу активного хлору, г/м<sup>3</sup>, застосовують для дезінфекції стічної води після повного біологічного очищення?
5. Яка вологість, % і питома кількість осаду, л/м<sup>3</sup>, який випадає у контактних резервуарах?
6. Назвіть переваги знезараження стічних вод УФ-випромінювання порівняно із хлором?

## **Тема 12 МЕТОДИ ТА СПОРУДИ ДЛЯ ДООЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД**

1. Очищення стічних вод у біологічних ставках.
2. Доочищення стічних вод на фільтрах. Конструкції фільтрів.

### ***Питання для самоперевірки:***

1. Основні завдання доочистки біологічно очищених стічних вод.
2. Які методи застосовують для доочистки біологічно очищених стічних вод?
3. Які фільтри застосовують для доочистки стічних вод?
4. З якою метою перед фільтрами доочистки стічних вод встановлюють барабанні сітки?
5. Одношарові і двошарові швидкі фільтри.
6. Конструкція каркасно-засипних фільтрів.
7. Фільтри з плаваючим завантаженням із пінополістиролу.

## **РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Василенко О. А. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки : навч. посібник / О. А. Василенко, С. М. Епоян, Г. М. Смірнова, І. В. Корінько, Л. О. Василенко, Т. С. Айрапетян. – Київ – Харків : КНУБА, ХНУБА, 2012. – 572 с.
2. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посібник / В. А. Ковальчук. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.

3. Запольський, А. К. Фізико-хімічна теорія коагуляційного очищення води / А. К. Запольський ; Національний університет харчових технологій. – Київ : НУХТ, 2009. – 39 с.

4. Ласков Ю. М. Примеры расчёта канализационных сооружений / Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов, В. И. Калицун. – М. : Стройиздат, 1987. – 72 с.

5. ДБН В.2.5–75: 2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ : Межрегіон України. – 210 с.

6. Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод / Учебник для вузов / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов ; под общ. ред. Ю. В. Воронова. – 3-е изд., доп. и перераб. – М. : АСВ, 2004. – 704 с.

7. Гудков А. Г. Биологическая очистка городских сточных вод : учеб. пособие / А. Г. Гудков. – Вологда : ВоГТУ, 2003. – 127 с.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5–75: 2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ : Межрегіон України. – 210 с.
2. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки : навч. посібник / О. А. Василенко, С. М. Епоян, Г. М. Смірнова, І. В. Корінько, Л. О. Василенко, Т. С. Айрапетян. – Київ – Харків : КНУБА, ХНУБА, 2012. – 572 с.
3. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посібник / В. А. Ковальчук. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.
4. Карпушкин С. В. Оборудование переработки промышленных отходов : учеб. пособие / С. В. Карпушкин, В. А. Немтинов. – Тамбов, 2018. – 105 с.
5. Ласков Ю. М. Примеры расчёта канализационных сооружений / Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов, В. И. Калицун. – М. : Стройиздат, 1987. – 72 с.
6. Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод / Учебник для вузов / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов ; под общ. ред. Ю. В. Воронова. – 3-е изд., доп. и перераб. – М. : АСВ, 2004. – 704 с.
7. Гудков А. Г. Механическая очистка сточных вод : учеб. пособие / А. Г. Гудков. – Вологда : ВоГТУ, 2003. – 151 с.
8. Гудков А. Г. Биологическая очистка городских сточных вод : учеб. пособие / А. Г. Гудков. – Вологда : ВоГТУ, 2003 – 127 с.
9. Липунов, И. Н. Очистка сточных вод в биологических реакторах с биопленкой и активным илом: учебное пособие / И. Н. Липунов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. университет, 2015. – 110 с.
10. Лукиных А. А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н. Н. Павловского : справочное пособие / А. А. Лукиных, Н. А. Лукиных. – 5-е изд. – М. : Стройиздат, 1987. – 152 с.
11. Карманов А. П. Технология очистки сточных вод / А. П. Карманов, И. Н. Полина. – Москва-Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. – 210 с.

## ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Нормативи якості води у водоймі

Види водокористування	Категорія водокористування	Граничнодопустима концентрація (ГДК), мг/л		
		БПК <sub>пов</sub> н, L <sub>ГДК</sub>	Збільшення завислих речовин, С <sub>ГДК</sub>	Розчинений кисень, О <sub>ГДК</sub>
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)

## ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Параметри для розрахунку піскоуловлювачів

Діаметр частинок піску, що затримуються, мм	Гідравлічна крупність $u_0$ , мм/с	Значення $K_s$ залежно від типу піскоуловлювача й відношення $B/H$ (для аерованих піскоуловлювачів)			
		Горизонтальні піскоуловлювачі	Аеровані піскоуловлювачі		
			$B/H=1$	$B/H=1,25$	$B/H=1,5$
0,15	13,2	–	2,62	2,5	2,39
0,2	18,7	1,7	2,43	2,25	2,08
0,25	24,2	1,3	–	–	–



Таблиця Б.2 – Технологічні параметри роботи піскоуловлювачів

Тип піскоуловлювачів	Гідравлічна крупність піску, мм/с	Швидкість руху води, м/с		Глибина м	Кількість затриманого осаду, л/добу на 1 мешканця	Вміст піску в осаді, %
		мінімальна	максимальна			
Горизонтальні	18,7–24,2	0,15	0,3	0,5–2	0,02	55–60
Тангенційні	18,7–24,2	–	–	0,5–3	0,02	70–75
Аеровані	13,2–18,7	0,08	0,12	0,7–3,5	0,03	90–97

Таблиця Б.3 – Розміри типових піскоуловлювачів з коловим рухом води

Орієнтовна продуктивність м <sup>3</sup> /добу	Діаметр, м	Відстань між центрами піскоуловлювачів, м	Ширина, м	
			кільцевого жолоба	підвідного та відвідного лотків
2 700	4,0	6,0; 6,5	0,5; 0,8	0,3
4 200				0,3
7 000				0,45
10 000				0,6
17 000	6,0	10,0; 11,0	1,0	0,6
25 000			1,4	0,9
40 000			1,5	0,9
64 000			1,8	1,2

Таблиця Б.4 – Розміри типових аерованих піскоуловлювачів

Орієнтовна продуктивність тис. м <sup>3</sup> /добу	Кількість відділень	Розміри відділень, м			Відношення В/Н	Витрата повітря на аерацію, м <sup>3</sup> /год, при інтенсивності 3 м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> год)
		Ширина <i>B</i>	Глибина <i>H</i>	Довжина <i>L</i>		
70	2	3,0	2,1	12	1,34	200
100	3	3,0	2,1	12	1,34	300
140	2	4,5	2,8	18	1,5	460
200	3	4,5	2,8	18	1,5	690
280	4	4,5	2,8	18	1,5	920

Таблиця Б.5 – Розміри типових горизонтальних піскоуловлювачів

Орієнтовна продуктивність тис. м <sup>3</sup> /добу	Кількість відділень	Розміри відділення, м		
		довжина	ширина	робоча глибина
25	2	9	1,25	0,55
50	2	15	2,8	0,55
70	2	18	3,0	0,58
100	3	18	3,0	0,55
140	2	19	4,5	0,67
200	3	18	4,5	0,65
280	4	18	4,5	0,67

## ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – 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 $h_l = 500$ мм при концентрації 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

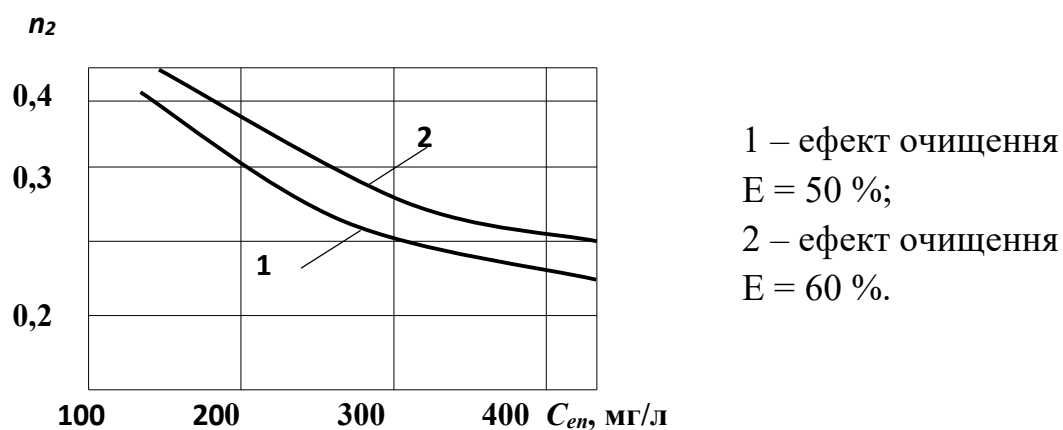


Рисунок В.1 – Залежність показника ступеня  $n_2$  від вихідної концентрації завислих речовин у міських стічних водах

Таблиця В.2 – Розрахункові параметри первинних відстійників

Відстійник	$K_{set}$	$H_{set}$ , м	Ширина $B_{set}$ , м	Швидкість робочого потoku, $v_{\omega}$ , мм/с	Ухил дна до мулового прямку
Горизонтальний	0,5	1,5–4	$2H_{se}-5H_{set}$	5–10	0,005–0,05
Радіальний	0,45	1,5–5	–	5–10	0,005–0,05
Вертикальний	0,35	2,7–3,8	–	–	–

Таблиця В.3 – Розміри типових радіальних відстійників

Орієнтовна продуктивність, м <sup>3</sup> /год	Діаметр, м		Глибина, м	Об'єм зони відстоювання, м <sup>3</sup>	Примітка
	відстій- ника	впускного пристрою			
525	18	1,4	3,4	788	первинний
525	18	1,4	3,7	788	вторинний
930	24	1,6	3,4	1 400	первинний
930	24	1,6	3,7	1 400	вторинний
1 460	30	1,8	3,4	2 190	первинний
1 460	30	1,8	3,7	2 190	вторинний
3 054	40	2,0	4,0	4 580	первинний
3 054	40	2,0	4,35	4 580	вторинний

Таблиця В.4 – Розміри типових горизонтальних відстійників

Орієнтовна продуктивність, м <sup>3</sup> /год	Кількість відділень	Розміри відділення, м			Розрахунковий об'єм, м <sup>3</sup>
		ширина	довжина	глибина	
1 160	4	6	24	3,15	1 740
1 740	6	6	24	3,15	2 610
2 130	4	9	30	3,1	3 200
3 200	6	9	30	3,1	4 800
4 260	8	9	30	3,1	6 400

### ДОДАТОК Г

Таблиця Г.1 – Основні параметри типових аеротенків-змішувачів

Ширина коридора, м	Робоча глибина аеротенка, м	Кількість коридорів	Робочий об'єм секції, м <sup>3</sup>	Довжина секції, м	Тип аерації	Номер типового проекту
3	1,2	2	170 260	24 36	механічна	902-2-94 902-2-95/96
4	4,5	2	864 1 296	24 36	низько-напірна	902-2-215/216 902-2-217/218
6	5	3	3 780 5 400 7 560	42 60 83	пневматична	902-2-268 902-2-269 902-2-211
9	5,02	4	21 680 28 080	120 150	пневматична	902-2-120/72 902-2-64

Таблиця Г.2 – Основні параметри типових аеротенків-витискувачів

Ширина коридору, $B_{av}$ , м	Робоча глибина аеротенка, $H_{av}$ , м	Кількість коридорів, $m$	Робочий об'єм однієї секції, м <sup>3</sup> , при довжині, м						Кількість рядів аераторів від першого коридору до четвертого	Номер типового проекту
			32–42	48–54	60–66	72–78	84–90	96–102		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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	901–2–178
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

Продовження таблиці Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		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	903–2–179
9,0	4,4	2	–	–	–	6 180	6 650– 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	904–2–180
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	903–2–180

*Виробничо-практичне видання*

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до практичних занять та організації самостійної роботи

з навчальної дисципліни

**«ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД»**

*(для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня*

*за спеціальністю*

*194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)*

Укладач **АЙРАПЕТЯН** Тамара Степанівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2021, поз. 527 М.

---

Підп. до друку 07.10.2020. Формат 60 × 84/16.

Електронне видання. Ум. друк. арк. 4,2.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.