

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

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до практичних занять та самостійного вивчення

з навчальної дисципліни

**«ОЧИСНІ СПОРУДИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ»**

*(для студентів скороченого терміну навчання*

*освітнього рівня «бакалавр»*

за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія,

спеціалізація (освітня програма) «Цивільна інженерія

(Водопостачання та водовідведення)»)

**Харків**

**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**

**2020**

Методичні рекомендації до практичних занять та самостійного вивчення з навчальної дисципліни «Очисні споруди водовідведення» для студентів скороченого терміну навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізація (освітня програма) «Цивільна інженерія (Водопостачання та водовідведення) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 65 с.

Укладач канд. техн. наук, 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 та очистки вод, протокол № 1 від 29.08.2019.*

## ЗМІСТ

### 1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Практичне заняття 1 Визначення витрат стічних вод. Визначення концентрації забруднень міських стічних вод.....	4
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 Розрахунок краплинних біофільтрів.....	30
Практичне заняття 8 Розрахунок високонавантажуваних біофільтрів (аерофільтрів).....	35
Практичне заняття 9 Розрахунок аеротенків.....	41
2 ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	47
3 ЗМІСТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИСЦИПЛІНИ. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	49
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТКИ.....	57

# 1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

## Практичне заняття №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:

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

де  $Q_{доб}^{ноб}$  – 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:

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

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

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

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

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

де  $K_{gen.max}$  максимальний коефіцієнт нерівномірності, що визначається залежно від середньої секундної добової витрати  $q_{ноб}$ , 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:

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

### Визначення концентрації 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:

$$C_i^{nob} = \frac{a_i \times 1\,000}{n}, \quad (1.1)$$

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:

$$C_{en} = \frac{C_i^{nob} \cdot Q^{nob} + C_i^{пром} \cdot Q^{пром}}{Q^{nob} + Q^{пром}}, \quad (2.2)$$

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.

### Виконання роботи

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														
	150	160	170	180	190	200	140	210	220	230	240	250	260	270	280
I район	150	160	170	180	190	200	140	210	220	230	240	250	260	270	280
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.														
	10	15	2	2,5	30	3,5	4	45	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
I район	10	15	2	2,5	30	3,5	4	45	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
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									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Витрата, тис. м <sup>3</sup> /добу	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
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 практичних занять** – 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:

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{l_\phi}}}{1 + (Q_p/q) \cdot e^{-\alpha \sqrt[3]{l_\phi}}}, \quad (1.3)$$

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:

$$a = \varphi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{E/q}, \quad (1.4)$$

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:

$$E = V_p \cdot H_p / 200, \quad (1.5)$$

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.



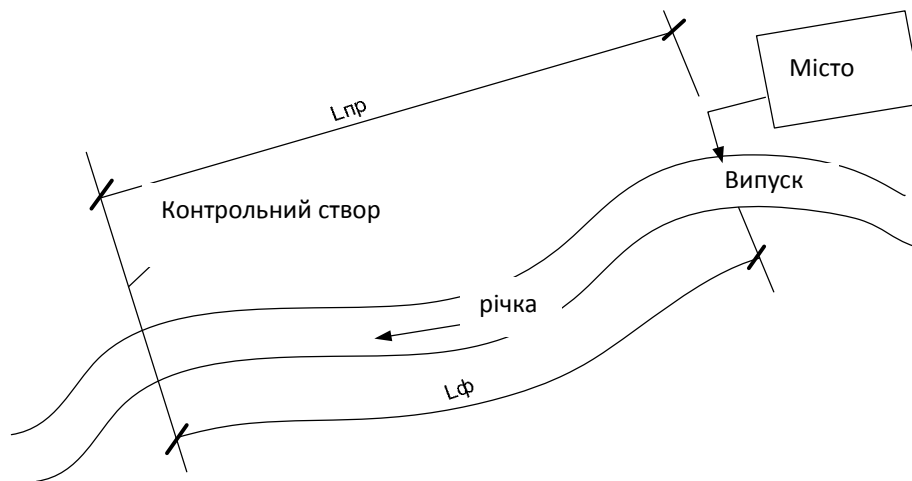


Рисунок 1.1. Схема ділянки ріки, де здійснюється змішування стічних вод з водою водойми

$L_{пр}$  – 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 плинун 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 практичних занять** – 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 (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. 1.7).

Таблиця 1.7 – 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.

**Практичне заняття № 4**  
**Механічне очищення стічних вод.**  
**Розрахунок і підбір решіток**

**Мета практичних занять** – набуття навичок розрахунку й підбора 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 ( $\text{м}^3/\text{с}$ ).

Механізоване очищення решіток від затриманого осаду з улаштуванням дробарки для їх подрібнення передбачають при кількості осаду  $0,1 \text{ м}^3/\text{добу}$  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. 1.2).

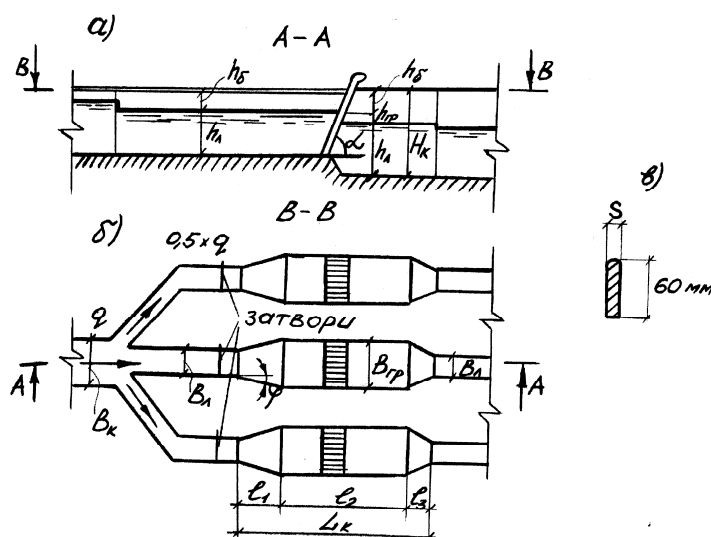


Рисунок 1.2 – Схема влаштування підвідних каналів і лотків і решіток:

- а) переріз підвідних каналів, лотків і решіток; б) план підвідних каналів, лотків і решіток; в) поперечний переріз стержня ґрати типу МГ

Кількість осадів, що знімаються з решіток:

$$\Omega_{ep} = \frac{8 \cdot N_c}{1000 \cdot 365} = \frac{8 \cdot 202718}{1000 \cdot 365} = 4,44 \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (1.6)$$

де  $N_c$  – приведенне за завислими речовинами населення

За таблицею 1.8 підбираються відповідні для розрахункового випадку типові ґрати з механізованим очищенням (якщо  $\Omega_p > 0,1 \text{ м}^3/\text{добу}$ ).

Таблиця 1.8 – Технічні характеристики решіток

Пропускна здатність станції, $Q$ , тис. $\text{м}^3/\text{добу}$	Розрахункова витрата, $q$ , $\text{м}^3/\text{с}$	Марка решітки	Розміри каналу $B_{ep} \times H_{ep}$ , мм	Кількість			
				решіток робочих (резервних)	прозорів	дробарок Д-3б продуктивністю, кг/год.	
						50–100	300–600
18	0,29	МГ–7Т $q=0,31$ $\text{м}^3/\text{с}$	800×1400	1 (1)	31	1	–
25–35	0,4–0,53	–”–	–”–	2(1)	31	1	–
50	0,72	МГ–11Т $q = 0,45$ $\text{м}^3/\text{с}$	1 000×1 600	2 (1)	39	1	–
70	0,96	–”–	–”–	2 (1)	39	1 (1)	1 (1)
100	1,36	МГ–8Т $q = 1$ $\text{м}^3/\text{с}$	1 400×2 000	2 (1)	55	–	1 (1)
140	1,87	–”–	–”–	2 (1)	55	–	1 (1)
200	2,68	МГ–6Т $q=1,62$ $\text{м}^3/\text{с}$	2 000×2 000	2 (1)	84	–	1 (1)

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

Ширина камери,  $B_{zp}$ , м, яка дорівнює ширині решітки, обчислюється за формулою:

$$B_{zp} = S \cdot (n - 1) + v \cdot n, \quad (1.7)$$

де  $S$  – товщина стержня 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  $MG$  при максимальному припливу стічних вод повинна бути рівною 0,8–1,00 м/с

$$v_{zp} = \frac{q_{\max} \cdot K}{v \cdot h_{л} \cdot h}, \quad (1.8)$$

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

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

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

$$V_{\min} = \frac{q_{\min}}{B_{zp} \cdot h_{л}} \text{ м/с}. \quad (1.9)$$

Загальна довжина камери решіток дорівнює сумі довжин усіх елементів камери:

$$L_k = l_1 + l_2 + l_3, \quad (1.10)$$

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

$$l_1 = \frac{B_{zp} - B_{л}}{2 \cdot \operatorname{tg} \varphi} \text{ м}, \quad (1.11)$$

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

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

$$l_3 = 0,5 \cdot l_1. \quad (1.12)$$

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

$$H_k = h_{л} + h_{zp} + h_{\sigma}, \quad (1.13)$$

де  $h_{л}$  – глибина шару води перед решітками, яка дорівнює наповненню в лотку при максимальному припливі, м;

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

$h_0$  – висота бортів камери, конструктивно приймають 0,5 м.

Втрати напору, м, в решітках розраховуємо за формулою:

$$h_{zp} = \frac{3 \cdot \xi \cdot v^2}{2 \cdot g}, \quad (1.14)$$

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

$v$  – швидкість руху води в решітках;

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

$$\xi = 2,42 \cdot (S/\epsilon)^{4/3} \cdot \sin 60^\circ \quad (1.15)$$

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 типа 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

$$W_{д.н.} = 40 \cdot \Omega_{zp} \cdot \rho, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (1.16)$$

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 типа СУ

Стержні решіток СУ виготовляються з нержавіючого профілю, що має в перерізі краплеподібну форму товщиною  $S=4,8$  мм. Прозори між стержнями дорівнюють  $\epsilon = 5,2$  мм, відстань між центрами стержнів – 10 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 м.

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

Решітки типу  $CV$  влаштовують у окремій будівлі, тут же розміщують дробарки з бункером. Виготовляють різних типорозмірів залежно від будівельних розмірів підвідних лотків (табл. 1.9).

Таблиці 1.9 – Технічні характеристики решіток типу  $CV$

Типорозмір решіток	Ширина камери решіток $B_k, \text{мм}$	Повна довжина решіток $L, \text{мм}$	Довжина решіток, яка занурена у потік $h, \text{мм}$	Висота до опори валу, $H, \text{мм}$	Ширина проціджуючого полотна решіток $B_{cp}, \text{мм}$	Живий переріз проціджуючого полотна $f, \text{м}^2$	Кількість прозорів $n$	Радіус звороту решітки $R, \text{мм}$
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:

$$F = \frac{q_{\max}}{v_{zp}}, \quad (1.17)$$

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.

$$F = \frac{0,833}{1,0} = 0,833 \text{ м}^2. \quad (1.18)$$

Кількість робочих решіток:

$$N = \frac{F}{f}. \quad (1.19)$$

Кількість резервних решіток – 1.

Ширина решіток  $B_{zp}$ , м:

$$B_{zp} = S \cdot (n - 1) + e \cdot n, \quad (1.20)$$

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

$$q_{\max} = f \cdot v_{zp}, \quad (1.21)$$

$$v_{zp} = \frac{q_{\max} \cdot K}{e \cdot h \cdot n \cdot N}, \quad (1.22)$$

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  $60^\circ$ :

$$h = \frac{h_{\max}}{\sin 60^\circ}, \quad (1.23)$$

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:



$$V_{\min} = \frac{q_{\min}}{B_k \cdot h_{\min}}, \text{ м/с}, \quad (1.24)$$

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

Втрати напору в решітках визначають за формулою:

$$h = \frac{K \cdot \xi \cdot v_{cp}^2}{2 \cdot g}, \quad (1.25)$$

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

$\xi$  – коефіцієнт місцевого опору решіток:

$$\xi = \beta \cdot (S/\epsilon)^{4/3} \cdot \sin \varphi. \quad (1.26)$$

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

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

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

$$H_K^2 = H_K^1 + h_p, \text{ м}. \quad (1.27)$$

Визначимо розміри камери решіток у плані:

$$l_1 = \frac{B_K - B_L}{2 \cdot \text{tg} 20^0}, \text{ м}, \quad (1.28)$$

$$l_3 = l_1/2, \text{ м}. \quad (1.29)$$

Загальна будівельна довжина камери решіток:

$$L_K = l_1 + l_2 + l_3, \text{ м}. \quad (1.30)$$

$$H_K^1 = H - 0,35 \text{ м}. \quad (1.31)$$

Будівельна глибина камери решіток визначається за рисунком 1.3.

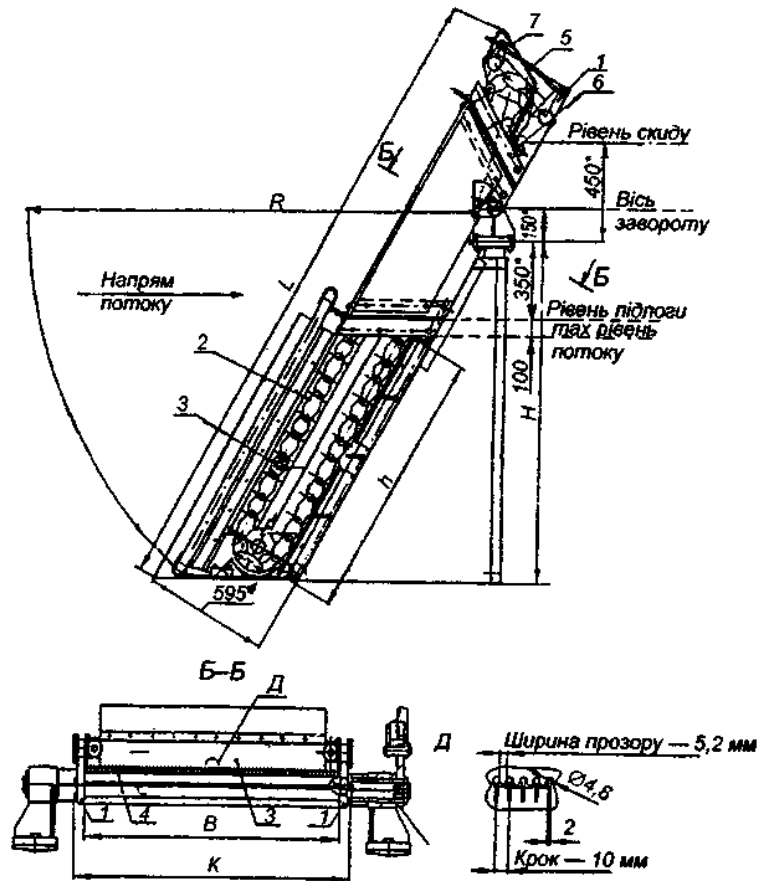


Рисунок 1.3 – Каналізаційні механізовані решітки СУ:

- 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

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

$$\Omega_p = \frac{\alpha_p \cdot N_c}{1000 \cdot 365}, \quad (1.32)$$

де  $a_p$  – 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);

$N_c$  – приведенне населення за завислими речовинами.

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

$$N_p = \frac{Q_{доб} \cdot 1000}{n}, \text{ мешк.}, \quad (1.33)$$

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  $40 \text{ м}^3$  на 1 т покидьків. Вологість осадів  $P_{д.н.}$  дорівнює 98–98,5%, кількість:

$$\Omega = 40 \cdot \Omega_{зр} \cdot \rho, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (1.34)$$

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

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

### **Завдання.**

За заданою продуктивністю очисної станції визначити розміри решіток і кількість забруднень, що затримуються.

*Порядок розрахунку:*

1. Розрахунковою витратою для решіток є максимальна секундна витрата.
2. Підбирається перетин каналу перед решітками:  $V_k$ ,  $h_k$ ,  $V_k$ , причому краще коли відношення  $h_k/V_k = 1$ .
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 отриманими 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. Які решітки можна віднести до перспективних?

4. Де розміщуються решітки?

5. Як визначається ширина решітки?

6. Яка швидкість потоку стічних вод між стержнями решітки?

## Практичне заняття № 5

### Розрахунок піскоуловлювачів

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

*Розрахунок горизонтальних піскоуловлювачів*

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 за 30 с.

Площа поперечного перерізу одного відділення:

$$F = \frac{Q}{V \cdot n}, \quad (1.35)$$

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:

$$L_s = \frac{1\,000 \cdot K_s \cdot H_s \cdot v_s}{u_o}, \quad (1.36)$$

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

$H_s$  – 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 потоку стічних вод рекомендується приймати не менше ніж 30 с (при максимальному припливі).

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

- тривалість потоку 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*

#### **Задача**

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

#### Розв'язання

1. Визначають загальну площу поперечного перерізу піскоуловлювачів за формулою:

$$F = \frac{Q_{\text{макс}}}{3600 \cdot V_s}, \quad (1.37)$$

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

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

$$N = \frac{F}{B \cdot H}, \quad (1.38)$$

де  $B$  – ширина відділення піскоуловлювача, яку приймають за орієнтовним його 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 або 4,5 м).

3. Визначають довжину аерованих піскоуловлювачів

$$L_s = \frac{1000 \cdot K_s \cdot H_s \cdot v_s}{u_0}, \quad (1.39)$$

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

Остаточню 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:

$$\Omega_n = \frac{q_n \cdot N_{36}^{3,p}}{1000} \quad (1.40)$$

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

$N_{36}^{3,p}$  – приведене число жителів за завислими речовинами.

*Питання для самоконтролю:*

1. Яке призначення мають піскоуловлювачі і на затримання піску якої крупності вони розраховуються?
2. За рахунок яких сил відбувається видалення піска?
3. Принцип роботи гідромеханічної системи змиву осаду в піскоуловлювачі.
4. Яка нормативна кількість піску затримується в горизонтальному піскоуловлювачі у розрахунку на одну людину?
5. Яка нормативна кількість піску затримується в аерованому піскоуловлювачі у розрахунку на одну людину?
6. У якому місці в аерованих піскоуловлювачах встановлюються дірчасті труби-аератори?
7. Яке нормативне значення відношення ширини відділення до глибини аерованого піскоуловлювача?

*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 піска, 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 %?



## Практичне заняття № 6

### Первинні відстійники. Розрахунок первинних відстійників

**Мета практичних занять** – набуття навичок підбора й розрахунку первинних відстійників.

#### Виконання роботи

За продуктивністю очисної станції розрахувати й підібрати первинні відстійники. При цьому необхідно визначити їх тип, число, основні конструктивні розміри, а також обсяг затриманого осаду.

Розрахунок відстійників полягає у виборі типу й числа відстійників, що забезпечують потрібний ефект освітлення.

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:

$$E = \frac{(C_{en} - C_{cdp}) \cdot 100}{C_{en}}, \quad (1.41)$$

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

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

$$u_o = \frac{1000 \cdot K_{set} \cdot H_{set}}{t_{set} \cdot \left( \frac{K_{set} \cdot H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}}, \quad (1.42)$$

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

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

$t_{set}$  – 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:

$$q_{set} = 3,6K_{set}L_{set}B_{set}(u_0 - v_{tb}), \text{ м}^3/\text{год} \quad (1.43)$$

– радіальний і вертикальний:

$$q_{set} = 2,8 \cdot K_{set} \cdot (D_{set}^2 - d_{en}^2) \cdot (u_0 - v_{tb}), \quad (1.44)$$

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:

$$D_{set} = \sqrt{\frac{4Q}{3,6 \cdot \pi \cdot K_{set} \cdot (u_0 - v_{tb}) \cdot n_{set}}}, \quad (1.45)$$

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:

$$L_{set} = \frac{v_w \cdot H_{set}}{K_{set} \cdot u_0} \quad (1.46)$$

При визначенні розмірів відстійників доцільно орієнтуватися на розміри типових споруд (табл. В.3 і табл. 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:

$$N_{\text{відст}} = \frac{Q_{\max}}{q_{\text{set}}} \quad (1.47)$$

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

$$v_{\phi} = \frac{2 \cdot q_{\text{set}}}{3,6 \cdot \pi \cdot D_{\text{set}} \cdot H_{\text{set}} \cdot K_{\text{set}}}, \text{ мм/с}, \quad (1.48)$$

для горизонтальних відстійників

$$v_{\phi} = \frac{q_{\text{set}}}{3,6 \cdot \pi \cdot H_{\text{set}} \cdot B_{\text{set}}} \quad (1.49)$$

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,  $C_{\text{cdp}}$ :

$$\Omega_{\text{mud}} = \frac{K \cdot Q_{\text{доб}} \cdot (C_{\text{en}} - C_{\text{cdp}})}{(100 - P_{\text{mud}}) \cdot \rho_{\text{mud}} \cdot 10^4}, \quad (1.50)$$

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;

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

$\rho_{mud}$  – 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

$$C_{cdp} = \frac{C_{en} \cdot (100 - E)}{100} \quad (1.51)$$

за БПК<sub>повн</sub>

$$L_{en} = \frac{L'_{en} \cdot (100 - E)}{100} \quad (1.52)$$

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

### **Задача.**

Визначити кількість і діаметр первинних радіальних відстійників.

*Вихідні дані*

- розрахункова витрата очищуваних стічних вод –  $Q_{\max}$ , 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 (1.44).

2. Обчислюють кількість відстійників за максимальною годинною витратою стічних вод за формулою (1.47).

3. Обчислюють фактичну горизонтальну швидкість руху води у відстійнику.

## Інтенсифікація первинного освітлення

### Розрахунок пристроїв попередньої аерації

Преаератори виконуються у вигляді окремих, убудованих і прибудованих до первинних відстійників споруд.

### Послідовність розрахунку преаераторів:

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

$$W = \frac{Q_p \cdot t}{n_{set}} \quad (1.53)$$

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>:

$$F = \frac{W}{H_{set}} \quad (1.54)$$

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

3. Визначають ширину коридору преаератора, м:

$$B = H_{set} - 1,5 H_{set}. \quad (1.55)$$

4. Розраховують довжину преаератора, м:

$$L = \frac{F}{B} \quad (1.56)$$

### Питання для самоконтролю:

1. Як визначити необхідний ефект очищення при первинному відстоюванні?
2. Яку вологість і щільність має осад з первинних відстійників?
3. Що таке крива кінетики освітлення?
4. У якому типі відстійника змінюється швидкість руху стічних вод?
5. Що розуміють під терміном «преаерація»?
8. Чому дорівнює тривалість преаерації стічних вод?
9. Яка розрахункова витрата повітря при преаерації стічних вод?

## ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2

### Практичне заняття № 7

#### Розрахунок краплинних біофільтрів

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

Краплинні біофільтри розміщують в опалювальному або неопалюваному приміщеннях залежно від витрати стічних вод і температури.  $BPK_{\text{повн}} = 220$  мг/л. Гідравлічне навантаження  $3 \text{ м}^3/\text{м}^2$  добу.

#### А. Без рециркуляції

1. Визначається коефіцієнт  $K_{bf}$

$$K_{bf} = \frac{L_{en}}{L_{ex}}. \quad (1.57)$$

де  $L_{en}$  і  $L_{ex}$  –  $BPK_{\text{повн}}$  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. 1.10)

3. Залежно від добової витрати стічних вод  $Q_w$   $\text{м}^3/\text{добу}$  і прийнятого за таблицею 1.10 гідравлічного навантаження розраховується площа біофільтра:

$$F_{bf} = \frac{Q}{q_{bf}}, \quad (1.58)$$

де  $Q$  – витрата стічних вод,  $\text{м}^3/\text{добу}$ .

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 3x3; 6x4; 9x12; 12x12; 15x15; 12x18 м й ін., з висотою шару завантаження 2, 3 й 4 м, а також круглої форми в плані діаметром 6, 12, 18, 24, 30 м, з висотою шару завантаження 2, 3, 4 м.

Таблиця 1.10 – Параметри для розрахунку краплинних біофільтрів

Гідравлічне навантаження $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$	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

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

6. Визначається об'єм завантаження  $V_{bf}$

$$V_{bf} = H_{bf} \cdot F_{bf} \quad (1.59)$$

де  $H_{bf}$  – висоту шару завантаження

$F_{bf}$  – площа завантаження.

Якщо вираховане значення коефіцієнта  $K_{bf}$  перевищує значення, що наведені в таблиці 1.10 для заданої температури стічних вод, необхідно передбачити рециркуляцію. Крапельні біофільтри з рециркуляцією розраховують у тій самій послідовності, що і високонавантажувані біофільтри.

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

$$V_{mud} = \frac{100 \cdot q_{mud} \cdot Q_w \cdot L_{en}}{10^6 \cdot (100 - P_{mud}) \cdot a}, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (1.60)$$

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. 3 рециркуляцією**

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

$$K_{bf} = \frac{L_{en}}{L_{ex}}. \quad (1.61)$$

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  $L_{mix}$ :

$$L_{mix} = L_{ex} \cdot K_{bf}^{\min}, \text{ мг/л} \quad (1.62)$$

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

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

$$K_{rc} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{ex}}. \quad (1.63)$$

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

$$F_{bf} = \frac{Q(K_{rc} + 1)}{q_{bf}}, \text{ м}^2 \quad (1.64)$$

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

### **Приклад розрахунку краплинного біофільтра без рециркуляції**

#### *Вихідні дані*

Добова витрата стічних вод  $Q_w = 780 \text{ м}^3/\text{добу}$ ; БПК<sub>ПОВН</sub> надходжуваних стічних вод  $L_{en} = 185 \text{ мг/л}$ ; БПК<sub>ПОВН</sub> очищеної стічної води  $L_{ex} = 15 \text{ мг/л}$ ; середньо зимова температура стічної води  $T_w = 14^\circ\text{C}$ ; кількість БПК<sub>ПОВН</sub> у стічній воді на одного мешканця за добу  $a = 40 \text{ г}/(\text{люд}\cdot\text{добу})$ . Розрахувати краплинний біофільтр.



### *Розв'язання*

Оскільки значення БПК<sub>повн</sub> надходжуваних стічних вод менше припустимого значення (220 мг/л), приймаємо краплинні біофільтри без рециркуляції.

Розраховуємо коефіцієнт  $K_{bf}$ .

$$K_{bf} = 185/15 = 12,3.$$

За таблицею відповідно із середньо зимовою температурою  $T_w$  і визначеним значенням  $K_{bf}$  підбираємо висоту завантаження біофільтра  $H_{bf} = 2$  м і гідравлічне навантаження  $q_{bf} = 1,5$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·добу).

Визначається загальна площа біофільтрів:

$$F_{bf} = 780/1,5 = 520 \text{ м}^2.$$

Приймаємо біофільтри круглої форми в плані діаметром  $D=12$  м з кількістю секцій  $n_{bf}=5$  і площею однієї секції  $F_1 = 113$  м.

Об'єм завантаження:

$$V_{bf} = 5 \cdot 113 \cdot 2 = 1130 \text{ м}^3.$$

**Завдання 1.** Розрахувати краплинний біофільтр за наступними вихідними даними: добова витрата стічних вод  $Q_w = 810$  м<sup>3</sup>/добу; БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить на очищення  $L_{en} = 195$  мг/л; БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води  $L_{ex} = 20$  мг/л; середньо зимова температура стічної води  $T_w = 14^\circ\text{C}$ ; кількість БПК<sub>повн</sub> у стічній воді на одного мешканця за добу  $a = 35$  г/(люд·добу).

**Завдання 2.** Розрахувати краплинний біофільтр за наступними вихідними даними: добова витрата стічних вод  $Q_w = 850$  м<sup>3</sup>/добу; БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить на очищення  $L_{en} = 200$  мг/л, БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води  $L_{ex} = 19$  мг/л, середньо зимова температура стічної води  $T_w = 12^\circ\text{C}$ , середньо річна температура повітря  $5^\circ\text{C}$ .

## Приклад розрахунку краплинного біофільтра з рециркуляцією

### Вихідні дані

БПК<sub>повн</sub> надходжуваних стічних вод  $L_{ep} = 255$  мг/л; БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води  $L_{ex} = 15$  мг/л; середньо зимова температура стічної води  $T_w = 13^\circ\text{C}$ ; кількість БПК<sub>повн</sub> у стічній воді на одного мешканця за добу  $a = 40$  г/(люд·добу). Розрахувати краплинний біофільтр.

### Розв'язання

Оскільки значення БПК<sub>повн</sub> надходжуваних стічних вод більше припустимого значення (220 мг/л), приймаємо краплинні біофільтри з рециркуляцією стічної води.

1) розраховуємо коефіцієнт  $K_{bf}$ :

$$K_{bf} = 220/15 = 14,7$$

За таблицею відповідно із середньо зимовою температурою  $T_w$  і визначеним значенням  $K_{bf}$  підбираємо висоту завантаження біофільтра  $H_{bf} = 2$  м і гідравлічне навантаження  $q_{bf} = 1,0$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·добу).

Найменше ближнє до  $K_{bf}$  значення:  $K_{bf \min} = (13,8 + 15,1)/2 = 14,45$ , тоді за формулою (1.62) середнє значення БПК<sub>повн</sub> у суміші стоків перед біофільтром становитиме:

$$L_{\text{mix}} = 15 \cdot 14,45 = 217 \text{ мг/л.}$$

За формулою (1.63) визначимо коефіцієнт рециркуляції:

$$K_{rc} = (255 - 217)/(217 - 15) = 0,19.$$

Знаходимо загальну площу біофільтрів за формулою (1.64)

$$F_{bf} = \frac{7800(0,19+1)}{1} = 928 \text{ м}^2.$$

Приймаємо біофільтри прямокутної форми в плані з розмірам сторін 12x18 м, кількістю секцій  $n_{bf} = 5$  і площею однієї секції  $F_1 = 216$  м<sup>2</sup>.

Знаходимо об'єм завантаження:

$$V_{bf} = 5 \cdot 216 \cdot 2 = 2160 \text{ м}^3.$$

**Завдання 3.** Розрахувати краплинний біофільтр з рециркуляцією стічної води. БПК<sub>повн</sub> надходжуваних стічних вод  $L_{ep} = 265$  мг/л; БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води  $L_{ex} = 20$  мг/л; середньо зимова температура стічної води

$T_w = 14^\circ\text{C}$ ; кількість БПК<sub>повн</sub> у стічній воді на одного мешканця за добу  $a = 40$  г/(люд·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?

## **ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8**

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

**Мета практичних занять** – освоїти методику розрахунку необхідної кількості високонавантажуваних біофільтрів, обсягу завантаження й витрати повітря при заданих кількостях стічних вод і ступеня їх забрудненості.

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).

### **I. Без рециркуляції**

1. За заданою середньо зимовою температурою стічної води  $T_w$  і визначеним коефіцієнтом  $K_{af} = L_{en}/L_{ex}$ , (таблиця 1.11) знаходять параметри біофільтра: висоту біофільтра  $H_{af}$ , гідравлічне навантаження  $q_{af}$  і питому витрату повітря  $q_a$ .

2. У формулу  $F_{af} = Q_w/q_{af}$ , підставляється знайдене значення  $q_{af}$  і розраховується загальна площа  $F_{af}$ .

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

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

$$V_{af} = H_{bf} \cdot F_{1bf} \cdot n_{af} \quad (1.65)$$

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

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

$$Q_{air} = q_a Q_w, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (1.66)$$

Потім підбирається марка і кількість вентиляторів низького тиску.

Якщо отримане значення  $K_{af}$  відрізняється від значень, що наведені в таблиці 8.1, 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:

$$L_{mix} = K_{af} \cdot L_{ex}. \quad (1.67)$$

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:

$$K_{rc} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{en}}. \quad (1.68)$$

Таблиця 1.11 – Параметри для розрахунку аерофільтрів

$q_a$ , $M^3/M^3$	$H_{af}$ , м	Коефіцієнт $K_{af}$ , °C; $H_{af}$ , м, і $q_{af}$ , $M^3/(M^2 \cdot \text{добу})$											
		$T_\omega = 8$			$T_\omega = 10$			$T_\omega = 12$			$T_\omega = 14$		
		$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$	$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$	$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$	$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$
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

## II. 3 рециркуляцією

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

$$K_{af} = L_{en}/L_{ex}, \quad (1.69)$$

2. За таблицею 8.1 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:

$$L_{mix} = K_{af} \cdot L_{ex} \quad (1.70)$$

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

4. За формулою  $K_{rc} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{en}}$  визначається коефіцієнт рециркуляції

$K_{rc}$ .

5. За формулою  $F_{af} = \frac{Q(K_{rc} + 1)}{q_{af}}$  визначається загальна площа біофільтрів

$F_{af}$ , підбираються кількість та розміри типових біофільтрів, об'єм завантаження, кількість надлишкової біоплівки,

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

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

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

$$V_{af} = H_{af} \cdot F_{af}. \quad (1.71)$$

7. Розраховується витрата повітря:

$$Q_{air} = q_a \cdot Q_w \cdot (1 + K_{rc}), \quad m^3/\text{добу} \quad (1.72)$$

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 г за сухою речовиною на людину за добу, вологість – 96%

### **Приклад розрахунку високонавантаженого біофільтра**

Вихідні дані

Добова витрата стічних вод  $Q_w = 13\,600 \text{ м}^3/\text{добу}$ ; БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить на очищення  $L_{ep} = 203 \text{ мг/л}$ ; БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води  $L_{ex} = 21 \text{ мг/л}$ ; середньо зимова температура стічної води  $T_w = 12^\circ\text{C}$ ; кількість БПК<sub>повн</sub> в стічній воді на одного мешканця за добу  $a = 40 \text{ г}/(\text{мешк} \times \text{добу})$ .

Розрахунок.

Оскільки значення БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить на очищення менше припустимого значення (300 мг/л), рециркуляція стічної води не потрібна.

Знаходимо коефіцієнт  $K_{af} = 203/21 = 9,7$ .

За таблицею 1.11 підбираємо висоту завантаження біофільтра  $H_{af} = 4 \text{ м}$  і питома витрата повітря  $q_a = 8 \text{ м}^3/\text{м}^3$  (при температурі води  $12^\circ\text{C}$ ). Потім за допомогою інтерполяції розраховуємо гідравлічне навантаження при значенні  $K_{af} = 9,7$ :

$$q_{af} = 10 - (10 - 20)(11,2 - 9,7)/(11,2 - 7,54) = 14,1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{добу}).$$

Визначаємо загальну площу біофільтрів:  $F_{af} = 13600/14,1 = 965 \text{ м}^2$ .

Приймаємо біофільтри круглої форми в плані діаметром  $D = 18 \text{ м}$  з кількістю секцій  $n_{af} = 4$  і площею однієї секції  $F_1 = 255 \text{ м}^2$ .

Обсяг завантаження за формулою (1.65) складе:

$$V_{af} = 4 \cdot 255 \cdot 4 = 4080 \text{ м}^3.$$

Потім розраховуємо обсяг надлишкової біоплівки:

$$V_{mud} = (100 \cdot 28 \cdot 13\,600 \cdot 203) / 106(100 - 96)40 = 48,3 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

За формулою (8.2) визначаємо витрата повітря для біофільтрів:

$$Q_{air} = 8 \cdot 13\,600 = 108\,800 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Для подачі цієї кількості повітря приймаємо два робочих й один резервний вентилятор низького тиску продуктивністю 2500 м<sup>3</sup>/год.

## Завдання

Розрахувати високонавантажуваний біофільтр за наступним вихідними даними. Добова витрата стічних вод  $Q_w = 12700 \text{ м}^3/\text{добу}$ ; БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить на очищення  $L_{ex} = 215 \text{ мг/л}$ ; БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води  $L_{ex} = 18 \text{ мг/л}$ ; середньо зимова температура стічної води  $T_w = 12^\circ\text{C}$ ; кількість БПК<sub>повн</sub> в стічній воді на одного мешканця за добу  $a = 35 \text{ г}/(\text{мешк}\times\text{добу})$ .

## Приклад розрахунку високонавантажуваного біофільтра з рециркуляцією

Вихідні дані – ті самі, що у попередньому прикладі.

Розрахунок

$K_{af} = 203/21 = 9,7$ . За таблицею 1.11 підбираємо висоту завантаження біофільтра  $H_{af} = 3 \text{ м}$  і питома витрата повітря  $q_a = 10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Табличний коефіцієнт при гідравлічному навантаженні  $q_{af} = 10 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{добу})$  дорівнює  $K_{af} = 8,23$ . Оскільки це значення менше розрахункового ( $K_{af} = 9,7$ ), необхідна рециркуляція.

За формулою (1.70)  $L_{mix} = L_{ex} K_{af \min}$  знаходимо середнє значення БПК<sub>повн</sub> у суміші стоків перед біофільтром:

$$L_{mix} = 21 \cdot 8,23 = 173 \text{ мг/л.}$$

Потім визначаємо коефіцієнт рециркуляції:

$$K_{rc} = (203 - 173)/(173 - 21) = 0,197.$$

Знаходимо загальну площу біофільтрів:

$$F_{af} = 13\,600(0,197 + 1)/10 = 1628 \text{ м}^2.$$

Приймаємо біофільтри круглої форми в плані діаметром  $D = 24 \text{ м}$  з кількістю секцій  $n_{af} = 4$  і площею однієї секції  $F_1 = 452 \text{ м}^2$ .

Обсяг завантаження складе:

$$V_{af} = 4 \cdot 452 \cdot 3 = 5424 \text{ м}^3.$$

Розраховуємо обсяг надлишкової біоплівки:

$$V_{mud} = (100 \cdot 28 \cdot 13600 \cdot 203) / 106(100 - 96)40 = 48,3 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Визначаємо витрату повітря для біофільтрів за формулою (1.72)



$$Q_{\text{air}} = 10 (0,197 + 1) 13600 = 162790 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Для подачі повітря приймаємо два робочих й один резервний вентилятори низького тиску продуктивністю 3500 м<sup>3</sup>/год.

### **Завдання**

Розрахувати високонавантажуваний біофільтр за наступним вихідними даними. Добова витрата стічних вод  $Q_w = 14300 \text{ м}^3/\text{добу}$ ; БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить на очищення  $L_{ex} = 220 \text{ мг/л}$ ; БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води  $L_{ex} = 25 \text{ мг/л}$ ; середньо зимова температура стічної води  $T_w - 14^\circ\text{C}$ ; кількість БПК<sub>повн</sub> в стічній воді на одного мешканця за добу  $a = 40 \text{ г}/(\text{мешк} \times \text{добу})$ .

*Питання для самоконтролю:*

1. Гранична БПК<sub>повн</sub> стічних вод, які надходять на високонавантажуваний біофільтр?
2. Як здійснюється подача повітря у високонавантажувані біофільтри?
3. Чи залежить окислювальна потужність завантаження біофільтра від температури очищуваних стічних вод?
4. Яку крупність завантаження і висоту шару завантаження мають високонавантажувані біофільтри?
5. Що таке коефіцієнт рециркуляції для біофільтрів?

## **ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №9**

### **Розрахунок аеротенків**

#### **Расчет аеротенка–змішувача**

Алгоритм розрахунку параметрів аеротенків–змішувачів без регенератора:

1. Приймається доза активного мулу в аеротенку  $a_i = 2-3 \text{ г/л}$ .
2. Розраховується питома швидкість окислення  $\rho$ :

$$\rho = \rho_{\text{max}} \cdot \left( L_{ex} \cdot \frac{C_o}{L_{ex} \cdot C_o + K_L \cdot C_o + K_o \cdot L_{ex}} \right) \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_r}, \text{ мг}/(\text{г} \times \text{год.}), \quad (1.73)$$

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

$L_{en}$  – 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  $t_{at}$ :

$$t_{at} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i \cdot (1 - S) \cdot \rho}, \text{ год} \quad (1.74)$$

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:

$$q_i = \frac{24 \cdot (L_{en} - L_{ex})}{a_i \cdot (1 - S) \cdot t_{at}}. \quad (1.75)$$

5. За таблицею 1.12 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:

$$R_i = \frac{a_i}{\left( \frac{1000}{J_i} - a_i \right)}, \quad (1.76)$$

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 1.12 – 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

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

$$W_{at} = t_{at} \cdot q_w, \quad (1.77)$$

де  $q_w$  – розрахункова витрата стічних вод,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

9. За таблицю Г.1 (дод. Г) вибирається типовий проект аеротенка, підбирається число секцій  $n_{at}$  (не менш двох, при добовій витраті до  $50\,000 \text{ м}^3/\text{добу}$  – 4–6, при більшій витраті – 6–8). Довжина аеротенка  $l_{at}$  визначається за формулою:

$$l_{at} = \frac{W_{at}}{n_{at} \cdot H_{at} \cdot B_{at} \cdot m_{at}}, \text{ м.} \quad (1.78)$$

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

$B_{at}$  – ширина коридору, м;

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

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

$$P_i = 0,8 \cdot C_{cdp} + K_g \cdot L_{en}, \text{ мг/л} \quad (1.79)$$

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 аеротенків-змішувачів з регенераторами**

1. Приймається середня доза активного мулу  $a_{i \text{ mix}} = 2,5\text{--}4,5 \text{ г/л}$  і ступінь регенерації (частка обсягу, зайнята регенератором)  $Ri$  (наприклад,  $Ri = 0,3$ ).

2. Розраховується питома швидкість окислення  $\rho$  за формулою (1.73) при дозі  $a_{i \text{ mix}}$ .

3. Розраховується період аерації  $t_{atm}$  за формулою (1.74) при дозі  $a_{i \text{ mix}}$ .

4. Розраховується навантаження на активний мул  $q_i$  за формулою (1.75) при дозі  $a_{i \text{ mix}}$ .

5. За таблицю 1.12 приймається муловий індекс  $J_i$ , що відповідає навантаженню  $q_i$ .

6. Розраховується ступінь рециркуляції активного мулу  $R_i$  за формулою (1.76) при дозі активного мулу  $a_{i \text{ mix}}$ . Значення  $R_i$  перевіряється на відповідність вищевказаним умовам.

7. Визначається загальний обсяг аеротенка  $W_{\text{atm}}$  та обсяг регенератора  $W_r$ :

$$W_r = t_r \cdot R_i \cdot q_w, \text{ м}^3. \quad (1.80)$$

$$W = W_{\text{at}} + W_r, \text{ м}^3. \quad (1.81)$$

8. Визначаються розміри аеротенка з регенератором, підбираються типові аеротенки–змішувачі за таблицею Г.1 (дод. Г) по загальному обсягу ( $W_{\text{atm}} + W_r$ ). Під регенератор виділяється або цілком одна секція аеротенка, або частина одного коридору в кожній секції.

9. Розраховується приріст активного мулу  $P_i$  за формулою:

$$P_i = 0,8 \cdot C_{\text{cdr}} + K_g \cdot L_{\text{en}}, \text{ мг/л} \quad (1.82)$$

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

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

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

### **Розрахунок аеротенків-витискувачів без регенераторів**

1. Приймається доза активного мулу в аеротенку  $a_i = 3\text{--}5$  г/л та попереднє значення мулового індексу  $J_i$  (наприклад,  $100 \text{ см}^3/\text{г}$ ).

2. Розраховується ступінь рециркуляції активного мулу  $R_i$  за формулою (1.76). Значення  $R_i$  перевіряється на відповідність вищевказаним умовам.

3. Визначається БПК<sub>повн</sub> стічних вод, які надходять у аеротенк-витискувач, з урахуванням розбавлення циркуляційним мулом за формулою:

$$L_{\text{mix}} = \frac{L_{\text{en}} + L_{\text{ex}} \cdot R_i}{1 + R_i}. \quad (1.83)$$

5. Розраховується навантаження на активний мул  $q_i$  за формулою (1.75) при значеннях  $L_{\text{mix}}$  (замість  $L_{\text{en}}$ ) і  $t_{\text{atv}}$ .

6. За таблицею 1.12 перевіряється відповідність попередньо заданого мулового індексу  $J_i$  отриманому навантаженню  $q_i$ . Якщо муловий індекс

відрізняється від табличного значення більш ніж на 10 %, розрахунок повторюється знову з пункту 2, приймаючи новий муловий індекс, що відповідає навантаженню  $q_i$ .

7. Визначається обсяг аеротенка з урахуванням рециркуляційної витрати  $W_{at}$ :

$$W_{at} = t_{at} \cdot (1 + R_i) \cdot q_w, \quad (1.84)$$

де  $q_w$  – розрахункове надходження стічних вод у аеротенк, м<sup>3</sup>/год.

8. За таблицю Г.2 (дод. Г.2) вибирається типовий проект аеротенка-витискувача, виписуються всі необхідні дані, за формулою (1.78) визначається довжина секції аеротенка.

9. Розраховується приріст активного мулу  $P_i$  за формулою (1.82).

### **Розрахунок аеротенків-витискувачів з регенераторами**

1. Приймається доза активного мулу в аеротенку  $a_i = 2-4,5$  г/л та попереднє значення мулового індексу  $J_i$  (наприклад, 100 см<sup>3</sup>/г).

2. Розраховується ступінь рециркуляції активного мулу  $R_i$  за формулою (1.76). Значення  $R_i$  перевіряється на відповідність вищевказаним умовам.

3. Визначається БПК<sub>повн</sub> стічних вод, які надходять у аеротенк-витискувач з урахуванням розведення рециркуляційною витратою  $L_{mix}$  за формулою (1.83).

4. Розраховується тривалість перебування стічних вод у аеротенку

$$t_{at} = \frac{2,5}{a_i^{0,5}} \cdot \lg \frac{L_{mix}}{L_{ex}}, \text{ год.} \quad (1.85)$$

5. Визначається доза мулу в регенераторі:

$$a_r = a_i \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot R_i} + 1 \right) \text{ г/л.} \quad (1.86)$$

6. Розраховується питома швидкість окислення  $\rho$  за формулою (1.73) при дозі  $a_i$ .

7. Визначається тривалість окислення забруднень, год, у системі «аеротенк-регенератор» визначаємо за формулою:

$$t_o = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i \cdot a_r \cdot (1 - S) \cdot \rho}, \quad (1.87)$$

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

7. Період регенерації мулу:

$$t_r = t_o - t_{at}, \text{ ГОД.} \quad (1.88)$$

8. Тривалість перебування води в системі «аеротенк-регенератор»:

$$t_{im} = (1 + R_i) \cdot t_{at} + R_i \cdot t_r \quad (1.89)$$

9. Для уточнення мулового індексу визначається середня доза мулу в системі «аеротенк–регенератор»

$$a_{im} = \frac{(1 + R_i) \cdot t_{at} \cdot a_i + R_i \cdot t_r \cdot a_r}{t_{im}} \quad (1.90)$$

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

$$q_i = \frac{24 \cdot (L_{en} - L_{ex})}{a_{im} \cdot (1 - S) \cdot t_{im}}. \quad (1.91)$$

Перевіряється відповідність мулового індексу  $J_i$  отриманому навантаженню  $q_i$ . Якщо муловий індекс  $J_i$ , см<sup>3</sup>/г, визначений за таблицею 1.12 при навантаженні  $q_i$  мг/(г·доб) відрізняється від попередньо прийнятого  $J_i$ , значення більш ніж на 10 %, розрахунок повторюють знову з пункту 2, приймаючи новий муловий індекс, що відповідає навантаженню.

13. Визначається обсяг аеротенка  $W_{at}$  за формулою (1.84) і обсяг регенератора  $W_r$ :

$$W_r = t_r \cdot R_i \cdot q_w, \text{ М}^3. \quad (1.92)$$

14. За величиною загального обсягу аеротенка і регенератора ( $W_{at} + W_r$ ) вибирається типовий проект аеротенка-витискувача аналогічно попередньому розрахунку. Під регенератор виділяється один або кілька коридорів кожної секції аеротенка.

15. Розраховується приріст активного мулу  $P_i$  за формулою (1.82).

## 2 ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**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  $T_w = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ ; кількість БПК<sub>повн</sub> у стічній воді на одного мешканця за добу  $a = 40 \text{ г/}(мешк. \cdot \text{добу})$ .

**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  $T_w = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ; кількість БПК<sub>повн</sub> у стічній воді на одного мешканця за добу  $a = 40 \text{ г/}(мешк. \cdot \text{добу})$ .

**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  $T_w = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ; кількість БПК<sub>повн</sub> у стічній воді на одного мешканця за добу  $a = 40 \text{ г/}(мешк. \cdot \text{добу})$ .

**Завдання 4.** Розрахувати аеротенки-змішувачі.

*Вихідні дані.* Розрахункова витрата стічних вод  $q_w = 1\,980 \text{ м}^3/\text{год}$ ; добова витрата  $Q = 67\,000 \text{ м}^3/\text{добу}$ ; БПК<sub>повн</sub> надходжуваних на очищення стічних вод  $L_{en} = 180 \text{ мг/л}$ ; БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води  $L_{ex} = 18 \text{ мг/л}$ ; концентрація завислих речовин у надходжуваній стічній воді  $C_{сдр} = 145 \text{ мг/л}$ .

**Завдання 5.** Розрахувати аеротенки-змішувачі.

*Вихідні дані.* Розрахункова витрата стічних вод  $q_w = 3\,180 \text{ м}^3/\text{год}$ ; добова витрата  $Q = 100\,000 \text{ м}^3/\text{добу}$ ; БПК<sub>повн</sub> надходжуваних на очищення стічних вод  $L_{en} = 147 \text{ мг/л}$ ; БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води  $L_{ex} = 15 \text{ мг/л}$ ; концентрація завислих речовин у надходжуваній стічній воді  $C_{сдр} = 135 \text{ мг/л}$ .

**Завдання 6.** Розрахувати аеротенки-витискувачі.

*Вихідні дані.* Розрахункова витрата стічних вод  $q_w = 2\,350\text{ м}^3/\text{год}$ ; добова витрата  $Q = 79\,000\text{ м}^3/\text{добу}$ ; БПК<sub>повн</sub> надходжуваних на очищення стічних вод  $L_{en} = 160\text{ мг/л}$ ; БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води  $L_{ex} = 20\text{ мг/л}$ ; концентрація завислих речовин у надходжуваній стічній воді  $C_{сдр} = 110\text{ мг/л}$ .

**Завдання 7.** Розрахувати аеротенки-витискувачі.

*Вихідні дані.* Розрахункова витрата стічних вод  $q_w = 2\,100\text{ м}^3/\text{год}$ ; добова витрата  $Q = 60\,000\text{ м}^3/\text{добу}$ ; БПК<sub>повн</sub> надходжуваних на очищення стічних вод  $L_{en} = 180\text{ мг/л}$ ; БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води  $L_{ex} = 15\text{ мг/л}$ ; концентрація завислих речовин у надходжуваній стічній воді  $C_{сдр} = 120\text{ мг/л}$ .



### **З ЗМІСТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИСЦИПЛІНИ. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

#### *ЗМ 1.1 МЕХАНІЧНЕ 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

### *1. Питання для самоперевірки:*

2. Яким чином визначають концентрацію забруднень у стічних водах?
3. За якими основними показниками визначають необхідний ступінь очищення стічних вод?
4. Як визначають ступінь очистки стічних вод за кількістю завислих речовин?
5. Якими нормативними документами визначені умови спуску стічних вод у водоймища?
6. 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. В яких випадках проводять глибоке доочищення стічних вод?

6. Які осади утворюються при очищенні стічних вод?

#### **Тема 4 СПОРУДИ ДЛЯ МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД**

1. Решітки, дробарки, їх розрахунок

2. Призначення і конструктивні відмінності піскоуловлювачів різних типів

3. Переваги та недоліки різних типів піскоуловлювачів

4. Розрахунок піскоуловлювачів різних типів

5. Видалення і обробка піску

6. Первинні відстійники. Конструктивні типи відстійників

7. Розрахунок первинних відстійників

#### *Питання для самоперевірки:*

1. У чому полягає суть механічного очищення стічних вод?

2. Назвіть споруди, в яких здійснюється механічне очищення стічних вод.

3. Яке призначення мають піскоуловлювачі і на затримання піску якої крупності вони розраховуються?

4. Типи піскоуловлювачів та їхні переваги.

5. За якими критеріями вибирають тип піскоуловлювача?

6. Методи видалення піску з піскоуловлювачів і способи його зневоднення.

7. Призначення та типи первинних відстійників. Недоліки й переваги кожного типу відстійників.

8. За якими критеріями вибирають тип відстійника?

9. Як визначають розрахункове значення гідравлічної крупності завислих речовин при проектуванні первинних відстійників?

10. Як видаляють сирий осад з первинних відстійників різних типів?
11. Як видаляють плаваючі домішки з первинних відстійників?

## **5 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  $BPK_{повн}$ .
4. Який з методів інтенсифікації первинного відстоювання стічних вод є більш ефективним?
5. Конструкція біофлокулятора.

### *ЗМ 1.2 БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД*

## **Тема 6 БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД В ПРИРОДНИХ ТА ШТУЧНИХ УМОВАХ**

- 1 Класифікація методів біологічного очищення стічних вод
- 2 Біологічне очищення стічних вод у природних умовах.
- 3 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 7 СПОРУДИ БІОЛОГІЧНОГО 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. Краплинні та високонавантажувані біофільтри, їх відмінні особливості.
4. Конструкція біофільтрів (основні елементи).
5. Принцип дії біофільтрів.
6. Системи розподілу стічних вод по поверхні біофільтра.

## **Тема 8 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

*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?

## **Тема 9 ВТОРИННІ ВІДСТІЙНИКИ**

1. Класифікація і конструкції вторинних відстійників
2. Розрахунок вторинних радіальних відстійників

*Питання для самоперевірки:*

1. Яке призначення мають вторинні відстійники після аеротенків?
2. Схарактеризуйте осади, що утворюються під час біологічного очищення стічних вод.
3. Чому дорівнює час відстоювання рідини у вторинних відстійниках після аеротенків?

## **Тема 10 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,  $\text{г/м}^3$ , 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 11 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.

## 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. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.
4. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко та ін. – Київ : Лібра, 2000. – 552 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. 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., 2007. – 255 с.
10. Хенце М. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы : пер. с англ. / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван. – М. Мир, 2004. – 480 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 <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

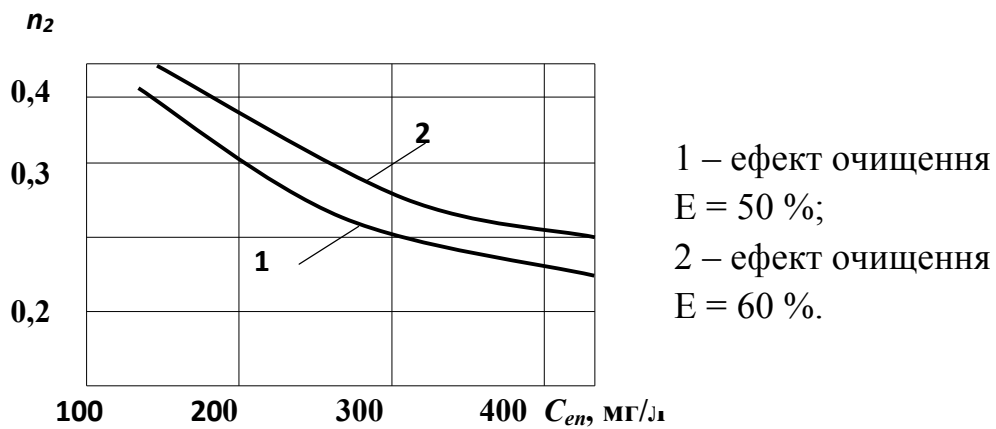


Рисунок В.1 – Залежність показника ступеня  $n_2$  від вихідної концентрації завислих речовин у міських стічних водах

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	1400	первинний
930	24	1,6	3,7	1400	вторинний
1460	30	1,8	3,4	2190	первинний
1460	30	1,8	3,7	2190	вторинний
3054	40	2,0	4,0	4580	первинний
3054	40	2,0	4,35	4580	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 [8]

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	502	4	21 680 28 080	120 150	пневматична	902-2-120/72 902-2-64

Таблиця Г.2 – Основні параметри типових аеротенків–витиснювачів

Ширина коридору $B_{av}$ , м	Робоча глибина аеротенка $H_{av}$ , м	Число коридорів $m$	Робочий об'єм однієї секції, м <sup>3</sup> , при довжині, м					
			32–42	48–54	60–66	72–78	84–90	
1	2	3	4	5	6	7	8	
4,5	3,2	2	1040–1213	1386–1559	1732	–	–	
		3	1560–1820	2080–2340	2600	–	–	
		4	2070–2416	2762–3108	3494–3200	–	–	
4,5	4,4	2	1420–1658	1896–2134	2372	–	–	
		3	2140–2496	2852–3208	3564	–	–	
		4	2850–3325	3800–4275	4750–5225	–	–	
6,0	4,4	2	–	2530–2847	3154–3471	3788	–	

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		3	–	3800– 4275	4750– 5225	5700	–	–	3+2+1	902–2–193
		4	–	5700	5334– 6968	7602– 8230	8870– 9504	–	3+2+2+1	902–2–179
6,0	5,0	2	–	2880– 3240	3600– 3960	4320	–	–	2+2	902–2–196
		3	–	4320– 4860	5400– 5940	6480	–	–	3+2+1	902–2–193
		4	–	6500	7220	8666– 9380	10100	–	3+2+2+1	903–2–179
9,0	4,4	2	–	–	–	6180	6650– 7130	7505– 7980	3+2	902–2–197
		3	–	–	–	9270	9983– 10696	11409– 12122	3+3+2	902–2–194
		4	–	–	–	–	13300– 14250	15200– 16150	3+3+2+2	904–2–180
9,0	5,0	2	–	–	–	7020	7560– 8100	8640– 9180	3+2	902–2–197
		3	–	–	–	10530	11340– 12150	12960– 13770	3+3+2	902–2–194
		4	–	–	–	–	15120– 16200	17280– 18360	3+3+2+2	903–2–180



*Виробничо-практичне видання*

**АЙРАПЕТЯН** Тамара Степанівна

Методичні рекомендації  
до практичних занять та самостійного вивчення  
з навчальної дисципліни

**«ОЧИСНІ СПОРУДИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ»**

*для студентів скороченого терміну навчання  
освітнього рівня «бакалавр»*

*за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія,  
спеціалізація (освітня програма) «Цивільна інженерія  
(Водопостачання та водовідведення)»*

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *Є. Г. Панова*

План 2020, поз. 77М

---

Підп. до друку 30.06.2020. Формат 60 × 84/16.  
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 3,8  
Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017.