

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення практичних занять та організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

**«МОДЕРНІЗАЦІЯ І РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ
ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ»**

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання
зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,
освітня програма «Цивільна інженерія»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

Методичні рекомендації до проведення практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Модернізація і реконструкція систем водопостачання та водовідведення» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Г. І. Благодарна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 69 с.

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

Рецензент

А. С. Карагяур, професор, доктор технічних наук, професор кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод, протокол № 1 від 29 серпня 2022 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Рекомендації до проведення практичних занять	5
2 Рекомендації з організації самостійної роботи	50
Список використаних та рекомендованих джерел	61
Додатки	65

ВСТУП

Забезпечення водою населення та усіх секторів економіки – одна з найактуальніших проблем сьогодення. Щоб стабільно постачати споживачам якісну питну воду і зменшити її собівартість, треба здійснювати модернізацію, реконструкцію та інтенсифікацію діючих систем водопостачання і водовідведення, охоплюючи не лише житловий сектор, а й промислові підприємства.

За цих обставин дедалі важливішими стають завдання збереження ресурсів, що в контексті водопостачання і каналізації означає раціональне використання питної води, зменшення її споживання, економію матеріалів і енергії, підвищення ефективності виробничих процесів, захист навколишнього середовища та створення комфортних умов життя. Вирішення вказаних питань можливо через модернізацію, реконструкцію й інтенсифікацію експлуатації водопровідних та каналізаційних об'єктів, підвищення їхньої технічної надійності й економічності. Економія ресурсів у системах водопостачання і водовідведення визначається складом споруд, рівнем їх інтенсифікації та вибором відповідного обладнання.

Шлях до збереження ресурсів починається зі збирання води з природних джерел – поверхневих чи підземних – і закінчується її споживанням. На цьому етапі існує безліч можливостей для реконструкції та підвищення продуктивності водопровідних і каналізаційних систем: часткове очищення води безпосередньо в точці джерела; впровадження високоефективних технологій підготовки води, оптимізація структури об'єктів і режимів їх роботи; зменшення втрат води та її розумне використання; удосконалення взаємодії насосних станцій, водопровідної та водовідвідної мережі тощо.

Окрему увагу приділяють аналізу причин незадовільної роботи всіх водопровідних і каналізаційних об'єктів, оптимізації функціонування кожного елемента і системи в цілому, підвищенню ефективності їх експлуатації та покращенню якості очищеної води.

1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

ЗМ1 МОДЕРНІЗАЦІЯ І РЕКОНСТРУКЦІЯ ВОДОПРОВІДНИХ СИСТЕМ

Тема 2 Модернізація і реконструкція водозабірних споруд та водопровідних насосних станцій

Розрахунок енергетичних та конструктивних параметрів сітчастого струменереактивного фільтра під час реконструкції поверхневого водозабору

Сітчастий струменереактивний фільтр (ССФ) (рис. 2.1) як рибозахисний пристрій доцільно встановлювати у водних джерелах, що мають виражену течію. Під час проєктування ССФ розрахунками визначають їх основні розміри та параметри системи їх промивання [1].

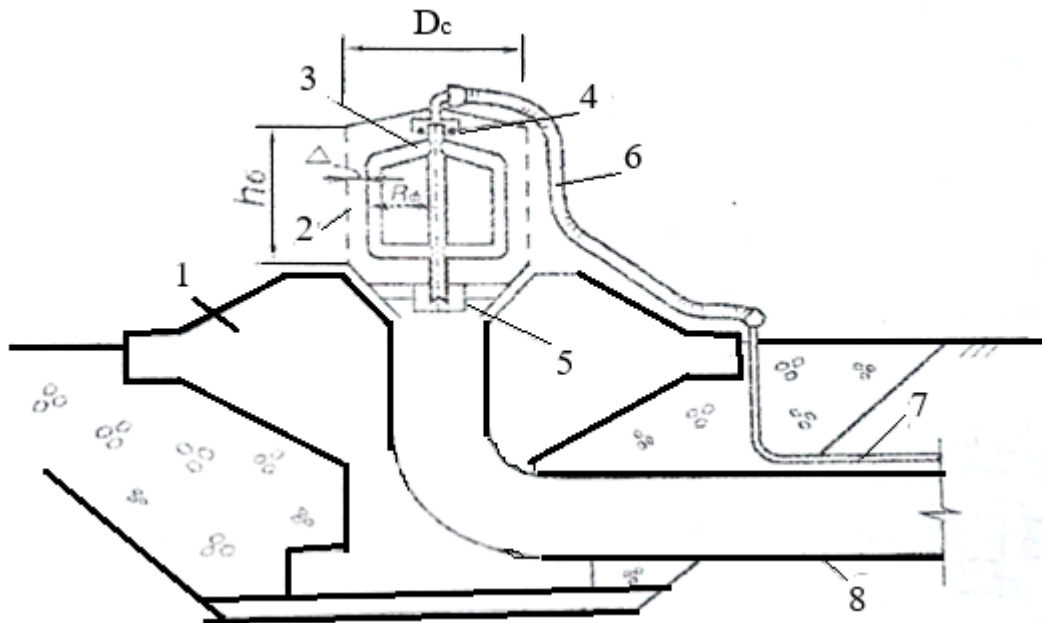


Рисунок 2.1 – Схема встановлення механічного рибозахисного пристрою типу сітчастого струменереактивного фільтра (ССФ): 1 – залізобетонний оголовок; 2 – сітчастий струменереактивний фільтр; 3 – Ф-подібна струменереактивна флейта (промивний пристрій); 4, 5 – підшипники; 6 – гнучкий рукав; 7 – трубопровід для підведення промивної води; 8 – самопливна лінія

Порядок розрахунку

Діаметр та висоту ССФ знаходимо за такою формулою [1]:

$$D_{\phi} = h_{\phi} = \sqrt{\frac{q_p}{\pi \cdot V_{BT} \cdot c}}, \quad (2.1)$$

де q_p – продуктивність секції водозабору за нормального режиму, м³/с;

V_{BT} – обрана швидкість на вході у ССФ (0,1–0,25 м/с);

c – шпаруватість сітки ССФ, яку можна знайти за формулою

$$c = \left(\frac{a}{a + d_{DP}} \right)^2, \quad (2.2)$$

де a – розмір вічка сітки у просвіті, що обирається залежно від довжини тіла малька (у разі $l < 15$ мм $a = 1$ мм; у разі $l = 15 \dots 30$ мм $a = 2$ мм; у разі $l > 30$ мм $a = 4$ мм);

d_{DP} – діаметр дроту сітки, м, обирається 0,000 35 м.

Витрата в системі промивання визначається за формулою

$$q_{np} = \frac{0,53 \cdot d_0 \cdot Z \cdot h_\phi}{t} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.3)$$

де d_0 – діаметр отворів у флейті (0,003–0,007 м);

Z – кількість плечей у флейті (2–4);

t – крок розташування отворів на плечі флейти (0,03–0,05 м);

H – напір в системі промивання (для забезпечення екологічного аспекту рибозахисту $H \leq 15$ м).

Діаметр труби для d_ϕ визначають за витратою q_{IP} і обраною швидкістю руху води у флейті ($V_\phi = 3 \dots 5$ м/с).

Радіус флейти знаходимо за формулою

$$R_\phi = 0,5 \cdot D_\phi - \Delta - 0,5 \cdot d_\phi, \quad (2.4)$$

де Δ – відстань від флейти до сітки (0,075–0,12 м).

Завдання. Визначити основні розміри сітчастого струменереактивного фільтра та параметри системи промивання ССФ, який встановлено як механічний рибозахисний пристрій, за такими вихідними даними: продуктивність секції водозабору за нормального режиму $q_p = 0,5$ м³/с, довжина тіла малька 10 мм.

Тема 4 Модернізація і реконструкція водопровідних очисних станцій

Ціль занять – проаналізувати наявні методики та здійснити технологічні розрахунки, що стосуються конструкції та режиму функціонування діючої водопровідної станції. Під час цього процесу визначаються типи і норми застосування реагентів; реальні швидкості потоку води в будівлях; коефіцієнти об'ємного використання камер для формування пластівців, освітлювальних

приладів, відстійників; гранулометричний склад навантаження швидких фільтрів; інтенсивність промивання, параметри роботи промивних насосів або вежі для промивки; а також висотне розташування споруд (різниця рівнів води у прилеглих об'єктах).

Порядок розрахунку

Визначення розрахункової продуктивності. Необхідна корисна продуктивність станції складе [2]:

$$Q'_n = Q_n \cdot \alpha, \quad (4.1)$$

де α – зміна розрахункової продуктивності станції, частка.

Витрата води на власні потреби для споруд I ступеня обрані відповідно до ДБН [3] – 4 %, а для споруд II ступеня – 6 %. Тоді, з урахуванням повторного використання промивної води, розрахункові витрати для реагентного господарства, вихрових змішувачів, камер утворення пластівців і горизонтальних відстійників складуть:

$$Q_I = Q'_n \cdot 1,1, \quad (4.2)$$

а для швидких фільтрів:

$$Q_{II} = Q'_n \cdot 1,06. \quad (4.3)$$

Реагентне господарство. Дози реагентів. Для інтенсифікації процесу коагуляції обрано аерацію води шляхом подання стисненого повітря у вихрові змішувачі. Це дозволяє зменшити дозу коагулянту по безводному продукту за заданої якості сирової води. Згідно з таблицею 15 [3] визначається доза безводного коагулянту і доза поліакриламідів [3, п. 10.4.3], доза підлужувальних реагентів, необхідних для поліпшення процесу утворення пластівців визначається за формулою (6) із [3], яка виглядає так:

$$D_{л} = K_{л} \left(\frac{D_{к}}{e_{к}} - L_{о} \right) + 1, \text{ мг/дм}^3, \quad (4.4)$$

де $K_{л}$ – коефіцієнт, який дорівнює для вапна (за CaO) – 28, для соди (за Na₂CO₃) – 53 [3];

$D_{к}$ – максимальна доза безводного коагулянту (в період підлужування), мг/дм³ [3];

$e_{к}$ – еквівалентна маса коагулянту (безводного), ммоль/дм³ (мг-екв/дм³), яка обирається для Al₂(SO₄)₃ – 57, FeCl₃ – 54, Fe₂(SO₄)₃ – 67;

$L_{о}$ – мінімальна лужність води, ммоль/дм³ (мг-екв/дм³).

Підлужувальні реагенти потрібно додавати одночасно з додаванням коагулянтів за браком інших умов або технологічних досліджень [3].

Якщо доза вапна негативна, підлужування не потрібне.

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

$$x = D_p \cdot 100 / 33,5,$$

де $D_p - 33,5$;

$x - 100$.

Загальна добова витрата коагулянту, т/добу, визначається за формулою

$$G_k = \frac{D_p \cdot Q_{\text{доб}}}{10^6}. \quad (4.5)$$

Загальна добова витрата флокулянта, т/добу, визначається за формулою

$$G_f = \frac{D_f \cdot Q_{\text{доб}}}{0,08 \cdot 10^6}. \quad (4.6)$$

Розрахунок потреби в реагентах зводиться в таблицю 4.1

Таблиця 4.1 – Потреба в реагентах

Реагент	Доза, мг/дм ³	Вміст активного продукту, %	Потреба по товарному продукту, т	
			добова	на період паводку
Коагулянт		33,5		
Флокулянт		8,0		

Концентрація розчину неочищеного коагулянту по безводному продукту в розчинних і баках-сховищах обрана 17 %, у видаткових – 7 % [3, п. 10.4.8].

Для отримання 17 % концентрації по безводному продукту з товарного коагулянту зі вмістом активної частини 33,5 % необхідна така ємність:

$$W^n = \frac{C_k \cdot \rho}{b}, \text{ м}^3/\text{т}, \quad (4.7)$$

де $\rho = 1,17$ – щільність розчину коагулянту 17 % концентрації [4], т/м³.

Отже, корисна ємність розчинних баків

$$W_{\text{розч.б}} = \left(W_{\text{розч.б}}^{\text{надреш.}} + W_{\text{розч.б}}^{\text{підреш.}} \right) \cdot n, \text{ м}^3, \quad (4.8)$$

може бути розчинено

$$W^p = \frac{W_{\text{розч.б}}}{W_n}, \text{ т}, \quad (4.9)$$

товарного коагулянту, що відповідає запасу на

$$t_{\text{зан}} = W^p / t, \text{ діб}. \quad (4.10)$$

Корисна ємність баків для зберігання

$$W_{\text{б.зб.}} = W_{\text{б.зб.}}^{\text{пов.}} \cdot n', \text{ м}^3, \quad (4.11)$$

може бути розчинено

$$W^p = \frac{W_{\text{б.зб.}}}{W_n}, \text{ т}, \quad (4.12)$$

товарного коагулянту, що відповідає запасу на

$$W_{\text{зап}} = \frac{W^p}{t}, \text{ діб.} \quad (4.13)$$

Час повного циклу приготування розчину у витратних баках коагулянту 7 % концентрації складе

$$t = \frac{10^4 \cdot b \cdot \rho \cdot W}{q \cdot D_k}, \quad (4.14)$$

де W – корисний об'єм витратних баків, м³;

q – розрахункова продуктивність споруд I ступеня очищення, м³/год;

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

ρ – щільність розчину коагулянту, т/м³;

D_k – доза коагулянту по чистому продукту, г/м³.

Відділення флокуляції. Зі збільшенням продуктивності водопровідної очисної станції зростає і добова потреба в поліакриламіді (ПАА):

$$q_{\text{ПАА}} = \frac{Q_p \cdot D_{\text{ПАА}} \cdot 10^{-4}}{B_{\text{ПАА}} \cdot \rho}, \text{ м}^3/\text{год}; \quad (4.15)$$

де $B_{\text{ПАА}}$ – концентрація ПАА (обрана 0,5 %);

ρ – щільність розчину ПАА (обрана 1,0 т/м³).

У разі робочої ємності установки УРП-2М 1,2 м³ одного замішування досить для роботи станції протягом, що має бути більше ніж 2 години [2, п. 10.4.17]:

$$t_{\text{см}} = W / q_{\text{ПАА}}. \quad (4.16)$$

Завдання для самоконтролю

Завдання 1. Зі збільшенням корисної продуктивності станції водопідготовки на 20 % зростає добова потреба у коагулянтах (сульфат алюмінію) і флокулянтах (ПАА). Розрахуйте необхідну потребу в реагентах по товарному продукту: добову і на період паводку t . У разі наступних даних:

- каламутність – 75 мг/дм³;
- забарвленість – до 30 град;
- тривалість паводку – 15 днів,
- корисна продуктивність існуючої очисної станції – 58 000 м³/добу.

Завдання 2. Приготування коагулянту на станції водопідготовки здійснюється в розчинних баках і баках-сховищах, де концентрація розчину неочищеного коагулянту по безводному продукту в розчинних і баках-сховищах обрана 17 %, щільність розчину коагулянту $\rho = 1,17$ т/м³, вміст активного продукту коагулянту сульфату алюмінію становить 43,5 %. Відомо, що обсяг розчинних баків дорівнює 70 м³, а об'єм баків-сховищ – 85 м³, кількість

розчинних баків на станції – чотири, баків-сховищ – стільки ж. Визначити термін зберігання коагулянту в розчинних і витратних баках.

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

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

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

Для інтенсифікації процесу коагулювання вихрові змішувачі забезпечуються спеціальними повітророзподільними пристроями для аерації.

Порядок розрахунку

Площа верхньої частини змішувача визначається за формулою

$$f_{\text{в.зм}} = a^2, \text{ м}^2, \quad (4.17)$$

де a – розмір верхньої частини змішувача в світлі.

Перевіряємо швидкість висхідного потоку під водозбірним лотком:

$$v = \frac{q}{f_{\text{зм}}}, \text{ мм/с}, \quad (4.18)$$

що має задовольняти рекомендаціям ДБН [3, п. 10.45].

Час перебування води у змішувачі дорівнює

$$t = \frac{W_{\text{см}} \cdot n}{q}, \text{ год}, \quad (4.19)$$

що має відповідати вимогам ДБН [3, п. 10.5] і забезпечувати необхідний час розриву між додаванням коагулянту і флокулянту.

Подача повітря здійснюється постійно від повітрорудовок, встановлених у приміщенні реагентного господарства. Витрата повітря для керування дорівнює

$$q_{\text{пов}} = i \cdot f_{\text{в.зм}}, \text{ л/с}, \quad (4.20)$$

Максимальна витрата повітря на станції дорівнює

$$q_{\text{пов}}^{\text{max}} = q_{\text{пов}}^{\text{роз.б}} + q_{\text{пов}}^{\text{сх.б}} + q_{\text{пов}}^{\text{витр.б}} + q_{\text{пов}}^{\text{аер}}, \text{ л/с}. \quad (4.21)$$

Розрахунок труб аератора можна виконати за рекомендованими швидкостями і рухом повітря [2].

Площа всіх отворів складе:

$$f_{\text{отв}} = \frac{q_{\text{возд}}^{\text{аер}}}{v} \text{ м}^2. \quad (4.22)$$

Із діаметром отвору 4 мм їх кількість складе:

$$n_{\text{отв}} = \frac{f_{\text{отв}}}{Q_{\text{пол}} \cdot d^2} \text{ шт.} \quad (4.23)$$

Витрата розчину коагулянту, $\text{см}^3/\text{с}$, розраховується за такою формулою:

$$q_{\text{к}} = \frac{D_{\text{к}} \cdot q \cdot 100}{C_{\text{к}} \cdot \rho}, \text{ см}^3/\text{с}, \quad (4.24)$$

де $q_{\text{в}}$ – витрата води, що проходить через розподільник, $\text{м}^3/\text{с}$;

$C_{\text{к}}$ – концентрація розчину коагулянту, %, по масі;

ρ – щільність розчину коагулянту концентрації $C_{\text{к}}$, $\text{г}/\text{см}^3$, обирається за таблицею А.1 додатка А.

Витрата розчину коагулянту $q_{\text{о}}$, $\text{см}^3/\text{с}$, що проходить через один отвір визначається за таблицею А.2 додатка А.

Кількість отворів у розподільнику знаходимо за такою формулою:

$$n_{\text{о}} = \frac{q_{\text{к}}}{q_{\text{о}}}, \text{ од.} \quad (4.25)$$

У разі $n_{\text{о}} > 32$ необхідно збільшити діаметр отворів і повторити розрахунок.

Під час аерації води необхідно запобігти попаданню повітря в камеру утворення пластівців [2], відведення води з кишені повинно бути затопленим.

Завдання для самоконтролю

Завдання 1. Сира вода подається у два вихрові змішувачі пірамідальної конструкції об'ємом 40 м^3 , розмір верхньої частини змішувача у світлі 3,5 м. Перевірити швидкість висхідного потоку під водозбірним лотком і визначити час перебування води в змішувачі, якщо на станції водопідготовки відбулося збільшення корисної продуктивності на 25 %, корисна продуктивність існуючої очисної станції – $49\,000 \text{ м}^3/\text{добу}$.

Завдання 2. На станції водопідготовки для інтенсифікації процесу коагулювання у вихрові змішувачі подають стиснене повітря, реконструюють у вихровий змішувач з аератором. Визначити максимальну витрату повітря на

очисній станції, якщо площа змішувача $F_{см} = 12 \text{ м}^3$, інтенсивність подачі повітря $i = 70 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$, передбачено подачу повітря в розчини (розмірами $4,6 \times 4,5$) і баки-сховища ($4,6 \times 4,6$) коагулянту з інтенсивністю $i = 8 - 10 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$, а також витратні баки ($3,2 \times 3,1$) з інтенсивністю $i = 3 - 5 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$.

Завдання 3. Для поліпшення процесу утворення пластівців ухвалено рішення реконструювати камеру з шаром зваженого осаду у вихрову камеру. Необхідно визначити втрати напору у вихровій камері за умови, що на 1 м висоти конуса втрати складуть $0,2-0,3 \text{ м}$, довжина нижньої частини камери $L_n = 0,6 \text{ м}$, кут конусності – 700 , ширина камери утворення пластівців у світлі $B = 6 \text{ м}$, час перебування води в камері – 7 хв , швидкість висхідного потоку на виході з камери (у верхній її частині) 5 мм/с , після збільшення корисної продуктивності станції водопідготовки годинна витрата – $3 \text{ 250 м}^3/\text{год}$.

Камери утворення пластівців (далі КУП). Удосконалення систем розподілу і збору води – налаштування камер із контактним середовищем або з рециркулятором. Камери з контактним середовищем працюють за принципом контактної коагуляції, де в якості контактного середовища використовують плаваючий матеріал типу пінопласту. Механічні камери дозволяють забезпечити оптимальні швидкості потоку для процесу утворення пластівців.

Для поліпшення процесу утворення пластівців можна реконструювати камеру з шаром зваженого осаду в вихрову камеру. Для цього демонтуються струмененапрямні переділки, розподільні коробки камери утворення пластівців. Крім того, застосування вихрової КУП дозволить збільшити довжину відстійника.

Порядок розрахунку

Площа поперечного перерізу верхньої частини камери визначається за формулою

$$f_B = \frac{Q}{V_B \cdot t}, \text{ м}^2, \quad (4.26)$$

а її довжина дорівнює

$$L = \frac{f_B}{B}, \text{ м}. \quad (4.27)$$

Із діаметром d трубопроводу подачі води в камеру утворення пластівців швидкість складе

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} \text{ м/с}, \quad (4.28)$$

збільшення діаметра трубопроводу, що подає не потрібно, якщо $\leq 0,8-1 \text{ м/с}$.

Ширина нижньої частини камери дорівнює 0,6 м, кут конусності – 70°. Висота конічної частини камери

$$h_{\text{кон}} = \frac{L_{\text{в}} - l_{\text{н}}}{2} \cdot \text{ctg} \frac{\beta}{2} \text{ м.} \quad (4.29)$$

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

Обсяг конічної частини камери визначається за формулою

$$W_{\text{кон}} = \frac{h_{\text{кон}}}{3} \cdot (f_{\text{в}} + f_{\text{н}} + \sqrt{f_{\text{в}} \cdot f_{\text{н}}}), \text{ м}^2, \quad (4.30)$$

де $f_{\text{н}} = 0,281, \text{ м}^2$.

Обсяг циліндричної частини камери дорівнює

$$W_{\text{с}} = f_{\text{с}} \cdot h_{\text{с}}, \text{ м}^3. \quad (4.31)$$

Загальний обсяг камери дорівнює

$$W_{\text{КУП}} = W_{\text{кон}} + W_{\text{в}}, \text{ м}^3. \quad (4.32)$$

Час перебування води в камері складе:

$$t = \frac{W_{\text{КУП}}}{Q}, \text{ хв.} \quad (4.33)$$

Допустимо у разі 6–10 хв.

Згідно з п. 10.7.6 [3] на вході води у відстійник необхідно встановлювати підвісну переділку, занурену на 1/4 висоти відстійника. Швидкість руху води між стінкою і переділкою повинна бути не більше 0,03 м/с.

Площа перетину між стінкою і переділкою дорівнює

$$f_{\text{пер}} = \frac{Q}{V_{\text{дв}}}, \text{ м}^2. \quad (4.34)$$

Із шириною відстійника B (у світлі) відстань між стінкою КУП і переділкою відстійника складе

$$l = \frac{f}{B}, \text{ м.} \quad (4.35)$$

Після реконструкції КУП довжина горизонтального відстійника дорівнює

$$\Delta L = L_{\text{КУП}} - L_{\text{кам}}, \text{ м,} \quad (4.36)$$

і складе

$$L_{\text{ГВ}}^{\text{рек}} = L_{\text{відст}} + \Delta L, \quad (4.37)$$

Завдання для самоконтролю

Завдання 1. Визначити, чи потрібно збільшувати діаметр трубопроводу, що підводить під час реконструкції камери утворення пластівців з шаром зваженого осаду у вихрову камеру. Час перебування води у камері – 7 хв, діаметр трубопроводу подачі води в камеру утворення пластівців дорівнює 600 мм, якщо

на станції водопідготовки відбулося збільшення корисної продуктивності на 20 %, корисна продуктивність існуючої очисної станції – 55 500 м³/добу.

Завдання 2. Визначити час перебування води у камері після реконструкції камери утворення пластівців з шаром зваженого осаду в вихрову камеру. Чи відповідає це значення вимогам? Час перебування води у камері до реконструкції – 7 хв, обсяг конічної частини камери 28 м³, необхідна висота верхньої циліндричної частини 1,2 м, швидкість висхідного потоку на виході з камери (у верхній її частині) 5 мм/с. На станції водопідготовки відбулося збільшення корисної продуктивності на 18 %, корисна продуктивність існуючої очисної станції – 20 000 м³/добу.

Завдання 3. Під час реконструкції камери утворення пластівців із шаром зваженого осаду у вихрову камеру на вході води у відстійник встановили підвісну переділку, занурену на 1/4 висоти відстійника. Швидкість руху води між стінкою і переділкою $\leq 0,03$ м/с. Визначити відстань між стінкою КУП і переділкою відстійника, якщо ширина відстійника $B_{від} = 6$ м, час перебування води в камері – 7 хв. На станції водопідготовки відбулося збільшення корисної продуктивності на 18 %, корисна продуктивність існуючої очисної станції – 42 000 м³/добу.

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

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

Порядок розрахунку

Питоме навантаження q_n можна визначити так:

$$q_n = \frac{Q_p}{F_{ГВ} \cdot N_{ГВ}}, \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (4.38)$$

де Q_p – розрахункова продуктивність горизонтального відстійника, м³/год;

$F_{ГВ}$ – корисна площа горизонтального відстійника, м²;

$N_{ГВ}$ – число горизонтального відстійника.

Отримані значення навантаження повинні бути близькими до рекомендацій ДБН [3], тому тонкошарові модулі встановлюються в усіх ГВ.

Тонкошарові елементи прямокутної форми виготовляються з м'яких полімерних плівок, з'єднаних в стільникові конструкції, які кріпляться за допомогою куточків і труб [2]. Розміри їх обрані рівними $0,05 \times 0,05$ м із кутом нахилу 60° [9, п. 4.10].

Довжина тонкошарового елемента визначається за мінімальною каламутністю води за формулою (1.36) [5]

$$l_o = K_2 \cdot H_o \left(\frac{q_{уд} \cdot K_1}{u_o \cdot \beta \cdot K_{az}} - 1 \right), \text{ м}, \quad (4.39)$$

де K_1 і K_2 – узагальнені розрахункові коефіцієнти:

$$K_1 = \frac{1}{K_{cm} \cdot K_{o.i} \cdot K_{\kappa}}; \quad (4.40)$$

$$K_2 = \frac{\varphi \cdot K_{\phi} \cdot K_{cm}}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha}; \quad (4.41)$$

де φ – коефіцієнт, що враховує вплив гідродинамічних умов потоку в тонкошарових елементах, за таблицею А.3 додатка А;

K_{ϕ} – коефіцієнт, що враховує форму поперечного перерізу тонкошарових елементів (для перетину прямокутної форми $K_{\phi}=1,0$);

H_o – висота тонкошарового елемента (0,05 м);

u_o – розрахункова швидкість осадження суспензії, м/год (обрана рівною $0,35 \text{ мм/с} = 1,26 \text{ м/год}$ [8, табл. 16]);

α – кут нахилу тонкошарових елементів до горизонту, градусів (обраний 60°);

β – коефіцієнт, що враховує стиснуте осадження суспензії під тонкошаровими елементами;

K_{az} – коефіцієнт агломерації, що враховує вплив осаду, що виділяється з тонкошарових елементів на інтенсифікацію утворення пластівців ($\beta \cdot K_{az} = 1,25$ – для тонкошарового горизонтального відстійника);

K_{cm} – коефіцієнт, що враховує стиснення перетину потоку в тонкошаровому елементі сповзаючим осадом, рекомендується обирати у середньому 0,7–0,8 (більші значення – для більш каламутних вод);

$K_{o.i}$ – коефіцієнт, що враховує гідравлічну досконалість тонкошарової споруди і ступінь його об'ємного використання – відношення фактичного до розрахункового часу перебування води, рекомендується обирати 0,6–0,75;

K_{κ} – конструктивний коефіцієнт, що дорівнює відношенню фактичної відкритої для руху води площі тонкошарових елементів до загальної площі дзеркала води відстійної споруди, що рекомендується обирати 0,7–0,95.

Період роботи відстійника між скидами осаду складе [3]:

$$T_p = W_{oc} \cdot N_p \cdot \frac{\delta}{q \cdot (C_{зв} - K_{осв})}, \quad (4.42)$$

де W_{oc} – обсяг зони накопичення та ущільнення осаду, м³;

$$W_{oc} = L_{ГВ} \cdot B_{ГВ} \cdot H_{ГВ}, \quad (4.43)$$

N_p – кількість працюючих ГВ, од.;

δ – середня по всій висоті осадової частини концентрація твердої фази осаду, г/м³, що обирається відповідно до таблиці 19 [3];

$K_{осв}$ – каламутність води, мг/дм³, що виходить із відстійника (рекомендується обирати від 8 мг/дм³ до 15 мг/дм³) [3];

$C_{зв}$ – концентрація зважених речовин у воді, мг/дм³, що надходять у відстійник, яка визначається у разі максимальної каламутності за такою формулою:

$$C_{зв} = K + K_k \cdot D_k + 0,25 \cdot Z_{заб} + B_v, \quad (4.44)$$

де K – розрахункова кількість зважених речовин у вихідній воді, мг/дм³;

D_k – доза коагулянту, мг/дм³, у перерахунку на безводну речовину (згідно з п. 10.4.2 [3]);

K_k – перерахунковий коефіцієнт, який дорівнює: для очищеного сірчаноокислого алюмінію – 0,5; для неочищеного сірчаноокислого алюмінію – 1,2; для хлорного заліза – 0,7;

$Z_{заб}$ – забарвленість вихідної води, град.;

B_v – кількість нерозчинених речовин, мг/дм³, що додаються у воду разом з вапном, визначається за формулою

$$B_v = D_l / K_l - D_l, \quad (4.45)$$

де K_l – частина СаО у вапні;

D_l – доза вапна за СаО, мг/дм³, рекомендується визначати за формулою (4.4).

Видалення осаду з відстійників потрібно передбачати без вимкнення. Період між видаленням осаду з відстійника повинен бути не менше, ніж 6 годин.

Завдання для самоконтролю

Завдання 1. Визначити на скільки збільшиться довжина горизонтального відстійника після реконструкції камери утворення пластівців і довжину відстійника після реконструкції. Довжина горизонтального відстійника $L_{відс} = 30$ м, ширина камери утворення пластівців $B_{квп} = 5,8$ м, довжина камери утворення пластівців до реконструкції $L_{квп} = 10$ м, час перебування води в камері – 7 хв, швидкість висхідного потоку на виході з камери (у верхній її частині) – 5 мм/с. На станції водопідготовки відбулося збільшення корисної

продуктивності на 10 %, корисна продуктивність існуючої очисної станції – 48 000 м³/добу.

Завдання 2. Визначити питоме навантаження (щодо площі дзеркала води), зайнятої тонкошаровими модулями за нормального і форсованого режимах, а також довжину тонкошарового елемента, вбудованого в ГВ. Розрахункова витрата станції водопідготовки $Q_p = 2700$ м³/год, схема водопідготовки з горизонтальним відстійником із розмірами: шириною – 5,8 м, довжиною – 35 м, кількістю ГВ – 8, висотою тонкошарового елемента – $H_0 = 0,05$ м, швидкістю осадження суспензії – $U_0 = 0,36$ см/с, узагальненими коефіцієнтами $K_1 = 2,75$, $K_2 = 2,022$, $\beta \cdot K_{az} = 1,25$.

Завдання 3. Визначте період роботи відстійника між скидами осаду після обладнання тонкошаровими блоками 6 горизонтальних відстійників (ГВ), якщо його довжина 37 м, ширина 6,2 м, каламутність освітленої води після відстійника – від 8 мг/дм³ до 12 мг/дм³, розрахункова витрата – $Q_p = 3450$ м³/год, максимальна каламутність вихідної води – 700 мг/дм³, доза коагулянту – 50 мг/дм³, забарвленість – 35 град, середня по всій висоті осадової частини концентрація твердої фази осаду обирається $\delta = 35\,000$ г/м³.

Швидкі фільтри. Інтенсифікація та реконструкція швидких фільтрів може здійснюватися у такі способи:

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

Порядок розрахунку

Перевіряємо швидкості фільтрування (м/год) під час роботи існуючих фільтрів на збільшену продуктивність:

$$V_n = \frac{n \cdot q_{np} + \frac{Q}{N_\phi \cdot f_\phi}}{T - n \cdot \tau_{np}}, \text{ м/ГОД.} \quad (4.46)$$

У разі форсованого режиму (N_ϕ)

$$v_\phi = v_n - \frac{N}{N-1}, \text{ м/ГОД.} \quad (4.47)$$

Згідно з вимогами для будь-якого виду завантаження у разі форсованого режиму швидкість ≤ 10 м/год.

Складаємо компоновку станції, наприклад, на рисунку 4.1.

Таким чином, реконструкція існуючих швидких фільтрів полягає в наступному:

- заміна трубчастого дренажу з підтримуючими шарами гравію, на дренаж з полімербетонних плит;
- застосування промивки фільтрів, що чергується.

Розрахунок дренажу

Розрахунок конструкції дренажу для промивання, що чергується:

1. Визначають необхідні втрати напору для забезпечення рівномірності промивання і зважування завантаження.
2. Обчислюють діаметр діафрагми патрубків з інтенсивністю 15 л/с·м².
3. Призначають ширину зон і розраховують кількість патрубків (рис. 4.1).
4. Знаходять діаметри патрубків більшої і меншої інтенсивності з урахуванням обраного $K = 2,2$.
5. Перевіряють фактичні втрати напору, які повинні бути не менше максимальних за пунктом 1.

Необхідні втрати напору в дренажі визначають за такою формулою:

$$h_d = \frac{16V_k^2}{2g}, \text{ м}, \quad (4.48)$$

де V_k – швидкість на початку збірної каналу у разі розрахункової інтенсивності промивки, м/с [8];

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Визначаємо критичну інтенсивність промивки. Для кварцового піску ($\rho_s = 2,65$) з еквівалентним діаметром $0,092$ см за температури води 20 °С ($\nu_{20} = 0,01$ см²/с) критерій Архімеда обчислюємо за такою формулою:

$$A_c = \frac{g(\rho_s - 1)d_s^3}{\nu^2}, \quad (4.49)$$

де d_s – еквівалентний діаметр зерен завантаження, см;

ν – кінематична в'язкість води, яка обирається залежно від її температури, см²/с.

Критичну інтенсивність промивки знаходимо за такою формулою:

$$V_{кр} = \frac{\nu}{d_s} \cdot \frac{A_c}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{A_c}}, \text{ см/с}, \quad (4.50)$$

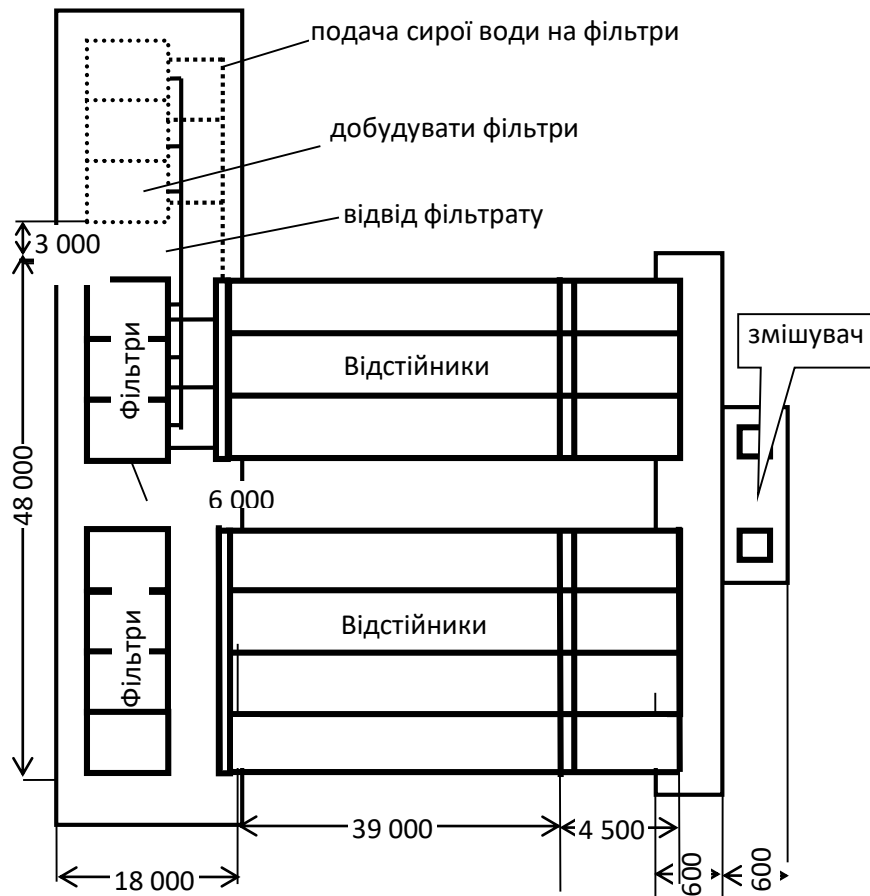


Рисунок 4.1 – Компонування основних споруд

а число псевдозрідження:

$$Z = \frac{V_{пр}}{V_{кр}}, \quad (4.51)$$

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

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

Під час визначення числа псевдозрідження для підвищення надійності інтенсивність обирається на 10 % менше за розрахункову.

Обчислюють конструктивний параметр дренажу A :

$$A = \alpha + 1,1 \cdot K \cdot (1 - \alpha), \quad (4.52)$$

де α – відношення кількості вхідних патрубків, що мають менші діаметри, до загальної їхньої кількості в осередку фільтра, у разі 12-ти патрубків із меншими діафрагмами із загальної кількості;

K – співвідношення інтенсивності промивання в сусідніх зонах.

$$A = 0,46 + 1,1 \cdot 2,2 \cdot (1 - 0,46) = 1,77.$$

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

$$h = \frac{0,25}{1 - \left(\frac{A}{Z}\right)^{1,67}}, \text{ м}, \quad (4.53)$$

Визначають діаметр більшого отвору за такою формулою:

$$d_{\delta} = d_{\delta 0} \cdot \sqrt{\frac{2K}{K+1}}, \quad (4.54)$$

де $d_{\delta 0}$ – діаметр отворів діафрагми в патрубках дренажу у разі постійної по площі інтенсивності:

$$d_{\delta 0} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_{np} \ell_k L_k}{\mu \sqrt{2gh_d}}}, \quad (4.55)$$

де ℓ_k, L_k – крок дренажних каналів та їхня довжина, см;

μ – коефіцієнт витрати патрубка з діафрагмою, що обирається попередньо в межах 0,6–0,7, а потім підлягає уточненню.

Коефіцієнт опору цієї діафрагми дорівнює

$$\xi_{дв} = \frac{1 + 0,5(1 - \bar{f}) + 1,35\sqrt{1 - \bar{f}}}{\bar{f}^2}, \quad (4.56)$$

де $\bar{f} = (d_{\delta 0} / d_n)^2$ – співвідношення площ отворів і патрубка.

Витрати і швидкість через патрубки більшого і меншого витрат складуть:

$$q_{\delta} = q_{cp} \frac{2K}{K+1} \text{ л/с}, \quad (4.57)$$

$$V_{п.б} = \frac{4q}{\pi d_n^2} \text{ м/с}, \quad (4.58)$$

$$q_m = \frac{q_{\delta}}{K} \text{ л/с}, \quad (4.59)$$

$$V_{п.м} = \frac{V_{п.б}}{K} \text{ м/с}. \quad (4.60)$$

Втрата напору в патрубку більшої витрати дорівнює

$$h = \xi_{п.б} \frac{V_{п.б}^2}{2g} \text{ м}. \quad (4.61)$$

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

Необхідний коефіцієнт опору патрубка меншої витрати визначають зі співвідношення

$$\xi_{п.м} = K^2 \times \xi_{п.б.}, \quad (4.62)$$

Розрахунок відповідного перетину діафрагми виробляють ітераціями за формулою, де в якості початкового можна обрати 0,5 ÷ 1:

$$\bar{f} = \sqrt{\frac{1 + 0,5(1 - \bar{f}) + 1,35\sqrt{1 - \bar{f}}}{\xi_{д.м}}}, \text{ м}. \quad (4.63)$$

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

$$d_{д.м} = d_n \cdot \sqrt{\bar{f}}, \text{ м.} \quad (4.64)$$

Перевіряємо висоту швидкого фільтра, яка складається з висоти дренажу, завантаження і шару води з урахуванням сухого борту (рис. 4.2).

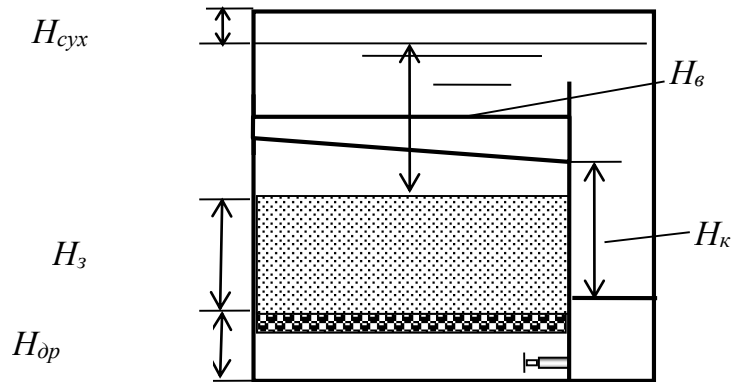


Рисунок 4.2 – Схема швидкого фільтра

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

Завдання для самоконтролю

Завдання. Перевірте роботу швидких фільтрів (ШФ) і визначте необхідність їх добудови після збільшення продуктивності до $Q_{доб} = 55\,000$ м³/добу, розміри СФ 6 × 8 м, площею $f = 37,4$ м². Скільки необхідно добудувувати ШФ, якщо до реконструкції на стації водопідготовки працювало 6 ШФ?

ЗМ 2 МОДЕРНІЗАЦІЯ І РЕКОНСТРУКЦІЯ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Мета занять: навчитися визначати необхідність реконструкції і розширення водовідвідних мереж та очисних споруд, що виникає у разі невідповідності діаметрів розрахунковим витратам та одержуваного ефекту очищення стічних вод, необхідного під час скидання їх у природні водойми або використання в господарських цілях.

Тема 5 Модернізація і реконструкція водовідвідних мереж

Реконструкція водовідвідних мереж.

Визначення розрахункових параметрів водовідвідної мережі під час її реконструкції

Мережі зовнішньої каналізації потребують удосконалення в таких напрямках:

1. Зменшення частоти засмічувань. Це потребує обов'язкового забезпечення режиму самоочищування в трубопроводах, а також правильного вибору діаметра труб.

2. Попередження передчасного руйнування внаслідок абразивної та хімічної дії компонентів стічних вод. Вирішення проблеми полягає у використанні нових абразивно- та хімічно-стійких матеріалів.

3. Прискорення аварійно-відновлювальних робіт на мережах каналізації за рахунок використання новітніх матеріалів і технологій, що виключають риття траншей.

4. Зменшення шкідливого впливу на водойми поверхневого стоку. ДБН передбачає очищення не менше 70 % поверхневого стоку, що досягається проєктуванням напівроздільної системи водовідведення, або реконструкції існуючих мереж у напівроздільну чи в систему з локальною очисткою поверхневого стоку. Важливими елементами під час вирішення цього питання є розподільчі камери та зливоспуски різних конструкцій.

Порядок розрахунку

1. Визначаємо середню витрату стічних вод

$$\bar{q} = \frac{n \cdot N}{86400}, \text{ л/с.} \quad (5.1)$$

2. За таблицею Б.1 додатка Б, використовуючи формулу адитивності, знайти коефіцієнт нерівномірності

$$f(x) = f(x_1) + (x - x_1) \cdot \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1}. \quad (5.2)$$

3. Знайти максимальну витрату

$$q = \bar{q} \times K, \text{ л/с.} \quad (5.3)$$

4. Призначити діаметр труби d , мм.

5. За таблицею Б.1 додатка Б знаходимо нормативне наповнення h/d .

Для підбраного наповнення гідравлічний радіус у разі часткового заповнення буде визначатися за формулою

$$R = R' \cdot d, \quad (5.4)$$

де R' – гідравлічний радіус, що знаходиться за таблицею Б.2 додатка Б.

Таким чином, під час наповнення підбираємо гідравлічний радіус за круглим перерізом. Підставляємо у формулу (5.4).

За цією ж таблицею знаходимо змочений перетин за круглим перерізом у разі знайденого наповнення, і тоді знаходимо змочений перетин за формулою

$$\omega = \omega' \cdot d^2, \text{ м}^2, \quad (5.5)$$

6. Визначаємо мінімальну швидкість, наприклад, за формулою

$$v_{min} = 1,57 \cdot \sqrt[n]{R}, \text{ м/с,} \quad (5.6)$$

де $n = 3,5 + 0,5R$, м/с.

7. Визначаємо фактичну швидкість за рівнянням нерозривності потоку

$$v = \frac{q}{\omega}, \text{ м/с,} \quad (5.7)$$

і порівнюємо її з мінімальною швидкістю.

8. Ухил, за яким необхідно укласти трубу, розраховуємо за відомими рівняннями, наприклад, Шезі – Манінга:

$$i = \frac{v^2}{c^2 \cdot R}, \quad (5.8)$$

$$c = \frac{R^{0,17}}{n}, \quad (5.9)$$

де n – коефіцієнт шорсткості труби, який для чавунних труб становить 0,013.

Для перерахунку мережі на режим розмивання осаду необхідно виконати такі дії.

1. Проаналізувати, чи можна зменшити діаметр труби. У випадку, коли діаметр дорівнює 200 мм, то це неможливо, бо 200 мм – це мінімальний діаметр.

2. Обравши для розрахунків за розрахункову витрату мінімальну в денний період, і швидкість у першому наближенні v м/с, визначимо відповідну площу змоченого перетину

$$\omega = q / v, \text{ м}^2. \quad (5.10)$$

3. За формулою $\omega = k \cdot d^2$ знаходимо відповідне значення.

За таблицею Б.3 додатка Б для наведеного k знаходимо інтерполяцією відносно наповнювання h/d , а за знайденим наповненням та інтерполяцією знаходимо множник для визначення гідравлічного радіуса r .

4. Абсолютний рівень води становить H м.

5. Розраховуємо перше наближення уточненої швидкості

$$v = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (\rho_1 - \rho) \cdot k}{3,5 \cdot \rho}} \cdot \left(\frac{H}{k_5}\right)^{\frac{1}{12}} \cdot \lg \frac{8,8 \cdot H}{k_5}, \text{ м/с}, \quad (5.11)$$

де ρ_1, ρ – густина відповідно піску та води, кг/м^3 , обираємо $\rho_1 = 2\,650$; $\rho = 1\,000$;

k – середній розмір частинок піску, обираємо $k = 1,04$ мм;

k_5 – розмір частинок піску, менше якого в стічних водах міститься 5 % осаду, приймаємо $k_5 = 3,05$ мм.

6. Друге наближення.

Визначаємо площу поперечного перетину за формулою 3.7 з тією ж витратою за зміненою швидкістю.

Знаходимо значення за формулою

$$\omega = k \cdot d^2, \quad (5.12)$$

За таблицею Б.3 додатка Б для наведеного k знаходимо інтерполяцією відносно наповнення h/d і множник для гідравлічного радіуса r .

Тоді абсолютне наповнювання становить H м.

Підставляючи отримане значення H у формулу 3.8, розраховуємо швидкість, що забезпечує повне розмивання осаду, v м/с.

Під час порівняння з попередньою швидкістю, якщо бачимо, що відхилення несуттєве, то подальші розрахунки недоцільні.

Для кожного наближення необхідно визначити мінімальну швидкість та ухил.

Завдання для самоконтролю

Завдання. Запроєктувати за чинними нормативами трубопровід для транспортування стічних вод від району з кількістю мешканців 3 000 із нормою водовідведення 210 л за добу на жителя. Для цього ж району перерахувати мережу з огляду на режим розмивання осаду. Для розрахунків вважати, що мінімальна денна витрата є близькою до середньої витрати за добу.

Тема 6 Модернізація і реконструкція насосних станцій систем водовідведення

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

Усереднення витрати стічних вод дозволяє зменшити обсяги очисних споруд, що проєктуються, розміри яких визначаються зазвичай за максимальними годинними розрахунковими витратами. В ідеальному випадку максимальна добова продуктивність решіток, піскоуловлювачів, первинних і вторинних відстійників, контактних резервуарів може бути забезпечена подаванням в них максимальної годинної витрати стічних вод протягом 24 годин. Однак не завжди доцільне будівництво усереднювачів, розрахованих на усереднення всього добового обсягу витрат стічних вод. Хороші результати можуть бути досягнуті у разі використання так званих регулюючих резервуарів значно менших за обсягом [6, 8].

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

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

Порядок розрахунку

Визначаємо середньо секундну витрату стічних вод, що очищуються за такою формулою:

$$Q_{сер}^{сек} = \frac{Q}{24 \cdot 3,6}, \text{ л/с.} \quad (6.1)$$

За таблицею 2 п. 7.1.6 із [7] підбираємо максимальний коефіцієнт годинної нерівномірності водовідведення $K_{gen.max}$.

Тоді знаходимо максимальну годинну витрату стічних вод:

$$Q_{год}^{max} = \frac{Q_{сеп}^{сек} \cdot K_{gen.max}}{24}, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (6.2)$$

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

$$Q_{год}^{max1} = Q_{год}^{max}, \text{ м}^3/\text{добу.} \quad (6.3)$$

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

$$Q_{сеп}^{сек1} = \frac{Q_{год}^{max1}}{24 \cdot 3,6}, \text{ л/с.} \quad (6.4)$$

Для отриманого значення середньосекундної витрати спочатку за таблицею 2 [7] визначаємо значення коефіцієнта годинної нерівномірності водовідведення $K_{gen.max}$, після чого з таблиці Б.3 додатка Б, беремо погодинний розподіл витрат стічних вод, які заносимо у другий стовпчик таблиці 6.1. Далі розрахунок ведемо в табличній формі, аналогічно визначення ємності приймального резервуара каналізаційної насосної станції або регулюючого резервуара водонапірної башти.

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

Далі для кожної години доби визначаємо різницю між вираженими у відсотках годинними і середніми витратами стічних вод, яку заносимо в стовпчик 4 – якщо вона додатна, і у стовпчик 5 – якщо вона від'ємна. У стовпчик 6 заносимо визначену зі зростаючим підсумком суму різниць, наведену у стовпчиках 4 і 5, із якої визначаємо мінімальне і максимальне значення, за абсолютною величиною яких і визначаємо регулюючий об'єм резервуара.

$$W_p = \frac{\text{Залишок}_{\max} + \text{Залишок}_{\min}}{100} \cdot Q_{год}^{max1}, \text{ м}^3. \quad (6.5)$$

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

Таблиця 6.1 – Розрахунок обсягу регулюючих резервуарів

Години доби	Витрата, %	Середня витрата, %	Різниця, %		Залишок
			+	-	
1	2	3	4	5	6
0–1					
1–2					

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5	6
2-3					
3-4					
4-5					
5-6					
6-7					
7-8					
8-9					
9-10					
10-11					
11-12					
12-13					
13-14					
14-15					
15-16					
16-17					
17-18					
18-19					
19-20					
20-21					
21-22					
22-23					
23-24					
Всього	100	100			

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

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

Завдання для самоконтролю

Завдання. Запроєктувати регулюючі резервуари для очисних споруд продуктивністю $Q = 24\ 000\ \text{м}^3/\text{добу}$. Визначити їх обсяг, вибрати місце їх розміщення щодо інших споруд технологічної схеми, підібрати споруди, на базі яких доцільно влаштувати регулюючі резервуари. Визначити нову продуктивність очисних споруд.

ЗМ 3 МОДЕРНІЗАЦІЯ І РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМ І СПОРУД ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Тема 7 Модернізація і реконструкція очисних споруд водовідведення

Первинний відстійник. Механічна очистка забезпечує видалення зі стічних вод частини нерозчинних домішок. Основними методами механічної очистки стічних вод є проціджування, відстоювання, флотація і мікрофільтрування.

Проціджування через решітки (іноді через сита) дозволяє видалити зі стічних вод крупні забруднення (тканину, папір, кістки, залишки фруктів, овочів тощо). У процесі відстоювання стічних вод відбувається їх освітлення шляхом гравітаційного осадження нерозчинних домішок, що мають густину, більшу ніж густина води, і спливання нерозчинних домішок із густиною меншою, ніж густина води (жири, масла, нафтопродукти).

Пісок та інші важкі мінеральні домішки затримуються у піскоуловлювачах за короткочасного відстоювання стічних вод. Основна маса нерозчинних органічних домішок затримується у первинних відстійниках. На відміну від очисних споруд виробничих стічних вод на міських очисних станціях не влаштовуються спеціальні жиро-, нафто- чи смоловловлювачі. Ці функції виконують первинні відстійники, які обладнуються спеціальними пристроями для збирання і видалення спливаючих домішок.

Методами механічної очистки можна виділити із стічних вод до 60 % нерозчинних домішок. Залишкові нерозчинні домішки надходять на споруди біологічної очистки стічних вод. Вважається, що ефективність зниження $BPK_{повн}$ під час механічної очистки (збовтані проби) досягає 20 %, хоча з огляду на наведену у таблиці 16 [7] питому кількість забруднень на одного жителя розрахункова ефективність зниження $BPK_{повн}$ у разі механічної очистки складає 46,7 %.

Механічну очистку як самостійний метод можна використовувати у виключних випадках під час скидання стічних вод у потужні водойми на першому етапі будівництва очисних споруд. У більшості випадків механічна очистка розглядається як попередній етап перед біологічною очисткою стічних вод.

Відстоювання стічних вод використовують для видалення з них нерозчинених завислих (які осідають або спливають) грубодисперсних речовин. Відстійники використовують для попереднього очищення стічних вод, якщо за місцевими умовами потрібна їхня біологічна очистка, або як самостійні споруди,

коли за санітарними умовами достатньо виділити зі стічних вод лише механічні домішки.

Робота відстійників полягає у використанні явища осадження (седиментації) частинок зависі під дією сили тяжіння. Осадження частинок може бути вільним чи стисненим. Вільне осадження теоретично можливе лише тоді, коли частинка незмінної форми і розмірів осаджується в необмежено великому об'ємі рідини. Швидкість вільного осадження частинки кулястої форми в умовах ламінарного режиму її обтікання рідиною ($Re \leq 2$) визначається за відомою формулою Стокса, яка враховує низку чинників, що впливають на процес осадження:

$$u = \frac{d_1^2 \cdot (\rho' - \rho_p) \cdot g \cdot k_0}{18 \cdot \mu}, \quad (7.1)$$

де g – прискорення вільного падіння (м/с²);

d_1 – діаметр агрегату частки з водою;

$$d_1 = d + 2 \cdot s, \quad (7.2)$$

де s – товщина іммобілізованого шару води; $s = 0,15$ мкм;

k_0 – коефіцієнт ущільненості суспензії.

$$k_0 = 1 - 2,6 \cdot \sqrt{\frac{c}{\rho_\phi}}, \quad (7.3)$$

де ρ' – густина частки, що занурена у воду;

$$\rho' = \frac{\rho_\phi \cdot d^3 + \rho_p \cdot (d_1^3 - d^3)}{d_1^3}, \quad (7.4)$$

де d – середній діаметр частинок, м;

c – вміст завислих речовин, кг/м³;

ρ_ϕ, ρ_p – густина відповідно дисперсної фази і рідини, кг/м³;

μ – в'язкість середовища, Па·с.

Під час проєктування тонкошарових відстійників обирають кут нахилу пластин $\alpha = 45 \dots 60^\circ$, відстань між пластинами $h_{яп} = 50 \dots 150$ мм, висоту ярусу пластин (або глибиною блока) $H_{ол} = 1 \dots 2$ м. Швидкість руху води $v = 5 \dots 10$ мм/с.

Тривалість відстоювання визначають за такою формулою:

$$T = \frac{h_{яп}}{u \cdot \cos \alpha \cdot 3600}, \text{ год.} \quad (7.5)$$

Довжину зони відстоювання визначають за такою формулою:

$$l_{\text{бл}} = \frac{v_{\text{min}} \cdot T}{K}, \text{ м}, \quad (7.6)$$

де K – коефіцієнт використання зони відстоювання. Для тонкошарових відстійників можна обрати $K = 0,8$.

Продуктивність одного блока тонкошарового відстійника розраховують за такою формулою:

$$q = K \cdot H \cdot B \cdot v, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (7.7)$$

де H – глибина зони відстоювання, м;

B – ширина блока, м.

Кількість блоків у тонкошаровому відстійнику визначають за такою формулою:

$$n = \frac{Q}{q}, \text{ шт.} \quad (7.8)$$

Фактичну довжину пластин можна розрахувати за такою формулою:

$$l_{\text{пл}} = \frac{H}{\sin \alpha}, \text{ м.} \quad (7.9)$$

Кількість пластин для одного блока можна знайти за такою формулою:

$$m = \frac{l_{\text{бл}}}{(h_{\text{яп}} + \delta)}, \text{ шт.} \quad (7.10)$$

Завдання для самоконтролю

Завдання. Розрахувати тонкошаровий відстійник для освітлення $Q = 500$ м³/год стічних вод зі вмістом завислих речовин $C = 200$ мг/л, середній розмір часток $d = 50$ мкм. Густина твердої фази $\rho_{\text{ф}} = 1500$ кг/м³; $\rho_{\text{р}} = 1000$ кг/м³; в'язкість води $\mu = 2 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

Відстань між пластинами $h_{\text{яп}} = 100$ мм, глибина зони відстоювання $H_{\text{бл}} = 1$ м, ширина блока $B = 2$ м, товщина пластини $\delta = 3$ мм, кут нахилу пластини $\alpha = 60^\circ$.

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

1) без зміни режиму роботи вторинних відстійників шляхом влаштування регенераторів (якщо їх не було) або збільшенням їхньої частки від загального

обсягу аеротенків, пристроєм в аеротенках спеціального завантаження, яке вкривається плівкою мікроорганізмів (так звані біотенки);

2) зі зміною режиму роботи вторинних відстійників шляхом обладнання їх тонкошаровими блоками або переобладнання у флотаційні муловідокремлювачі;

3) пристроєм між аеротенками і вторинними відстійниками спеціальних фільтруючих елементів (так звані фільтротенки);

4) здійсненням поділу мулової суміші за допомогою ультрафільтраційних мембран (так звані мембранні біореактори).

Необхідно розуміти, що збільшення маси активного мулу і окисної потужності аеротенків зажадає і відповідного збільшення окислювальної здатності використовуваних систем аерації для забезпечення біохімічного процесу киснем. Це досягається використанням високопродуктивних механічних, пневмомеханічних або струминних аераторів, збільшенням глибини занурення аераторів (шахтних або вежних аеротенків), застосування чистого кисню або збагаченого киснем повітря (оксітенки).

Під час проєктування струминних аераторів типу «кільцеве сопло» або «шахтний водозлив» для біологічного очищення стічних вод в аеротенках.

Порядок розрахунку

Під час проєктування струминних аераторів типу «кільцеве сопло» для біологічного очищення стічних вод в аеротенках.

Середньосекундна витрата стічних вод становить:

$$Q_{pp}^{cek} = \frac{Q}{24 \cdot 3,6}, \text{ л/с.} \quad (7.11)$$

За таблицею 2 [7] визначаємо коефіцієнт нерівномірності водовідведення $K = 1,8$. У цьому випадку розрахункова витрата стічних вод, становитиме:

$$Q_{год}^{max} = \frac{Q}{24} \cdot K \text{ м}^3/\text{год.} \quad (7.12)$$

Витрату робочої рідини (мулової суміші), що подається на струменеві аератори, визначаємо за такою формулою 10.69 [6]:

$$Q_{pp} = \frac{q_0 \cdot (L_{en} - L_{ex}) \cdot Q_{час}^{max}}{\rho \cdot K_1 \cdot K_2}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (7.13)$$

де q_0 – питома витрата кисню для повної біологічної очистки стічних вод ([2], мг/мг, обираємо $q_0 = 1,1$ мг/мг;

ρ – вміст кисню в атмосферному повітрі, $\rho = 270$ г/м³;

K_1 – коефіцієнт ежекції, $K_1 = 1,5$;

K_2 – коефіцієнт використання кисню повітря, частка одиниці, $K_2 = 0,1 - 0,15$.

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

$$Q_{pp}^1 = \frac{Q_{pp}}{n}, \text{ м}^3/\text{ГОД.} \quad (7.14)$$

Внутрішній діаметр повітряної трубки (рис. 7.1) повинен складати:

$$d_n^1 = \sqrt{\frac{Q_{pp}^1 \cdot K_1}{V_n \cdot 0,785 \cdot 3600}}, \text{ м.} \quad (7.15)$$

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

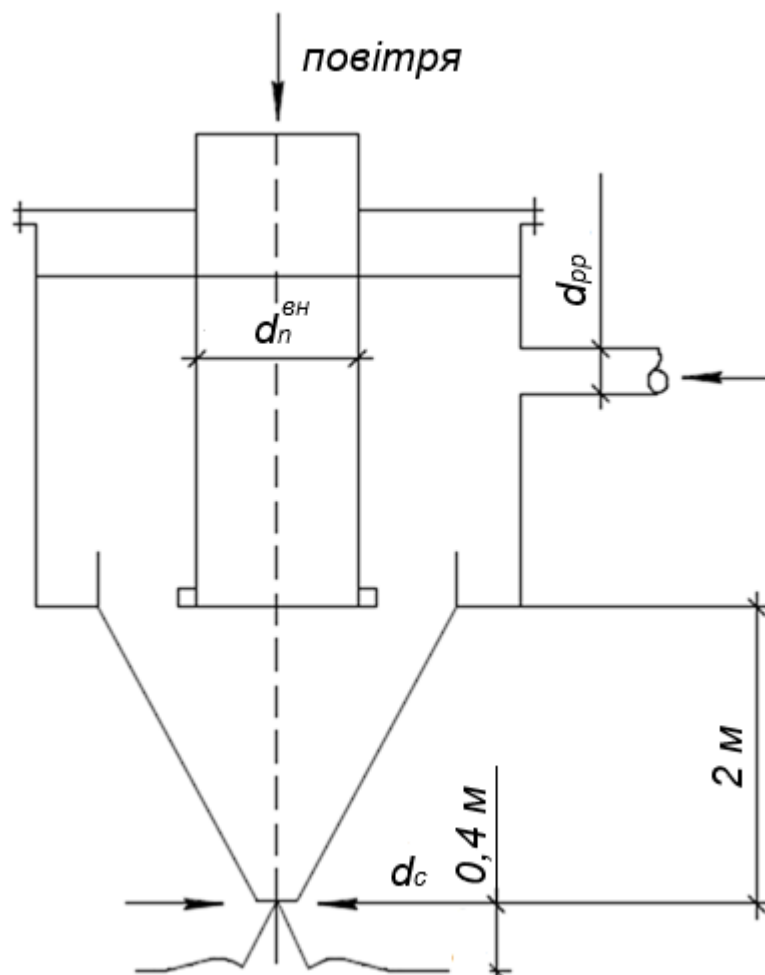


Рисунок 7.1 – Схема струминного аератора типу «кільцеве сопло»

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

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

$$F_{k.c.} = \frac{Q_{pp}^1}{3600 \cdot V_n}, \text{ м}^2. \quad (7.16)$$

Внутрішній діаметр гирла сопла становитиме:

$$d_{k.c.} = \sqrt{\frac{F_{k.c.} + 0,785 \cdot d_n^3}{0,785}}, \text{ м}. \quad (7.17)$$

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

Внутрішній діаметр сопла становитиме:

$$d_c = \sqrt{\frac{Q_{pp}^1 \cdot K_3}{3600 \cdot V_c \cdot 0,785}}, \text{ м}. \quad (7.18)$$

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

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

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

$$d_{pp} = \sqrt{\frac{Q_{pp}^1}{3600 \cdot V_c \cdot 0,785}}, \text{ м}. \quad (7.19)$$

Обираємо підвідний трубопровід умовним діаметром у мм.

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

За швидкістю руху рідини у соплі струминного аератора $v_c = 7$ м/с визначаємо загальну площу сопел усіх аераторів:

$$F = \frac{Q_p \cdot K_1}{v_c}, \text{ м}^2. \quad (7.20)$$

Діаметр сопла струминних аераторів обирають у межах 0,15–0,25 м.

Обираємо діаметр сопла рівним 170 мм. Площа одного сопла при цьому складатиме:

$$F_1 = 0,785 \cdot d_c^2, \text{ м}^2, \quad (7.21)$$

а загальна кількість струминних аераторів дорівнює

$$N = \frac{F}{F_1}, \text{ шт}. \quad (7.22)$$

Треба обирати ціле число.

Загальну висоту струминного аератора обирають в межах 4–5 м, висоту сопла – 1,5 м, кут його конусності – $\alpha = 2^\circ$, а відстань від сопла до поверхні рідини в аеротенку – 0,5–0,9 м.

За кутом конусності сопла і його висотою визначаємо діаметр труби аератора:

$$D = D_c + 2 \cdot 1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ м.} \quad (7.23)$$

Треба обрати діаметр труби аератора умовним проходом у мм.

У разі швидкості руху $V_c = 1,5 \text{ м/с}$, діаметр трубопроводу, по якому робоча рідина підводиться до кожного струминного аератора, буде становити:

$$d_{pp} = \sqrt{\frac{Q_{pp}}{3600 \cdot V_c \cdot 0,785 \cdot n}}, \text{ м,} \quad (7.24)$$

де n – кількість аераторів, шт.

Обираємо підвідний трубопровід умовним діаметром у мм.

Усі інші розміри струминного аератора визначаємо конструктивну (рис. 7.2).

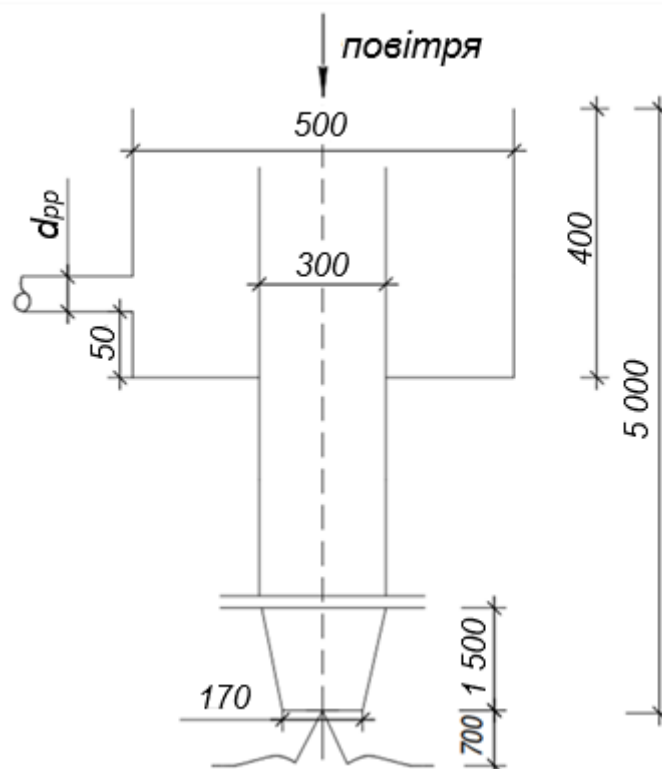


Рисунок 7.2 – Схема струминного аератора типу «шахтний водозлив»

Треба передбачити встановлення не менше двох насосів марки СД за витратою і напором, який буде підходити вам. Кожен робочий насос

обслуговуватиме свій струминний аератор. Резервний насос зберігається на складі.

Завдання для самоконтролю

Завдання 1. Запроектувати струминні аератори типу «кільцеве сопло» для біологічної очистки стічних вод в аеротенках. БПК_{повн} неочищених стічних вод $L_{en} = 320$ мгО₂/л, БПК_{повн} очищених стічних вод $L_{ex} = 15$ мгО₂/л, витрата стічних вод, що очищуються $Q = 8\ 000$ м³/добу. Підібрати насоси для подачі робочої рідини на струминні аератори, навести схему аератора.

Завдання 2. Запроектувати струминні аератори типу «шахтний водозлив» для біологічної очистки стічних вод в аеротенках. БПК_{повн} неочищених стічних вод $L_{en} = 140$ мг/л, БПК_{повн} очищених стічних вод $L_{ex} = 15$ мг/л, витрата стічних вод, що очищуються $Q = 3\ 000$ м³/добу. Підібрати насоси для подачі робочої рідини на струминні аератори, навести схему аератора.

Тема 8 Модернізація і реконструкція споруд механічного очищення промислових стічних вод

Розрахунок тонкошарового відстійника для освітлення стічних вод

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

Методи преаерації та біокоагуляції детально розглянуті в [8].

Тонкошарові відстійники. Ефективним засобом поліпшення первинного освітлення стічних вод може бути обладнання відстійників трубчастими або поличними блоками, що забезпечують роботу відстійників у режимі тонкошарового відстоювання [8]. Такими блоками, виготовленими частіше з пластмас або полімерних плівок, можуть бути обладнані вертикальні, горизонтальні і радіальні відстійники.

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

Основними елементами тонкошарових відстійників є пластини [8], що об'єднуються в блоки, які потім певним чином розміщуються в обсязі споруди. Пластини найчастіше виготовляються з пластмаси, проте вони також можуть бути виготовлені з металевих і азбестоцементних листів, скла або з тонких полімерних плівок товщиною 0,15–0,5 мм. За конструкцією тонкошарові блоки бувають поличними (пластинчастими), коли яруси утворені плоскими або гофрованими листами або полицями, і трубчастими – з тонкошаровими елементами у вигляді труб різного поперечного перерізу (круглого, прямокутного, багатокутного). Для забезпечення сповзання осаду з поверхні пластин або труб вони встановлюються в блоках під кутом $\alpha = 45\text{--}60^\circ$.

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

Поличні і трубчасті тонкошарові відстійники по ефективності затримання зважених речовин практично не відрізняються один від одного. Близько також технологічні показники відстійників, які працюють по протиточній, прямоточній або перехресній схемами. Вибір тієї чи іншої конструкції тонкошарових відстійників для конкретних умов здійснюється на основі техніко-економічних розрахунків. Для очищення міських стічних вод найчастіше використовують тонкошарові відстійники, що працюють за протиточною схемою (рис. 8.1) [8].

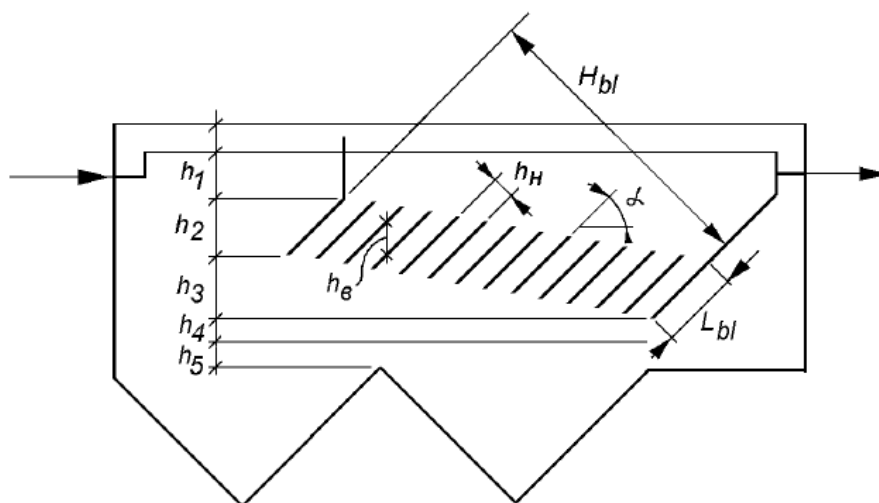


Рисунок 8.1 – Схема тонкошарового відстійника

Тонкошарові елементи проєктують таким чином, щоб в них був забезпечений ламінарний рух води, тобто щоб число Рейнольдса не перевищувало 500 [8]. Цим умовам відповідають значення швидкості руху потоку рідини в міжблочні просторі тонкошарових відстійників, що не перевищують 10 мм/с.

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

$$\frac{h_n}{u_o} = \frac{L_{bl}}{v}, \text{ м,} \quad (8.1)$$

звідки довжина пластин блока повинна складати

$$L_{bl} = \frac{v \cdot h_n}{u_o}, \text{ м,} \quad (8.2)$$

де u_o – гідравлічна крупність частинок зависі, що підлягають затриманню, мм/с;
 v – швидкість руху потоку рідини у міжполичному просторі, м/с.

Зазвичай довжину пластин обирають із коефіцієнтом запасу 1,2–1,5.

Загальна ширина тонкошарових блоків B_{bl} обирається конструктивно з огляду на ширину секції відстійника, розміри матеріалу аркушів блоків і умови їх монтажу.

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

Перевагами тонкошарових відстійників є їхня компактність (завдяки малій необхідній довжині блока), високий ефект освітлення (до 70–80 %), можливість ефективного освітлення стічних вод за високих концентрацій завислих речовин, погано осідають.

Порядок розрахунку

Довжина пластин в блоці повинна становити:

$$l = \frac{h \cdot W}{u_o \cdot K}, \text{ м,} \quad (8.3)$$

де h – відстань між пластинами по вертикалі;

K – коефіцієнт використання обсягу ([7], табл. 20);

W – швидкість руху стічних вод в міжполицевому просторі (обирається 2–10 мм/с),

u_o – гідравлічна крупність частинок, що осаджуються, мм/с.

Згідно з [7, п. 10.2.4.8] кут нахилу стінок осадкових прямокутників обирається від 50° до 55°.

Продуктивність одного відстійника зі збільшенням витрати стічних вод, становитиме:

$$q_{set} = \frac{Q_1}{N \cdot 24}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (8.4)$$

де Q_1 – «нова» витрата стічних вод, м³/добу;

N – кількість секцій відстійника, шт.

Продуктивність тонкошарових відстійників з блоками, що працюють за протитечійною схемою, визначається за формулою В.3 додатка В [7]:

$$q_{set} = 3,6 \cdot K_{set} \cdot L_{set} \cdot B_{set} \cdot W \cdot \cos(90 - \alpha), \text{ м}^3/\text{год}, \quad (8.5)$$

де K – коефіцієнт використання об'єму;

L – довжина блока, м.

У цьому випадку довжина блока по нормалі становитиме [8]:

$$L = \frac{q_{set}}{3,6 \cdot K \cdot L \cdot B \cdot W \cdot \cos(90 - \alpha)}, \text{ м}. \quad (8.6)$$

Відстань між пластинами блока по нормалі становить:

$$l' = h \cdot \text{tg}(90 - \alpha), \text{ м}. \quad (8.7)$$

Для встановлення можливості розташування тонкошарового блока в горизонтальному відстійнику необхідно визначити координати його крайніх точок (А і Е). Схема розташування тонкошарового блока у відстійнику зображена на рисунку 8.2.

З огляду на це кількість пластин в блоці буде становити:

$$h = \frac{L}{l'}, \text{ м}. \quad (8.8)$$

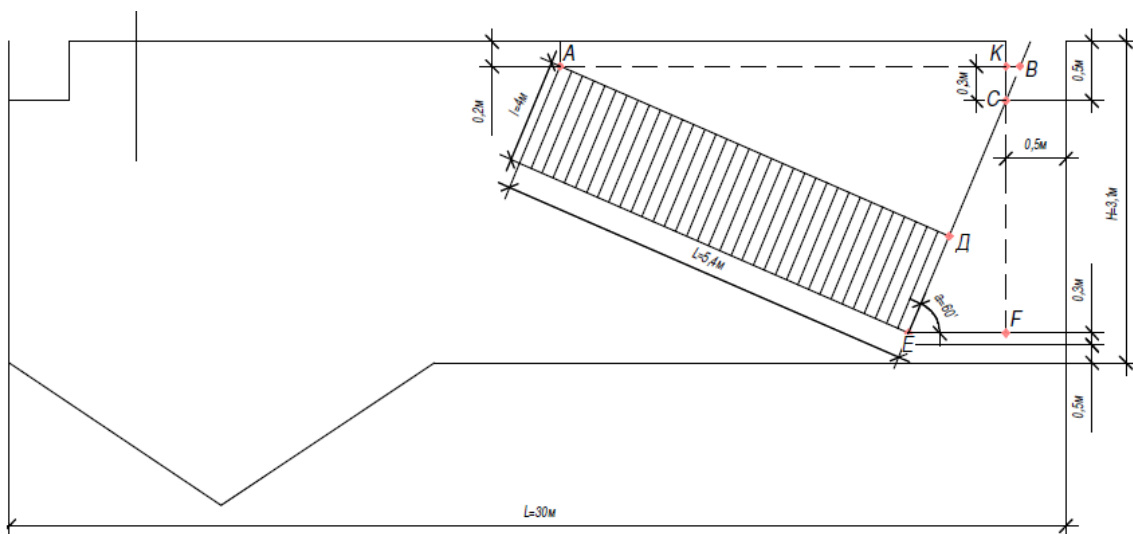


Рисунок 8.2 – Схема розміщення тонкошарового блока у відстійнику

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

$$AB = \frac{AD}{\sin \alpha}, \text{ м.} \quad (8.9)$$

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

$$KB = \frac{KC}{\operatorname{tg} \alpha}, \text{ м.} \quad (8.10)$$

Знаходимо, $AK = AB - KB$, м.

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

Розташування тонкошарового блока у відстійнику з координатами точок зображені на рисунку 8.2.

Завдання для самоконтролю

Завдання 1. Для освітлення стічних вод на очисних спорудах продуктивністю $Q = 48\,000$ м³/добу використовується 6 секцій горизонтальних відстійників глибиною проточної частини $H = 3,1$ м, шириною $B = 9$ м, довжиною $L = 30$ м. Для інтенсифікації роботи відстійників запроєктувати тонкошарові блоки за умови, що витрата стічних вод, що очищується зростає до $75\,000$ м³/добу, а затриманню підлягають завислі речовини з гідравлічною крупністю $U_0 = 0,6$ мм/с. Зобразити схему встановлення тонкошарових блоків у відстійниках.

Тема 9 Модернізація і реконструкція споруд біологічного очищення промислових стічних вод

Покращити роботу перевантажених біофільтра можна впровадженням у технологічну схему аеротенків-змішувачів, розташованих перед біофільтрами [9]. Основним завданням цих аеротенків є зниження вмісту органічних домішок у стічних водах, що надходять до біофільтра. До аеротенків першого ступеня належать аеротенки-відстійники, аеротенки-освітлювачі, а також аеротенки з окремо розміщеними вторинними відстійниками.

У разі реконструкції діючих очисних споруд у аеротенки першого ступеня можуть бути переобладнані двошарові відстійники або освітлювачі-перегнивачі. Для ефективної біологічної очистки стічних вод киснем у цьому випадку доцільно використовувати струминні аератори.

Порядок розрахунку

Для забезпечення необхідного ступеню очистки стічних вод підприємства передбачається здійснити їх двоступінчасту біологічну очистку. Водночас будуть максимально використані вже існуючі споруди для очистки стічних вод і обробки осадів [9].

Для зменшення навантаження на біологічні фільтри і забезпечення їх нормальної роботи два існуючі освітлювачі-перегнивачі доцільно переобладнати в аеротенки першого ступеня зі вбудованими вторинними відстійниками, у яких здійснюється біологічна очистка неосвітлених стічних вод і розділення мулової суміші. Зона аерації кожного з аеротенкі-відстійників розміщуватиметься в об'ємі колишнього перегнивача, а роль вторинних вертикальних відстійників будуть виконувати після необхідної переробки освітлювачі. Рециркуляційний активний мул повертатиметься в зони аерації зануреними насосами, які встановлюються безпосередньо у конічній частині вторинних відстійників.

Максимальна годинна витрата стічних вод підприємства, що очищуються складає:

$$Q_{\text{год}}^{\text{max}} = \frac{Q_{\text{доб}} \cdot K_{\text{год}}}{T}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (9.1)$$

де $K_{\text{год}}$ – коефіцієнт годинної нерівномірності притоку стічних вод, що знаходиться в межах від 1,4 до 2,0 і залежить від потужності виробництва;

T – тривалість роботи підприємства протягом доби, год.

Об'єм зони аерації кожного з аеротенків першого ступеня, що влаштовуються на базі освітлювачів-перегнивачів, залежить від розмірів цих споруди, які будуть реконструйовані, та залежить від типового проєкту, за яким вони були запроєктовані (табл. Б.4, дод. Б). У такому випадку БСК_{повн} стічних вод, очищених в аеротенках першого ступеня, буде складати:

$$L_{\text{ex}} = L_{\text{en}} - N \cdot V \cdot a_i (1 - S) \cdot \rho \cdot 24 / Q_{\text{доб}}, \text{ мг/дм}^3, \quad (9.2)$$

де N – кількість аеротенків, од.;

a_i – доза мулу в аеротенку, г/л;

S – зольність мулу, частка одиниці;

ρ – питома швидкість окислення забруднень, мг/(г·год) [9];

Необхідно підкреслити, що обране у розрахунках значення питомої швидкості забруднень відповідає режиму продовженої аерації, тобто в аеротенках буде забезпечуватися аеробна стабілізація активного мулу.

Оскільки сумарний об'єм зони аерації обох аеротенків перевищує добову витрату стічних вод, що очищуються, то розрахунок струминних аераторів здійснюємо за середньогодинною витратою.

Витрату робочої рідини (мулової суміші), що подається на струминні аератори, визначаємо за формулою 10.69 [6]:

$$Q_{PP} = \frac{q_0 \cdot (L_{en} - L_{ex}) \cdot Q_{доб}}{24 \cdot p \cdot K_1 \cdot K_2}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (9.3)$$

де q_0 – питома витрата кисню повітря, мг на 1 мг знятого БСК_{повн}, що обирається під час очищення до БСК_{повн} 15–20 мг/дм³ – 1,1, під час очищення до БСК_{повн} понад 20 мг/дм³ – 0,9, під час проектування аеротенків із подовженою аерацією – 1,25 [7];

p – вміст кисню в атмосферному повітрі, г/м³, $p = 270$ г/м³;

K_1 – коефіцієнт ежекції, м³ повітря на 1 м³ робочої рідини, 1,0–1,5;

K_2 – ступінь використання кисню повітря, частка одиниці, $K_2 = 0,1–0,15$.

Для подачі робочої рідини на струминні аератори обох аеротенків за витратами підбирають насоси марки К. Насоси розміщують у новозбудованому приміщенні насосної станції струминної аерації.

Кожен насос струминної аерації подає робочу рідину на два струминні аератори. Таким чином, у кожному аеротенку встановлюється потрібна кількість струминних аераторів, які монтуються під кутом 60° до горизонту для створення обертового руху мулової суміші у плані і запобігання у такий спосіб осадження активного мулу на дні аеротенка.

Розрахункове гідравлічне навантаження на поверхню зони освітлення вторинних відстійників складає [6, 7]:

$$q_{ssa} = \frac{4,5 \cdot K_{ss} \cdot H_{set}^{0,8}}{(0,1 \cdot J_i \cdot a_i)^{0,5-0,01a_t}}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (9.4)$$

де K_{ss} – коефіцієнт використання об'єму зони відстоювання, який обирається: для радіальних відстійників – 0,4; вертикальних – 0,35; вертикальних із периферійним випуском – 0,5; горизонтальних – 0,45;

H_{set} – робоча глибина відстійної частини, м;

a_t – концентрація мулу в освітленій воді, потрібно обирається не менше ніж 10 мг/дм³;

a_i – концентрація активного мулу в аеротенку, необхідно обирати не більше ніж 15 г/дм³.

Розрахункову площу зони освітлення вторинних відстійників знаходимо за такою формулою:

$$F = \frac{Q_{год}^{max}}{q_{ssa}}, \text{ м}^2. \quad (9.5)$$

Знаходимо фактичну площу поверхні двох вторинних відстійників, що влаштовуються на базі освітлювачів із відповідним діаметром.

$$F_{\text{факт}} = N \cdot 0,785 \cdot D^2, \text{ м}^2, \quad (9.6)$$

де N – кількість вторинних відстійників, од.;

D – діаметр освітлювача, що реконструюють, м.

Далі знаходимо діаметр центральних труб вторинних відстійників за формулою

$$D_{\text{ц.тр}} = \sqrt{\frac{Q_{\text{год}}^{\text{max}}}{0,785 \cdot N \cdot 3,6 \cdot v_{\text{ц.тр}}}}, \text{ м}, \quad (9.7)$$

де $v_{\text{ц.тр}}$ – швидкість руху стічних вод у центральній трубі обираємо з [6, 9].

Діаметр розтруба повинен складати 1,35 від діаметра центральної труби, а діаметр відбивального щита з кутом конусності 146° [6, 9] – 1,3 від діаметра розтруба.

Відстань від розтруба до відбивального щита повинна складати:

$$l_{\text{врдщ}} = \frac{Q_{\text{год}}^{\text{max}}}{N \cdot 3,6 \cdot v_{\text{рвщ}} \cdot \pi \cdot D_p}, \text{ м}, \quad (9.8)$$

де $v_{\text{рвщ}}$ – швидкість руху рідини між розтрубом і відбивальним щитом, мм/с [7, 9].

У разі розміщення на очисних спорудах N_c секції краплинних біофільтрів висотою шару завантаження h м і площею у плані $A \times B$ м. Площа поверхні завантаження біофільтрів складає

$$F = N \cdot A \cdot B, \text{ м}^2, \quad (9.9)$$

а об'єм завантаження –

$$V = N \cdot h \cdot A \cdot B, \text{ м}^3. \quad (9.10)$$

У разі БСК_{повн} стічних вод, що надходять на біофільтри після реконструкції освітлювачів-перегнивачів, L_{en} , мг/дм³ і БСК_{повн} очищених на біофільтрах стічних вод L_{ex} , мг/дм³, окислювальна потужність краплинних біофільтрів повинна становити:

$$\text{ОП} = \frac{(L_{en} - L_{ex}) \cdot Q_{\text{доб}}}{V}, \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{добу}), \quad (9.11)$$

Порівнюємо з окислюваною потужністю краплинних біофільтрів (табл. 9.1, [6]). Робимо висновок, що біофільтри забезпечують зменшення БСК_{повн} стічних вод з L_{en} мг/дм³ до L_{ex} мг/дм³.

Знаходимо гідравлічне навантаження на поверхню біофільтрів за такою формулою:

$$q = \frac{Q_{\text{доб}}}{F}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{добу}). \quad (9.12)$$

Знов порівнюємо фактичне гідравлічне навантаження на поверхню біофільтрів з оптимальним значенням. І якщо воно складає 1–3 м³/(м² · добу) [6, 9], то це значить, що біофільтри повинні працювати з рециркуляцією.

Робимо висновок і обираємо навантаження на поверхню біофільтрів у рекомендованих межах q м³/(м доба). У цьому випадку витрата рециркуляційної води буде складати:

$$Q_{\text{рец}} = \frac{q \cdot F - Q_{\text{доб}}}{24}, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (9.13)$$

Подача рециркуляційної води буде забезпечуватися насосами, встановленими в існуючій рециркуляційній насосній станції.

Розрахункове гідравлічне навантаження на поверхню вторинних відстійників після краплинних біофільтрів складає за [7]:

$$q_{\text{ssb}} = 3,6 \cdot K_{\text{set}} \cdot u_0, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{добу}). \quad (9.14)$$

де K_{set} – коефіцієнт використання об'єму зони освітлення вторинного відстійника з нисхідно-висхідним рухом рідини. За браком даних допускається обирати за таблицею 21 [7], а саме $K_{\text{set}} = 0,65$;

u_0 – гідравлічна крупність біоплівки, яка у разі повного біологічного очищення стічних вод складає 1,4 мм/с.

$$F_{\text{н.п.п}}^{\text{ВВ}} = \frac{Q_{\text{год}}^{\text{max}} + Q_{\text{рец}}}{q_{\text{ssb}}}, \text{ м}^2, \quad (9.15)$$

де $Q_{\text{год}}^{\text{max}}$ – розрахункова витрата стічних вод, що очищуються, м³/год.

Робимо висновок достатньо чи ні фактичної площі поверхні вторинних вертикальних відстійників для ефективного відділення надлишкової біоплівки від очищених стічних вод.

Знаходимо діаметр циліндричної переділки, яка розділяє зону освітлення на дві рівні частини за такою формулою:

$$D_{\text{ц.п}} = \sqrt{\frac{D^2}{2}}, \text{ м}, \quad (9.16)$$

де D – діаметр вторинного відстійника, м.

Переділка повинна бути занурена у рідину на 2,5 м.

Приріст мулу під час очищення стічних вод підприємства складає:

$$P_i = 0,04 \frac{(L_{\text{ен}}^{\text{вих}} - L_{\text{ен}}^{\text{п.б}}) \cdot Q_{\text{доб}}}{10^6}, \text{ т/добу}, \quad (9.17)$$

де 0,04 – коефіцієнт приросту мулу [7, 9].

Приріст мулу необхідно збільшити на величину маси сухої речовини надлишкової біоплівки, яка скидається у колодязь-гасник напору і далі надходить в аеротенки.

Добова маса сухої речовини надлишкової біоплівки складає:

$$P_b = \frac{Q_{\text{доб}} \cdot L_{\text{ен}}^{\text{н.б}} \cdot 8}{10^6 \cdot 40}, \text{ т/добу}, \quad (9.18)$$

де $L_{\text{ен}}^{\text{н.б}}$ – БСК_{повн} стічних вод, що надходять на біофільтр, мг/дм³;

8 – кількість надлишкової біоплівки, що відводиться із краплинних біофільтрів в розрахунку на одного жителя, г/добу [7, 9];

74 – добова кількість БСК_{повн} у розрахунку на одного жителя, г/добу, таблиця 16 [7].

Таким чином, маса сухої речовини надлишкового активного мулу складатиме:

$$P = P_i + P_b, \text{ т/добу}, \quad (9.19)$$

а його добовий об'єм:

$$W_{\text{доб}} = \frac{100 \cdot P}{100 - 99,65}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (9.20)$$

де 99,65 – вологість надлишкового активного мулу, %.

Розрахункова площа мулових майданчиків для зневоднення стабілізованого надлишкового активного мулу складає:

$$F_{\text{м.м}}^{\text{розн.}} = \frac{W_{\text{доб}} \cdot 365}{2 \cdot 1}, \text{ м}^2, \quad (9.21)$$

де 2 – розрахункове навантаження на мулові майданчики, м³/м²·рік [9];

1 – кліматичний коефіцієнт [7, 9].

Знайти розрахункову площу мулових майданчиків для зневоднення стабілізованого надлишкового активного мулу з урахуванням розрахункового навантаження на мулові майданчики відповідно [7, 9] та кліматичного коефіцієнту. Визначити загальну площу існуючих мулових майданчиків у плані.

Завдання для самоконтролю

Завдання 1. До складу діючих очисних споруд молокопереробного підприємства входять: колодязь-гасник напору, горизонтальний пісковловлювач; два освітлювачі-перегнивачі діаметром 15 м; дві секції краплинних біофільтрів висотою шару завантаження 2 м і площею у плані 18 м × 21 м кожна, які розміщені у приміщенні з розміром у плані 24 м × 24 м; два вторинні вертикальні відстійники діаметром 6 м; насосна станція рециркуляції біофільтрів із приймальним резервуаром діаметром 6 м; три секції контактних резервуарів розміром 20 м × 4 м кожна, хлораторна, два піскові майданчики розміром 12,5 м × 8 м, чотири мулові майданчики розміром 20 м × 55 м кожен. Добова витрата стічних вод, що очищуються складає

$Q_{\text{доб}} = 700 \text{ м}^3/\text{добу}$, БСК_{повн} збовтаних проб стічних вод, що надходять на очисні споруди, становить $L_{en} = 1\,656 \text{ мг/дм}^3$.

Очисні споруди працюють незадовільно.

Проведене обстеження очисних споруд показало, що головною причиною їх незадовільної роботи є недостатня ефективність очистки стічних вод на біофільтрах.

Необхідно розробити заходи для підвищення ефективності роботи очисних споруд.

Тема 10 Модернізація і реконструкція споруд із використанням фізико-хімічних методів та методів флотації і фільтрації

Розрахунок споруди для біологічного очищення стічної води

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

Флоаційні біокоагулятори. Процес освітлення стічних вод можна інтенсифікувати також шляхом переобладнання первинних відстійників у так звані флоаційні біокоагулятори.

Можливі схеми переобладнання в флоаційні біокоагулятори горизонтальних, вертикальних і радіальних відстійників і рекомендації щодо їх розрахунку наведені в літературі [6–8]. Під час переобладнання первинних відстійників у флоаційні біокоагулятори обирають: тривалість перебування в флоаційного камері суміші очищаються стічних вод і робочої рідини – 35–40 хв. Коефіцієнт рециркуляції (відношення витрати робочої рідини і очищених стічних вод) – 0,5–0,7; тиск насичення робочої рідини повітрям – 0,45–0,50 МПа; доза повітря – 2–3 % від сумарної витрати робочої рідини і очищаються стічних вод; вологість віддаленого шламу – 94–96 %. Винесення зважених речовин із флоаційного біокоагулятора не перевищує 200 мг/л (у складі зважених речовин, що виносяться, основна частина – це життєздатний активний мул).

Переобладнання первинних відстійників у флоаційні біокоагулятори дозволяє скоротити тривалість первинного освітлення стічних вод до 30–40 хв, а також на 30–40 % знизити БПК₅ стічних вод, що надходять в аеротенки. Зниження БСК у флоаційних біокоагуляторах відбувається за рахунок видалення зі стічних вод частини розчинних і колоїдних забруднень. Одночасно відбувається також зменшення концентрацій СПАР, жирів, нафтопродуктів,

іонів важких металів та інших забруднень. Отримання флотаційного шламу зниженої вологості дозволяє виключити з технологічної схеми ущільнювачі надлишкового активного мулу, зменшити обсяги метантенків або інших споруд для обробки осадів і шламів. Недоліком флотаційної біокоагуляції є великі витрати електроенергії для перекачування робочої рідини під значним тиском.

Порядок розрахунку

Вертикальний відстійник з нисхідно-висхідним рухом рідини

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

$$D_{\phi} = \sqrt{\frac{Q_{\text{год}} \cdot (1 + k)}{N \cdot 0,785 \cdot q}}, \text{ м}, \quad (10.1)$$

де $Q_{\text{год}}$ – годинна витрата очищених стічних вод після реконструкції, м³/год;

k – коефіцієнт рециркуляції у разі флотаційної біокоагуляції;

N – кількість відстійників, що переобладнуються у флотаційні біокоагулятори, шт;

q – навантаження на зону флотації, м³/м² годину.

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

$$h_{\phi} = \frac{Q_{\text{год}} \cdot (1 + k) \cdot t_{\phi}}{60 \cdot 0,785 \cdot D_{\phi}^2 \cdot N}, \text{ м}, \quad (10.2)$$

де t_{ϕ} – тривалість флотації, хв.

Глибина занурення циліндричної переділки становитиме:

$$h_{\text{з}} = h_{\text{ш}} + h_{\text{н}} + h_{\phi} + 0,5, \text{ м}, \quad (10.3)$$

де $h_{\text{ш}}$ – товщина флотошламу, м;

$h_{\text{н}}$ – товщина нейтрального шару, м;

h_{ϕ} – висота зони флотації, м;

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

Зі швидкістю виходу стічних вод з водорозподільних вікон 0,8 м/с [7], площа водорозподільних вікон, що припадає на один флотаційний біокоагулятор, буде становити:

$$F_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{год}}}{N \cdot V_{\text{в}} \cdot 3600}, \text{ м}^2, \quad (10.4)$$

Оскільки є діаметр зони флотації, D_{ϕ} , то обираємо водорозподільник вікон [6, 8]. Площа одного вікна при цьому становитиме:

$$F_{B1} = \frac{F_B}{D}, \text{ м}^2. \quad (10.5)$$

Обираємо відношення висоти до ширини вікна $H : B = 1 : 2$.

Звідки:

$$H = \sqrt{\frac{F_{B1}}{2}}, \text{ м}^2. \quad (10.6)$$

Фактична швидкість виходу стічних вод із водорозподільних вікон складе:

$$V_B = \frac{Q_{\text{год}}}{N \cdot N_B \cdot F_{B1} \cdot 3600}, \text{ м/с}. \quad (10.7)$$

Перевіряємо, чи знаходиться вона в допустимих межах $V_B = (0,7-0,9)$ м/с, робимо висновок.

Обираємо відстань між водорозподільними вікнами у сантиметрах. У такому випадку периметр центральної труби становитиме:

$$L_{\text{ц.тр}} = B \cdot D_{\phi} + 0,1 \cdot D_{\phi}, \text{ м}, \quad (10.8)$$

а її діаметр:

$$d_{\text{ц.тр.}} = \frac{L_{\text{ц.тр.}}}{\pi}, \text{ м}. \quad (10.9)$$

Обираємо центральну трубу умовним проходом, мм. Кількість радіальних розподільчих дірчастих трубопроводів обираємо у штуках, швидкість руху рідини в трубах – 1,5–2 м/с, а у отворах – 1,8–2,2 м/с [7].

Діаметр розподільних трубопроводів повинен складати:

$$D_{pp} = \sqrt{\frac{Q_{\text{год}}^{\text{max}} \cdot K}{N \cdot n_{pp} \cdot v_{pp} \cdot 3600 \cdot 0,785}}, \text{ м}. \quad (10.10)$$

Обираємо розподільні трубопроводи з умовним діаметром у мм. Визначаємо кількість отворів у розподільчих трубопроводах одного флотаційного біокоагулятора обраного раніше діаметром отворів рівним

$$N_{\text{отв}} = \frac{Q_{\text{год}}^{\text{max}} \cdot K}{N \cdot v_{\text{отв}} \cdot 3600 \cdot d_{\text{отв}}^2 \cdot 0,785}, \text{ од.} \quad (10.11)$$

У розрахунку на один радіальний розподільник трубопроводів робочої рідини знаходимо кількість отворів. Отвори розміщуємо по обидва боки трубопроводу в горизонтальній площі на різній висоті один від іншого для забезпечення рівномірного розподілу робочої рідини в плані зони флотації.

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

У разі тривалості насичення робочої рідини повітрям 3–5 хв [8], обсяг напірного бака повинен бути:

$$V_{\text{н.б.}} = 1,25 \cdot \frac{Q_{\text{год}}^{\text{max}} \cdot K \cdot t}{60}, \text{ м}^3. \quad (10.12)$$

Обираємо стандартний напірний бак об'ємом. Для подачі робочої рідини обираємо робочий і резервний насоси марки К, із відповідною подачею у м³/год і напором у метрах вод. ст.

Величина БСК₅ стічних вод після очищення у флотаційному біокоагуляторі визначається за такою формулою [6–8]:

$$L_5 = L_0 - \Gamma \cdot \Pi, \text{ мг/дм}^3, \quad (10.13)$$

де L_0 – початкова БСК₅ стічних вод, мг/л;

Γ – БПК₅/г сухої речовини зростання активного мулу – питома сорбція зростання активного мулу ([8], рис. 10.1);

Π_p – приріст мулу, г/л.

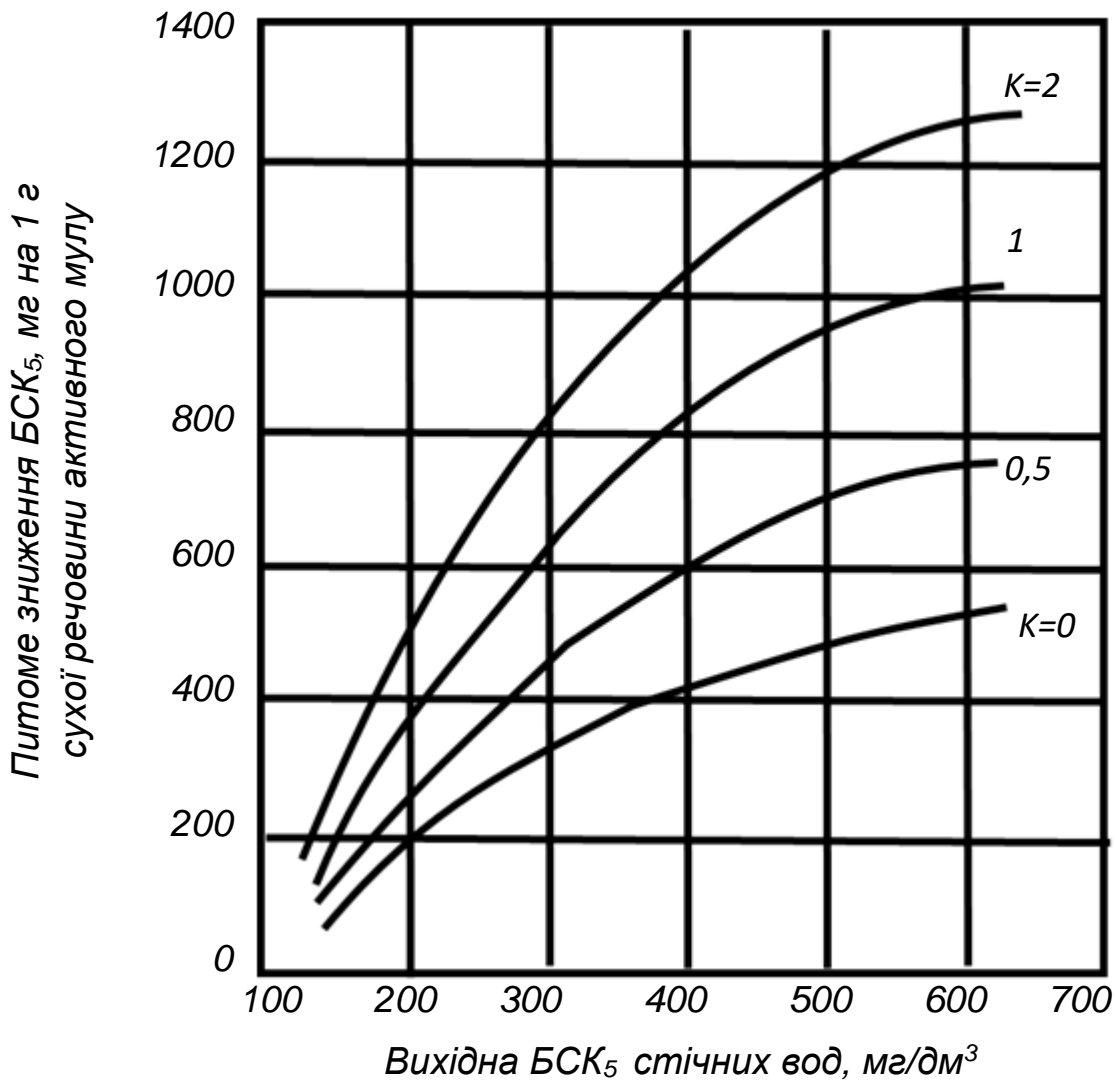


Рисунок 10.1 – Питома сорбція зростання активного мулу

За розрахунками намалювати вертикальний відстійник, переобладнаний у флотаційний біокоагулятор, приклад якого намалюваний на рисунку 10.2.

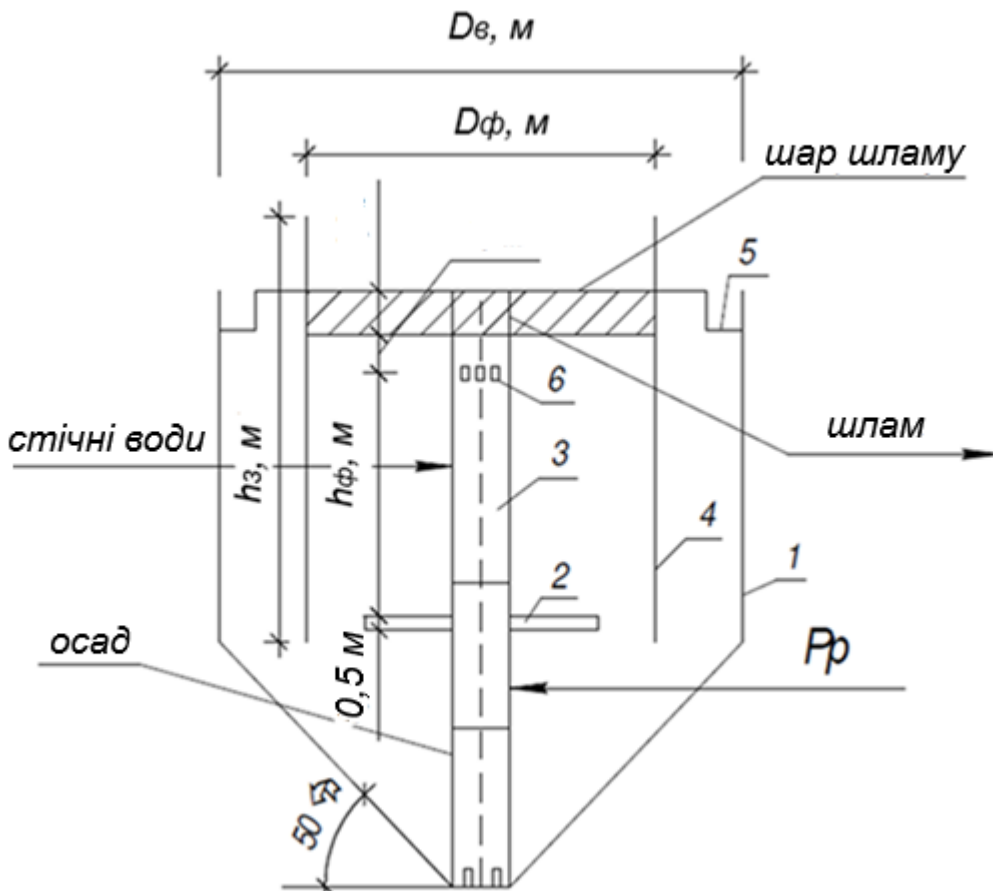


Рисунок 10.2 – Вертикальний відстійник, переобладнаний у флотаційний біокоагулятор:

1 – корпус; 2 – радіальні розподільні дірчасті трубопроводи робочої рідини; 3 – центральна труба; 4 – циліндрична вертикальна переділка; 5 – кільцевий водозбірний лоток з водозливом; 6 – вікна для розподілу очищених стічних вод

Завдання для самоконтролю

Завдання 1. Для первинного освітлення стічних вод із максимальною годинною витратою $Q = 80 \text{ м}^3/\text{год}$ використовується $n = 2$ вертикальних відстійників з нисхідно-висхідним рухом рідини діаметром $D = 4,5 \text{ м}$. Робоча глибина відстійника $H = 3,6 \text{ м}$, висота конічної частини відстійника $hk = 2,5 \text{ м}$. Необхідно інтенсифікувати роботу відстійників шляхом їх переобладнання у флотаційні біокоагулятори зі збільшенням їх продуктивності до 50 %. Визначити БСК₅ стічних вод, якщо БПК₅ неочищених стічних вод складає $L0 = 190 \text{ мг}/\text{дм}^3$, а доза надлишкового мулу, тобто приріст мулу $Pr = 200 \text{ мг}/\text{дм}^3$.

2 РЕКОМЕНДАЦІ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Для опанування матеріалу навчальної дисципліни «Модернізація і реконструкція систем водопостачання та водовідведення» окрім лекційних, практичних занять, тобто аудиторної роботи, значну увагу необхідно приділяти самостійній роботі.

ЗМ 1 МОДЕРНІЗАЦІЯ І РЕКОНСТРУКЦІЯ ВОДОПРОВІДНИХ СИСТЕМ

Тема 1 Роль та етапи модернізації і реконструкції у забезпеченні функціонування систем водопостачання

Роль та етапи модернізації і реконструкції у забезпеченні функціонування систем водопостачання.

Питання для самоконтролю

1. Вкажіть, які вимоги висуваються до функціонування об'єктів водопровідно-каналізаційного господарства.
2. Назвіть мету і завдання, що ставляться перед реконструкцією об'єктів водопровідно-каналізаційного господарства.
3. Опишіть етапи, що входять у процес реконструкції об'єкта водопровідно-каналізаційної інфраструктури.
4. Визначте, які напрями є перспективними для модернізації відстійного блока водопровідної станції.

Тема 2 Модернізація і реконструкція водозабірних споруд та водопровідних насосних станцій

Модернізація і реконструкція водозабірних споруд. Натурні дослідження напірно-витратних і енергетичних характеристик діючих насосних станцій. Водопровідні насосні станції I підйому. Водопровідні насосні станції II підйому.

Питання для самоконтролю

1. Перерахуйте роботи, що виконуються під час обстеження підземного водозабору.
2. Як визначають параметри існуючого водопідйомного обладнання?
3. Які причини зміни продуктивності свердловин? Назвіть методи усунення цих причин.

4. Причини погіршення якості води, що забирається підземним водозабором. Назвіть методи покращення якості води.

5. Як за результатами обстежень визначити причину зміни продуктивності водозабору?

6. Дайте коротку характеристику методів відновлення продуктивності свердловин.

7. Які питання необхідно вирішити під час буріння нових свердловин на існуючому водозаборі?

8. Які основні причини зменшення дебіту промислових водозаборів та шахтних колодязів?

9. Назвіть методи реконструкції та інтенсифікації промислових водозаборів, шахтних колодязів.

10. Які причини зменшення продуктивності водозаборів із поверхневих джерел?

11. Які матеріали вивчають під час аналізу роботи діючого водозабору?

12. Перерахуйте роботи, що виконуються під час обстеження водозабору.

13. Як встановити необхідність промивання подавальних ліній та оголовку?

14. Яким чином здійснюється імпульсне промивання подавальних ліній та оголовку?

15. Як досягається збільшення продуктивності всього комплексу водозабірних споруд?

16. Де варто будувати новий оголовок: вище або нижче за існуючий щодо руху ріки?

17. Як визначити гранично допустимий рівень води в приймальному відділенні під час інтенсифікації?

18. Які запитання вирішуються під час будівництва нового комплексу водозабірних споруд?

19. Яку інформацію про діючі споруди потрібно знати для реконструкції систем водопостачання?

20. Навіщо потрібні дані досліджень про системи водопостачання?

21. Навіщо робиться випробування насосного обладнання?

22. Що потрібно виміряти для визначення енергетичних характеристик?

23. Для чого потрібне правильне визначення фактичних гідравлічних характеристик трубопроводів?

24. Назвіть декілька можливих рішень реконструкції насосної станції першого підйому.

25. Назвіть декілька можливих рішень реконструкції насосної станції другого підйому.

Тема 3 Модернізація і реконструкція водопровідних мереж

Реконструкція водопровідних мереж. Методи санації водопровідних мереж.

Питання для самоконтролю

1. Опишіть, як відбувається заміна водопровідних мереж поліетиленовими трубопроводами з руйнуванням старих труб.
2. Назвіть, що є визначальними під час вибору варіанта відновлення водопровідної мережі.
3. Наведіть суть методу облицювання внутрішньої поверхні трубопроводу цементно-піщаним покриттям.
4. У чому полягає суть методу облицювання внутрішньої поверхні трубопроводу гнучким рукавом?
5. Назвіть низку переваг технології подавання рукава у водопровідну трубу.
6. Наведіть суть методу протягування у відновлюваний трубопровід нових поліетиленових труб.

Тема 4 Модернізація і реконструкція водопровідних очисних станцій

Сучасний стан проблеми очищення природних вод. Модернізація і реконструкція відстійників. Модернізація і реконструкція освітлювачів із завислим осадом. Модернізація і реконструкція фільтрів. Модернізація і реконструкція систем знезаражування природних вод. Модернізація і реконструкція очисних споруд водопроводу із застосуванням дискових фільтрів та ультрафільтраційних мембран, озонування тощо.

Питання для самоконтролю

1. Які технологічні показники необхідно вимірювати під час інспекції реагентного господарства, змішувачів, камер флокуляції, горизонтальних відстійників та освітлювачів, фільтрів?
2. Назвіть ціль і обсяг контрольного розрахунку очисної споруди.
3. Що таке «вузькі» місця очисної станції та як їх виявити?
4. Що таке безтраншейний ремонт локальних ушкоджень водопровідних трубопроводів?
5. Яке ви знаєте безтраншейне ущільнення нещільних з'єднань водопровідних труб?

6. Окресліть методи посилення змішування води з реактивами.
7. За яких обставин застосовують перфоровані, струменеві та дифузійні розподільники реагентів?
8. Який розподільник буде оптимальним для додавання вапна?
9. Покажіть схему розміщення розподільника реагентів у вихровому змішувачі та контактній камері.
10. У яких випадках рекомендується аерація в змішувачі?
11. Що таке градієнт швидкості?
12. Визначте переваги механічних змішувачів порівняно з гідравлічними.
13. Чи є взаємозв'язок між інтенсивністю перемішування та тривалістю фільтрувального циклу?
14. Наведіть перелік методів інтенсифікації освітлювачів із шаром мулу, відстійників.
15. Які фактори можуть зумовлювати розбіжність між проектною та реальною швидкостями руху води в камерах флокуляції, відстійниках, освітлювачах?
16. Як досягти кращого розподілу та збору води в горизонтальному відстійнику?
17. Що здатне спричинити низький коефіцієнт об'ємного використання споруд?
18. Зобразіть схеми камер флокуляції з контактним середовищем.
19. Принцип очищення води тонким шаром.
20. Створіть схему розташування тонкошарових модулів у відстійниках та освітлювачах.
21. З якою метою застосовують тонкошарові модулі в зоні ущільнення осаду освітлювачів із шаром завислого мулу?
22. Перерахуйте способи оптимізації видалення осаду з горизонтального відстійника.
23. За яких умов актуальне застосування рециркуляції осаду? Наведіть схему рециркулятора.
24. Які переваги має система донних клапанів порівняно з гідравлічним способом видалення осаду з відстійників?
25. Окресліть методи, що дозволяють прискорити процес фільтрування.
26. Де здатність утримувати забруднення більша: у швидкому фільтрі чи в контактному освітлювачі?
27. Який наповнювач доцільно використати в контактному освітлювачі: керамзит чи пісок?

28. Зобразіть можливі варіанти двоступінчастого фільтрування. Які переваги має схема «контактний освітлювач – швидкий фільтр»?

29. Як розраховують тривалість роботи фільтра першого ступеня в згаданих схемах?

30. Проведіть порівняльний аналіз функціонування фільтра з постійною та змінною швидкістю.

31. Як обчислити тривалість фільтроциклу швидких фільтрів, що працюють зі змінною швидкістю?

32. Чи можливо збільшити швидкість фільтрування, замінивши піщаний наповнювач на цеолітовий?

33. Вкажіть недоліки промивання фільтрів водою.

34. Перерахуйте ефективні методи промивання швидких фільтрів.

35. В яких випадках рекомендується пульсуюче промивання?

36. Оцініть позитивні та негативні сторони водоповітряного промивання.

37. Чому фільтр із черговим промиванням може працювати з більшою швидкістю, ніж фільтр із водяним промиванням?

38. Запропонуйте схему безгравійного поруватого дренажу для модернізації швидкого фільтра з черговим промиванням.

39. Покажіть конструкцію системи видалення промивної води у разі водоповітряного промивання.

40. Чим пояснюється низька результативність знезараження води хлоруванням?

41. Які існують способи для покращення процесу знезараження води?

42. За яких обставин доцільно застосовувати хлорамінування води?

43. Яка технологічна послідовність обробки води з використанням озону?

44. Які альтернативні методи знезараження, окрім хлорування, вам відомі?

45. Чому одночасно з озонуванням води використовують також хлорування?

46. Які методи знезараження води ефективно знищують віруси?

47. Що радить сучасна практика як заміну для первинного хлорування?

48. Коли є можливість використовувати для знезараження питної води виключно УФ-лампи?

49. За допомогою якого сучасного обладнання можна модернізувати або реконструювати існуючі водопровідні очисні споруди?

50. Чому для очищення природної води поверхневих джерел використовують ультрафільтраційні мембрани?

51. Для чого застосовують дискові фільтри під час очищення питної води?

ЗМ 2 МОДЕРНІЗАЦІЯ І РЕКОНСТРУКЦІЯ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Тема 5 Модернізація і реконструкція водовідвідних мереж

Причини, що спричиняють необхідність модернізації і реконструкції водовідвідних мереж. Задачі модернізації і реконструкції існуючих водовідвідних мереж. Основні вихідні дані для розробки проекту модернізації і реконструкції водовідвідних мереж. Способи модернізації і реконструкції існуючих водовідвідних мереж.

Питання для самоконтролю

1. Назвіть основні методи санації систем транспортування води.
2. Назвіть шляхи збільшення пропускної здатності існуючих колекторів.
3. Опишіть варіанти реконструкції існуючої неповної роздільної системи водовідведення в повну роздільну.
4. Які способи реконструкції існуючих водовідвідних мереж ви знаєте?
5. Наведіть способи реконструкції існуючих водовідвідних мереж.
6. Назвіть причини, що спричиняють необхідність реконструкції водовідвідних мереж.
7. Опишіть схему реконструкції існуючої загальносплавної системи водовідведення в напівроздільну.
8. Опишіть технологію демонтажу трубопроводу та заміни його на новий.
9. Опишіть технологію усунення старого трубопроводу та ґрунту навколо нього.

Тема 6 Модернізація і реконструкція насосних станцій систем водовідведення

Модернізація і реконструкція насосних станцій систем водовідведення.

Питання для самоконтролю

1. Яку інформацію про діючі споруди потрібно знати для реконструкції систем водовідведення?
2. Навіщо потрібні дані досліджень про систему водовідведення?
3. Навіщо робиться випробування насосного обладнання?
4. Що потрібно виміряти для визначення енергетичних характеристик?

5. Для чого потрібне правильне визначення фактичних гідравлічних характеристик трубопроводів?
6. Назвіть декілька можливих рішень реконструкції насосної станції.
7. Як реконструювати насосну станцію перекачування (збільшити подачу)?

Тема 7 Модернізація і реконструкція очисних споруд водовідведення

Модернізація і реконструкція роботи решіток. Модернізація і реконструкція пісковловлювачів. Модернізація і реконструкція відстійників. Модернізація і реконструкція біофільтрів. Модернізація і реконструкція аеротенків. Модернізація і реконструкція споруд для обробки осаду. Модернізація очисних споруд із застосуванням дискових біофільтрів.

Питання для самоконтролю

1. Які існують методи вдосконалення функціонування решіток?
2. Як можна підвищити ефективність пісковловлювачів з точки зору їхньої пропускної здатності?
3. Які існують варіанти оновлення пісковловлювачів, що працюють за принципом кругового руху води?
4. Які технологічні рішення можливо розробити для знешкодження та повторного використання піску, зібраного у пісковловлювачах?
5. Які існують шляхи прискорення роботи первинних відстійників?
6. Як можна підвищити продуктивність первинних відстійників?
7. Як аерація стічних вод перед відстоюванням впливає на процес?
8. Що таке біокоагуляція? Які в неї є переваги та недоліки?
9. Як впровадити біофлокуляцію на існуючих очисних спорудах із первинними відстійниками?
10. Що таке флотаційне освітлення стічних вод? Які технологічні рішення застосовуються?
11. Які бувають типи флотації та які технологічні схеми використовуються?
12. У чому полягає мета посилення функціонування біологічних фільтрів?
13. Які дії необхідно впровадити для вирішення задач реконструкції біофільтрів?
14. Які ключові способи посилення роботи біофільтрів вам відомі?
15. Надайте типові технологічні схеми реконструкції вже функціонуючих станцій з біофільтрами.
16. Як можливо покращити роботу біофільтрів із великим навантаженням?

17. Як впливає вентиляція наповнювача біофільтрів на їхню ефективність?
18. Які існують двоступеневі технологічні схеми очищення стічних вод із використанням біофільтрів?
19. За яких обставин виникає потреба у реконструкції аераційних установок?
20. Які методи існують для посилення ефективності аераційних споруд?
21. Як реалізується процес збільшення кількості активного мулу в аераційних установках?
22. Які технологічні схеми біологічного очищення стічних вод від азоту та фосфору вам відомі?
23. Яким способом можна активізувати роботу аераційної системи?
24. Які ключові методи підвищення окислювальної здатності пневматичної аерації?
25. Які типи аераторів демонструють найвищу ефективність за великих концентрацій активного мулу?
26. Які існують основні підходи до перемішування мулової суміші в аеротенках?
27. У чому сутність гідравлічного методу перемішування?
28. Як працюють роторні біологічні контактори (RBC)?
29. Чому системи з прикріпленою біоплівкою, такі як RBC, не втрачають популярності?
30. Чи можуть RBC виробляти високоякісні стоки?
31. Чи можна використовувати RBC для великих очисних споруд?
32. Як RBC скорочують вартість інших процесів на очисних спорудах?
33. Чи можуть RBC забезпечувати видалення азоту і фосфору так само, як і системи з аеротенками?
34. Чому фіксовані плівкові системи більш стійкі до порушень процесу, ніж активний мул?
35. Наскільки менше уваги під час експлуатації та технічного обслуговування вимагає система RBC, ніж система аеротенків?

ЗМ 3 МОДЕРНІЗАЦІЯ І РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМ І СПОРУД ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Тема 8 Модернізація і реконструкція споруд механічного очищення промислових стічних вод

Модернізація і реконструкція споруд механічного очищення промислових стічних вод.

Питання для самоконтролю

1. Назвіть основну мету реконструкції систем і об'єктів водопостачання та водовідведення на промислових підприємствах.
2. Наведіть один із перспективних напрямків, від успішності якого залежить обсяг водоспоживання в промисловості.
3. Які розрахунки проводяться під час підготовки проєкту реконструкції системи водопостачання на промисловому підприємстві?
4. Яка необхідність модернізації часто виникає під час реконструкції систем охолодження?
5. Наведіть методи реконструкції споруд механічного очищення промислових стічних вод.
6. Опишіть методи реконструкції споруд механічного очищення з використанням принципів тонкошарового відстоювання.
7. Що належить до специфічних особливостей тонкошарових відстійників?
8. Що необхідно враховувати під час вибору матеріалу для виготовлення тонкошарових елементів?
9. Навіщо під час очищення води застосовують тонкошарові модулі?
10. Перелічіть, з яких етапів складається комплекс підготовчих робіт із реконструкції споруд очищення виробничих вод?
11. На що необхідно звертати особливу увагу у всіх випадках і за всіх схем реконструкції споруд механічного очищення стічних виробничих вод?

Тема 9 Модернізація і реконструкція споруд біологічного очищення промислових стічних вод

Модернізація і реконструкція споруд біологічного очищення промислових стічних вод.

Питання для самоконтролю

1. Що таке вибір методу очищення виробничих стічних вод?
2. Від яких факторів залежить вибір методу очищення виробничих стічних вод?
3. Який можна зробити висновок, аналізуючи подані дані під час біологічного очищення виробничих стічних вод?
4. Назвіть серед усіх нинішніх способів обробки промислових і побутових стічних вод найбільше екологічно безпечні біологічні методи.
5. Наведіть застосування комбінації методів, які дозволить досягти необхідного результату очищення стічної води.
6. Опишіть технологію анаеробної ферментації висококонцентрованих стічних вод.
7. Назвіть отримані результати реалізації схеми з застосуванням анаеробної ферментації.
8. Чому на сьогоднішній день найбільш ефективною є технологія метанового зброджування стічних вод молокопереробного виробництва?
9. Які проблеми дозволяє вирішити застосування сучасних анаеробних реакторів для очищення виробничих стічних вод?
10. Опишіть, що таке анаеробне очищення виробничих стічних вод.
11. Що таке аеротенк під час очищення виробничих стічних вод?
12. Чому анаеробні системи біологічної очистки (ферментери, реактори) є найефективнішими системами очищення?
13. Які завдання дозволяє вирішити застосування анаеробних систем біологічної очистки (ферментери, реактори)?
14. Що відбувається в анаеробному реакторі в результаті ферментації?
15. Яка схема біологічної очистки стічних вод для молочної промисловості найбільше підходить для реконструкції?

Тема 10 Модернізація і реконструкція споруд із використанням фізико-хімічних методів та методів флотації і фільтрації

Застосування фізико-хімічних методів попередньої обробки промислових стічних вод. Модернізація і реконструкція споруд із використанням методу флотації і фільтрації.

Питання для самоконтролю

1. Назвіть один з ефективних способів інтенсифікації видалення зі стічних вод нерозчинних домішок.

2. Наведіть кілька способів насичення рідини бульбашками повітря, що використовують у техніці флоатації.

3. Які умови виконуються під час розробки проекту реконструкції споруд фізико-механічного очищення стічних виробничих вод?

4. Опишіть ціль реконструкції блока механічного очищення системи технічного водопостачання промпідприємства.

5. З урахуванням яких особливостей запропоновано схему реконструкції відстійника у флотатор?

6. Де можуть застосовуватися дискові мікрофільтри під час очищення стічних виробничих вод?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ТА РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Інтенсифікація і реконструкція систем водопостачання» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Водопостачання та водовідведення» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання. Частина 1 [Електрон. ресурс] / В. О. Шадура. – Електрон. текст. дані. – Рівне : НУВГП, 2020. – 38 с. – Режим доступу: <https://ep3.nuwm.edu.ua/18939/>, вільний (7.10.2025). – Назва з екрана.

2. Реконструкція та інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення : навч. посіб. / О. А. Василенко, П. О. Грабовський, Г. М. Ларкіна [та ін.]. – Київ – Одеса : КНУБА, ОДАБА, 2007. – 299 с.

3. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 01.01.2014 р. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 172 с.

4. ДСТУ Б В.2.7-151:2008 Будівельні матеріали. Труби поліетиленові для подачі холодної води. Технічні умови (EN 12201-2:2003, MOD) [Електрон. ресурс] / Група Євротрубпласт : сайт. – Чинний від 2009-06-01. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://etp.com.ua/upload/dstu_b_v-2-7-151-2008.pdf, вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.

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

6. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посіб. / В. А. Ковальчук. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.

7. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 01.01.2014 р. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 2013. – 134 с.

8. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи та практичних занять з дисципліни «Інтенсифікація і реконструкція систем водовідведення» для студентів спеціальності 8.092601 та 7.092601 «Водопостачання та водовідведення» усіх форм навчання / В. А. Ковальчук, О. В. Ковальчук. – Рівне : НУВГП, 2010. – 31 с.

9. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи та практичних занять з дисципліни «Інтенсифікація і реконструкція систем водовідведення» для студентів спеціальності 8.092601 «Водопостачання та водовідведення» усіх форм навчання / В. А. Ковальчук, О. В. Ковальчук. – Рівне : НУВГП, 2010. – 24 с.

10. Хоружий П. Д. Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П. Д. Хоружий, Т. П. Хомутецька, В. П. Хоружий. – Київ : Аграрна наука, 2008. – 534 с.

11. Глоба Л. І. Біологічна деноксація хімічних патогенів у водному середовищі / Л. І. Глоба, П. І. Гвоздяк // Медичні перспективи. – 2012. – Т. 12. – № 4. – С. 21–25.

12. Гвоздяк П. І. Біохімія води як перспективний науковий напрям // Вісник НАН України. – 2006. – № 9. – С. 21–23.

13. Гвоздяк П. І. Біохімія води. Біотехнологія води (автомонографія). – Київ : Видавничий дім «Києво-Могилянська академія», 2019. – 228 с.

14. Благодарна Г. І. Особливості застосування мембран для водопідготовки питної води з поверхневих джерел / Г. І. Благодарна, С. М. Гуслев // Екологія, теплопостачання, енергозбереження, водопостачання, каналізація – 2019 : збірка доповідей. – Київ : Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства», 2019. – С. 165–171.

15. Technical Manual Ultrafiltration [Electronic resource]: Inge Watertechnologies AG, 2010. – 40 p. – Electronic text data. – Regime of access : <https://www.scribd.com/document/544728008/generico>, free (date of the application: 07.09.2025). – Header from the screen.

16. Благодарна Г. І. Аналіз та техніко-економічне обґрунтування удосконаленої технології з підвищенням ефективності очищення води комплексом водопідготовки «Донець» // Звіт з науково-дослідної роботи «Удосконалення технологічних процесів очищення природних та стічних вод». Етап 3 «Аналіз та техніко-економічне обґрунтування удосконалених технологій та рішення з підвищення ефективності очищення води». – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, кафедра ВВ і ОВ, 2023.

17. Благодарна Г. І. Використання озону в якості окиснювача при очищенні природних, стічних та промислових вод // Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – С. 10.

18. SARLIN [Electronic resource]. – Electronic text data. – Regime of access: <https://h2cluster.fi/members/sarlin-oy-ab/>, free (date of the application: 07.09.2025). – Header from the screen.

19. Насоси серії Flygt N. Самоочисні насоси зі стабільно високим ККД [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://www.flygt.kiev.ua/pdf/wastewater-pump-n.pdf> вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.

20. Обладнання для очищення стічної води. Один виробник для різних стадій [Електрон. ресурс] / Група Esmil : сайт. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://ua.esmil.eu/product_cat/sewage-screens-and-fine-screens/, вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.

21. Порівняльний аналіз експлуатаційних витрат на зневоднення осадів малих і середніх (до 100 000 м³/доба) очисних споруд [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу : <https://ua.esmil.eu/sravnitelnyj-analiz-ekspluatacionnyh-zatrat-na-obezvozhivanie-osadkov-malyh-i-srednih-do-100-000-m3-sutki-ochistnyh-sooruzhenij-ekoton/>, вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.

22. Sewage sludge management in Europe: a critical analysis of data quality / A. Bianchin, M. Pellegrini, L. Bonfiglioli, C. Saccani // international Journal of Environment and Waste Management. – № 18. – С. 226.

23. Гуслєв С. М. Розгляд біологічних роторних контакторів (RBC) як технології очищення комунальних стічних вод / С. М. Гуслєв, О. Л. Зубко // Виробничо-практичний журнал «Водопостачання та водовідведення». – 2022. – № 1. – С. 52–57.

24. Reconsidering rotating biological contactors as an option for municipal wastewater treatment / by: Steven E. Williams, P. E. [Electronic resource]. – Electronic text data. – Regime of access: <https://www.walker-process.com/pdf/ReconsideringRotatingBiologicalContactors.pdf>, free (date of the application: 07.09.2025). – Header from the screen.

25. Айрапетян Т. С. Водне господарство промислових підприємств : навч. посіб. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 280 с.

26. Епоян С. М. Зворотні та безстічні системи водокористування промислових підприємств : конспект лекцій для здобувачів другого

(магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології [Електрон. ресурс] / С. М. Епоян, Т. С. Айрапетян ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 113 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/61785/>, вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.

27. Долина Л. Ф. Реконструкція систем водопостачання та водовідведення [Електрон. ресурс] : монографія / Л. Ф. Долина, П. Б. Машихіна, В. А. Козачина. – Дніпро : Журфонд, 2021. – 220 с. – Режим доступу : http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/13518/1/Dolina_etc_reconstruction.pdf, вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Щільність розчину коагулянта при заданій концентрації

Концентрація розчину коагулянту $Al_2(SO_4)_3$, % за вагою	Щільність розчину, г/см ³
1	1,09
2	1,019
4	1,040
6	1,060
8	1,083
10	1,105
20	1,226

Таблиця А.2 – Діаметр променю залежно від даметру отвору і витраті розчину коагулянту

Діаметр отвору, мм	Витрата розчину коагулянту, що проходить через один отвір у разі $h = 30$ см, см ³ /с	Діаметр променю, мм
3	12,8	15
4	22,8	20
5	35,6	25
6	51,3	32

Таблиця А.3 – Значення φ відповідно значенню відношення ширини до висоти тонкошарового елемента

Характеристика тонкошарового елемента	Значення b_0 / H_0			
	1,0–2,5	2,5–5,0	5,0–10	> 10
Значення φ	1,25	1,15	1,05	1,0
Примітка. b_0 – ширина тонкошарового елемента; H_0 – висота тонкошарового елемента.				

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Найменші розрахункові швидкості руху стічних вод у трубах

Діаметр D , мм	Швидкість $v_{min}, \frac{м}{с}$, у разі наповнення H/D			
	0,60	0,70	0,75	0,80
150–250	0,70	–	–	–
300–400	–	0,80	–	–
450–500	–	–	0,90	–
600–800	–	–	1,00	–
900	–	–	1,15	–
1 000–1 200	–	–	–	1,20
1 500	–	–	–	1,30
Понад 1 500	–	–	–	1,50

Примітка 1. Для пластмасових труб у разі наповнення $H/D = 0,8$ найменша швидкість обирається для $D = 1\ 000 - 1\ 200$ мм – $v_{min} = 1,15$ м/с; для $D = 1\ 400 - 2\ 000$ мм – $v_{min} = 1,2$ м/с.

Примітка 2. Для виробничих стічних вод найменші швидкості обираються згідно з галузевими будівельними нормами проектування підприємств або за експлуатаційними даними.

Примітка 3. Для виробничих стічних вод, близьких до господарсько-побутових за забрудненням завислими речовинами, найменші швидкості обираються як для господарсько-побутових стічних вод.

Примітка 4. Для дощової каналізації під час періоду одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу $P = 0,33$ року найменшу швидкість обирають 0,6 м/с.

Таблиця Б.2 – Значення живого перетину і гідравлічного радіуса залежно від наповнення різної форми колекторів

Наповнення $\frac{h}{(H/D)}$	Живий перетин ω'			Гідравлічний радіус		
	круглий перетин	яйцеподібний перетин	лотковий перетин	круглий перетин	яйцеподібний перетин	лотковий перетин
1	2	3	4	5	6	7
0,10	0,040 88	0,198 70	0,119 26	0,063 5	0,169 29	0,083 27
0,15	0,073 88	0,355 34	0,217 86	0,092 9	0,232 22	0,123 88
0,20	0,111 82	0,538 80	0,334 02	0,120 6	0,2873 30	0,164 04

Продовження таблиці Б.2

1	2	3	4	5	6	7
0,25	0,153 55	0,746 27	0,460 38	0,146 6	0,337 77	0,209 97
0,30	0,198 17	0,974 33	0,586 70	0,170 9	0,384 23	0,252 92
0,35	0,244 98	1,219 98	0,712 20	0,1935	0,42731	0,32441
0,40	0,293 37	1,480 92	0,836 19	0,214 2	0,467 13	0,353 66
0,45	0,342 78	1,753 99	0,958 18	0,233 1	0,504 34	0,353 66
0,50	0,392 70	2,037 30	1,077 64	0,250 0	0,538 43	0,378 94
0,55	0,442 62	2,328 08	1,193 99	0,264 9	0,569 74	0,400 31
0,60	0,492 03	2,624 14	1,306 49	0,277 6	0,597 94	0,417 99
0,65	0,540 42	2,923 34	1,414 37	0,288 1	0,623 50	0,432 00
0,70	0,587 23	3,223 09	1,516 88	0,296 2	0,646 09	0,442 12
0,75	0,631 85	3,518 05	1,613 06	0,301 7	0,664 58	0,448 18
0,80	0,673 57	3,801 53	1,701 68	0,304 2	0,677 48	0,450 04
0,85	0,711 52	4,065 11	1,781 28	0,303 3	0,682 87	0,447 19
0,90	0,744 52	4,298 22	1,849 62	0,298 0	0,678 15	0,438 40
0,95	0,770 72	4,487 13	2,903 30	0,286 5	0,652 64	0,421 00
1,00	0,785 40	4,594 14	1,933 16	0,250 0	0,579 35	0,369 20

Таблиця Б.3 – Розподіл середньодобової витрати побутових стічних вод за годинами доби

Години доби	Витрата стічних вод, %, від середньодобової, у разі $K_{gen.max}/K_{gen.min}$					
	1,7 / 0,55	1,6 / 0,59	1,55 / 0,62	1,5 / 0,66	1,47 / 0,69	1,44 / 0,71
1	2	3	4	5	6	7
0–1	2,30	2,50	2,60	2,75	2,90	2,96
1–2	2,30	2,50	2,60	2,75	2,90	2,96
2–3	2,30	2,50	2,60	2,75	2,90	2,96
3–4	2,30	2,50	2,60	2,75	2,90	2,96
4–5	2,30	2,50	2,60	2,75	2,90	2,96
5–6	3,50	4,30	4,31	4,15	4,00	3,80
6–7	4,80	5,50	5,32	5,15	5,00	4,90
7–8	6,10	5,50	5,22	5,05	4,90	4,90

Продовження таблиці Б.3

1	2	3	4	5	6	7
8–9	7,10	6,70	6,46	6,30	6,13	6,00
9–10	7,10	6,70	6,46	6,30	6,13	6,00
10–11	7,10	6,70	6,46	6,30	6,13	6,00
11–12	5,40	4,50	4,60	4,50	4,41	4,24
12–13	3,50	3,90	4,00	4,15	4,00	3,84
13–14	3,50	3,50	4,80	4,75	4,50	4,94
14–15	3,50	5,50	5,32	5,30	5,10	4,94
15–16	4,80	5,50	5,32	5,30	5,10	4,94
16–17	6,00	5,30	5,32	5,20	5,10	4,94
17–18	6,00	5,30	5,32	5,20	5,10	4,94
18–19	6,00	4,10	4,31	4,35	4,30	4,64
19–20	4,30	3,50	3,00	3,05	4,00	3,90
20–21	2,90	3,50	3,00	2,95	2,90	3,50
21–22	2,30	2,50	2,60	2,75	2,90	2,96
22–23	2,30	2,50	2,60	2,75	2,90	2,96
23–24	2,30	2,50	2,60	2,75	2,90	2,96

Таблиця Б.4 – Основні параметри типових освітлювачів-перегнивачів

Номер типового проекту	Діаметр споруди, м	Параметри освітлювача		Технологічний об'єм перегнивача, м ³	Пропускна спроможність споруди, м ³ /год
		діаметр, м	площа зони осадження, м ²		
902-2-314	9	5	15,5	306	41,3
902-2-315	12	5	15,5	640	50
902-2-316	15	6	22,5	1 060	73

Електронне навчальне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення практичних занять та організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«МОДЕРНІЗАЦІЯ І РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ»

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання
зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,
освітня програма «Цивільна інженерія»)*

Укладач **БЛАГОДАРНА** Галина Іванівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

Редактор *Б. О. Хільська*

Комп'ютерне верстання *Г. І. Благодарна, Є. Г. Панова*

План 2023, поз. 68М

Підп. до друку 10.10.2025. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 4,0.

Видавець і виготовлювач:

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

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 8386 від 14.07.2025.