

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання курсового проєкту

«КОМПЛЕКС СПОРУД З ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД МІСТА»

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

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2026

Методичні рекомендації до виконання курсового проєкту «Комплекс споруд з очистки стічних вод міста» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності G19 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад.: С. М. Епоян, С. В. Лукашенко, Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. – 77 с.

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

Рецензент

Т. О. Шевченко, кандидат технічних наук, професор кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

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

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Завдання для виконання курсового проєкту	5
1.1 Вихідні дані для проєктування	5
1.2 Склад і обсяг курсового проєкту	5
2 Склад стічних вод. Умови і розрахунок випуску стічних вод у водойми після очищення	8
2.1 Визначення витрат стічних вод	8
2.2 Визначення концентрацій забруднень	9
2.3 Обчислення наведеної кількості мешканців.....	9
2.4 Визначення необхідного ступеня очищення стічних вод	10
2.4.1 Нормативи якості води водоймища	10
2.4.2 Розрахунок коефіцієнта змішування води водойми зі стічними водами	10
2.4.3 Визначення необхідного ступеня очищення стічних вод за загальносанітарними показниками шкідливості	12
2.4.4 Визначення ступеня очищення за розчиненим у воді киснем	13
2.4.5 Вибір методу очищення та схеми очисної станції	14
3 Розрахунок споруд механічного очищення стічних вод	18
3.1 Приймальна камера	18
3.2 Решітки	19
3.2.1 Розрахунок каналів і лотків	19
3.2.2 Розрахунок решіток типу <i>МГ</i>	20
3.2.3 Розрахунок решіток типу <i>CV</i>	22
3.3 Пісковловлювачі	25
3.4 Піскові бункери	29
3.5 Пристрій для вимірювання витрат стічних вод	30
3.6 Розрахунок первинних відстійників	30
4 Розрахунок споруд біологічного очищення стічних вод	34
4.1 Аеротенки-витиснювачі з регенераторами	34
4.2 Розрахунок вторинних радіальних відстійників	38
5 Знезараження стічних вод	40
5.1 Вибір типу змішувачів	41
5.2 Вибір типу контактних резервуарів	41
6 Розрахунок споруд для обробки осаду стічних вод	42
6.1 Ущільнення надлишкового активного мулу	42
6.2 Знешкодження осадів	44
6.2.1 Розрахунок метантенків	44
6.2.2 Розрахунок виходу біогазу та розмірів газгольдерів	46
6.2.3 Мулові майданчики	48
7 Компонування генплану очисної станції	49
8 Побудова повздовжнього профілю руху стічних вод і осаду	53
Список рекомендованої літератури.....	58
Додатки	59

ВСТУП

Проектування ефективних комплексів споруд з очищення стічних вод є одним із ключових завдань інженерної підготовки фахівців у галузі будівництва та цивільної інженерії, водопостачання і водовідведення. Сучасні вимоги до охорони водних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки та дотримання нормативних показників якості очищених стічних вод обумовлюють необхідність ґрунтовної теоретичної підготовки та набуття практичних навичок з розрахунку, компонування і проектування споруд очищення.

Виконання курсового проєкту на тему «Комплекс споруд з очищення стічних вод міста» спрямоване на закріплення знань, отриманих під час вивчення профільних дисциплін, а також на формування у здобувачів вищої освіти компетентностей щодо вибору технологічної схеми очищення, виконання інженерних розрахунків окремих споруд, визначення їх конструктивних параметрів та розроблення ситуаційного плану комплексу очисних споруд.

Методичні рекомендації визначають структуру, зміст і послідовність виконання курсового проєкту, містять вимоги до оформлення пояснювальної записки та графічної частини, а також рекомендації щодо виконання основних технологічних і гідравлічних розрахунків та необхідні довідкові матеріали. Методика розрахунку очисних споруд заснована на рекомендаціях ДБН В.2.5 – 75:2013 та вітчизняному досвіді експлуатації споруд систем водовідведення. Використання цих рекомендацій сприятиме систематизації знань здобувачів, розвитку навичок самостійного розв'язання інженерних завдань та підготовці до виконання професійної діяльності у сфері проектування систем водовідведення й очищення стічних вод.

Основними завданнями курсового проєкту є: визначення розрахункових витрат стічних вод, вибір технологічної схеми їх очищення, розрахунок параметрів основних споруд, а також обґрунтування обраних технічних рішень з урахуванням сучасних екологічних вимог.

1 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

1.1 Вихідні дані для проєктування

1. Витрати стічних вод від населення.
2. Витрати стічних вод від промислових підприємств, їхня характеристика.
3. Характеристика річки: меженна витрата, кількість розчиненого кисню у воді, БПК, завислі речовини, глибина, швидкість течії води тощо.
4. Відстань від очисних споруд до випуску у річку.
5. Категорія водокористування нижче місця випуску стічних вод (господарсько-питне, культурно-побутове, для рибогосподарських цілей першого або другого видів).

1.2 Склад і обсяг курсового проєкту

Курсовий проєкт є самостійним індивідуальним завданням.

Курсовий проєкт складається з пояснювальної записки з технологічними розрахунками всіх споруд, викладеної на аркушах формату А4 обсягом 25–30 сторінок і графічної частини.

Під час виконання курсового проєкту потрібно відповідно до завдання визначити необхідний ступінь очищення стічних вод, обрати метод очищення, розробити схему очисної станції, здійснити технологічний і гідравлічний розрахунок всіх споруд, що входять до схеми очисної станції, розробити генеральний план станції, скласти профілі руху води та осаду.

У розрахунково-пояснювальній записці повинні бути висвітлені всі етапи проєктування:

1. Вихідні дані для проєктування.
2. Обрані норми проєктування, розрахункові формули, таблиці.
3. Визначення розрахункових витрат від міста й промислового підприємства.
4. Розрахунки з визначення наведеної кількості мешканців і концентрації забруднень загального стоку (середні концентрації забруднень суміші виробничих і побутових стічних вод).
5. Визначення коефіцієнта змішування води водойми зі стічними водами.
6. Визначення необхідного ступеня очищення стічних вод за основними показниками.
7. Обґрунтування й вибір методу очищення та схеми очисної станції.

8. Опис і розрахунок споруд очисної станції.

9. Розробка технологічної схеми очищення та обробки осаду стічних вод або komponування генерального плану очисної станції.

У кінці записки повинен бути список використаних літературних джерел.

Розрахунки мають бути обґрунтовані посиланнями на чинні нормативні матеріали.

Розрахунково-пояснювальна записка повинна бути стислою та містити тільки розрахунки з необхідними поясненнями, обґрунтуванням обраних рішень. Не потрібно переписувати у розрахунково-пояснювальну записку нормативні дані й загальні відомості з того чи іншого питання з бібліографічного списку.

У разі використання у роботі нормативних та інших розрахункових даних необхідно надати посилання на відповідне літературне джерело. Кожне посилання мусить мати номер літературного джерела (у квадратних дужках) за списком, що додається, номер сторінки чи таблиці. У разі посилання на будівельні норми та правила необхідно вказати скорочену назву відповідного розділу ДБН і номер пункту чи таблиці.

Розрахунки, виконані під час проєктування, доцільно подавати у пояснювальній записці, написавши розрахункову формулу в загальному вигляді, одразу після знака рівності потрібно переписати цю формулу з чисельними значеннями й написати відповідь. Нижче потрібно надати пояснення позначень, що входять у цю формулу, та вказати, з яких джерел взяті їхні чисельні значення.

Особливу увагу необхідно звернути на обов'язкове й правильне написання розмірності величин.

У кінці пояснювальної записки повинен бути наведений список джерел, на які були посилання у тексті.

Графічна частина курсового проєкту містить такі креслення:

1. Ситуаційний план очисних споруд, який рекомендується виконувати у масштабі 1 : 500 або 1 : 1 000 (формат креслення – A1) із основними та допоміжними спорудами й комунікаціями, із зазначенням розмірів основних споруд, технологічних трубопроводів, мереж, доріг, елементів благоустрою.

2. Поздовжні профілі руху води та мулу по очисних спорудах. Рекомендований масштаб горизонтальний – 1 : 500, 1 : 1 000 (відповідно до масштабу плану очисних споруд), вертикальний – 1 : 100, 1 : 200.

Під час складання курсового проєкту очисних споруд роботу необхідно починати зі систематизування зібраного матеріалу й підбору даних із літературних джерел. Після уточнення з керівником категорії водойми, в яку планується випуск очищених стічних вод, здійснюють технологічний та гідравлічний розрахунки очисних споруд із зазначенням їхніх габаритних розмірів.

Після визначення необхідних розмірів очисних споруд виконують тонким олівцем чернетку генплану станції. За цим генпланом виконують гідравлічний розрахунок і складають профілі руху води й мулу по очисних спорудах. Залежно від обраного висотного розташування очисних споруд вносять корегування до генплану станції, після чого за уточненим генпланом корегують профілі руху води й мулу по спорудах. Після закінчення зазначених робіт усі креслення остаточно оформлюють для здавання.

На кресленні генплану необхідно помістити експлікацію основних і допоміжних будівель і споруд, а також умовні позначення комунікацій (мулопроводи, газопроводи, водопровід тощо).

Після побудови профілів з руху осаду і води на генплан очисних споруд наносять можливі насипи і виїмки.

2 СКЛАД СТИЧНИХ ВОД. УМОВИ І РОЗРАХУНОК ВИПУСКУ СТИЧНИХ ВОД У ВОДОЙМИ ПІСЛЯ ОЧИЩЕННЯ

2.1 Визначення витрат стічних вод

На очисні споруди міської каналізації надходить суміш побутових і виробничих стічних вод. Ці споруди розраховують на сумарну кількість вказаних вод.

У таблиці 2.1 надані формули для визначення розрахункових витрат стічних вод відповідно до вихідних даних для проєктування.

Таблиця 2.1 – Визначення розрахункових витрат стічних вод

Категорія витрат стічних вод	Витрата стічних вод		
	Добова $Q_{доб}$, $m^3/добу$	Годинна $Q_{год}$, $m^3/добу$	Секундна q , л/с
Побутові: – середні; – максимальні; – мінімальні	$Q_{доб}^{поб}$ (вказана у завданні) – –	$Q_{год}^{поб} = Q_{доб}^{поб} / 24$ $Q_{год, max}^{поб} = Q_{год}^{поб} \cdot K_{gen, max}$ $Q_{год, min}^{поб} = Q_{год}^{поб} \cdot K_{gen, min}$	$q_{поб} = Q_{год}^{поб} / 3,6$ $q_{max}^{поб} = q_{поб} \cdot K_{gen, max}$ $q_{min}^{поб} = q_{поб} \cdot K_{gen, min}$
Виробничі	$Q_{доб}^{III}$ (вказана у завданні)	$Q_{год}^{III} = Q_{доб}^{III} / 24$	$q^{III} = Q_{год}^{III} / 3,6$
Сумарні: – середні – максимальні – мінімальні	$Q_{доб} = Q_{доб}^{поб} + Q_{доб}^{III}$ – –	$Q_{год} = Q_{год}^{поб} + Q_{год}^{III}$ $Q_{год, max} = Q_{год, max}^{поб} + Q_{год}^{III}$ $Q_{год, min} = Q_{год, min}^{поб} + Q_{год}^{III}$	$q = q^{поб} + q^{III}$ $q_{max} = q_{max}^{поб} + q^{III}$ $q_{min} = q_{min}^{поб} + q^{III}$

$K_{gen, max}$ і $K_{gen, min}$ – максимальні та мінімальні загальні коефіцієнти нерівномірності, що визначаються залежно від середньої секундної добової витрати $q_{поб}$, л/с, за даними таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Загальні коефіцієнти нерівномірності припливу побутових стічних вод міста

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

2.2 Визначення концентрацій забруднень

Концентрації забруднень побутових стічних вод за завислими речовинами $C^{ноб}$, мг/л, й органічними забрудненнями, які виражаються їхнім еквівалентом БПК_{повн} $L^{ноб}$, мг/л, визначають через питоме водовідведення:

$$C^{ноб} = a_c \cdot 1000 / n, \quad (2.1)$$

$$L^{ноб} = a_L \cdot 1000 / n, \quad (2.2)$$

де a_c – питома кількість завислих речовин, яка дорівнює 65 г/добу на 1 мешканця;

a_L – питома кількість органічних забруднень у неосвітленій рідині, що дорівнює 75 г/добу на 1 мешканця;

n – питоме середньодобове водовідведення побутових стічних вод, л/добу на 1 мешканця.

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

– за завислими речовинами:

$$C_{en} = \frac{C^{ноб} \cdot Q^{ноб} + C^{nn} \cdot Q^{nn}}{Q^{ноб} + Q^{nn}}; \quad (2.3)$$

– за БПК_{повн}:

$$L'_{en} = \frac{L^{ноб} \cdot Q^{ноб} + L^{nn} \cdot Q^{nn}}{Q^{ноб} + Q^{nn}}, \quad (2.4)$$

де C^{nn} , L^{nn} – концентрація завислих речовин і значення БПК_{повн} виробничих стічних вод, мг/л, відповідно;

$Q^{ноб}$, Q^{nn} – середньодобові витрати побутових і виробничих стічних вод, м³/доб.

2.3 Обчислення наведеної кількості мешканців

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

$$N_p = \frac{Q_{доо} \cdot 1000}{n}, \text{ мешк.}, \quad (2.5)$$

$$N = N_p + N^{екв}, \text{ мешк.}, \quad (2.6)$$

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

Еквівалентне населення:

– за завислими речовинами:

$$N_c^{екв} = \frac{C^{nn} \cdot Q^{nn}}{a_c}, \text{ мешк.}; \quad (2.7)$$

– за БПК_{повн}:

$$N_L^{екв} = \frac{L^{nn} \cdot Q^{nn}}{a_L}, \text{ мешк.} \quad (2.8)$$

Наведене населення:

1. За завислими речовинами:

$$N_c = N_p + N_c^{екв}, \text{ мешк.}; \quad (2.9)$$

2. За БПК_{повн}:

$$N_L = N_p + N_L^{екв}, \text{ мешк.} \quad (2.10)$$

За наведеною кількістю мешканців визначається кількість осадів, які нормуються на одного мешканця.

2.4 Визначення необхідного ступеня очищення стічних вод

2.4.1 Нормативи якості води водоймища

Нормативи якості води водоймища, в яке скидаються очищені стічні води, встановлюються залежно від виду використання (категорії) цих водоймищ [16]. Деякі необхідні для курсового проектування нормативні дані наведені в таблиці А.1 (дод. А).

Відповідно до вказаних у завданні до курсової роботи видів водовикористання потрібно встановити нормативні вимоги до якості води водоймища: БПК_{повн}, концентрацію розчиненого кисню, допустиме збільшення концентрації завислих речовин, які повинні бути враховані під час визначення необхідного ступеня очищення стічних вод.

2.4.2 Розрахунок коефіцієнта змішування води водойми зі стічними водами

Для ураховання витрати річки, що бере участь у процесі змішування під час спускання стічних вод, розраховують коефіцієнт змішування γ , що вказує, яка частина витрати річки змішується зі стічною водою у цьому створі.

Під час спускання стічних вод у протокові водойми значення γ визначається за методом В. А. Фролова, І. Д. Родзіллера та О. В. Караушева:

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{l_\phi}}}{1 + (Q_p/q) \cdot e^{-\alpha \sqrt[3]{l_\phi}}}, \quad (2.11)$$

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

l_ϕ – відстань від створу випуску стічних вод до розрахункового створу за течією (фарватером) річки, м;

Q_p – найменша середньодобова витрата води (у разі 95 % забезпеченості) у створі річки біля місця випуску, м³/с;

q – середньосекундна витрата стічних вод, м³/с;

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

$$a = \varphi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{E/q}, \quad (2.12)$$

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

ξ – коефіцієнт, який залежить від конструкції випуску стічних вод у водойму: за берегового випуску $\xi = 1,0$, у разі випуску у фарватер $\xi = 1,5$, за дифузійного випуску $\xi = 3,0$;

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

$$E = V_p \cdot H_p / 200, \quad (2.13)$$

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

H_p – середня глибина річки на тій же ділянці, м.

Стічні води скидаються у водойму через випуск нижче території забудови. Для водотоків, використовуваних у рибогосподарських цілях, розрахунковий створ розташовується на відстані 500 м нижче випуску стічних вод. Для водойм господарсько-питного й культурно-побутового водокористування контрольний створ знаходиться вище пункту водокористування за течією річки на відстані 1 000 м до водозабору.

На рисунку 2.1 наведено схему ділянки ріки, де здійснюється змішування стічних вод з водою водойми.

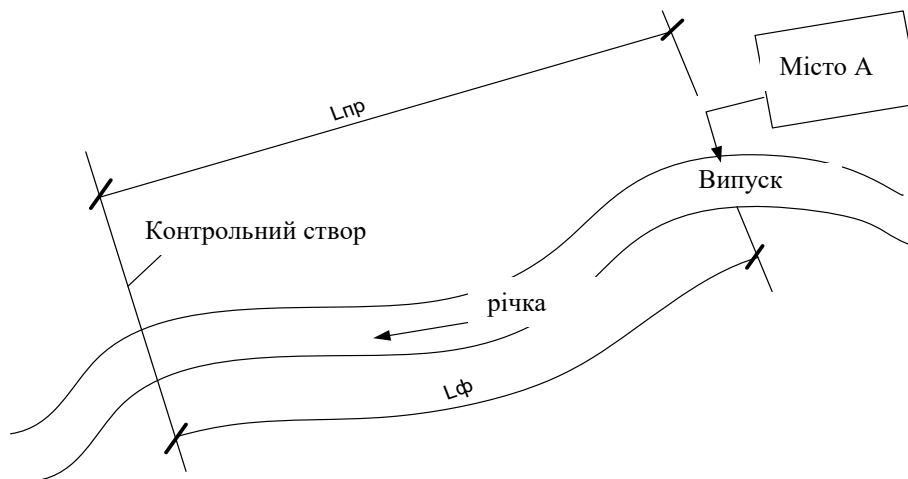


Рисунок 2.1 – Схема ділянки ріки, де здійснюється змішування стічних вод з водою водойми:

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

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

Розрахунки для визначення необхідного ступеня очищення стічних вод, що спускаються у водойму, здійснюють за вмістом завислих речовин, за споживанням стічними водами розчиненого кисню, за допустимою величиною $БПК_{повн}$ у суміші річкової води і стічних вод.

*Обчислення ступеня очищення за вмістом
завислих речовин*

Допустимий вміст завислих речовин у стічних водах, що спускаються у річку, відповідно до санітарних правил визначають за такою формулою:

$$C_{ex} = (\gamma \cdot Q_p / q + 1) \cdot C_{ГДК} + C_p, \text{ мг/л} \quad (2.14)$$

де $C_{ГДК}$ – гранично допустиме за санітарними правилами збільшення завислих речовин у водоймі після спуску стічних вод (залежно від виду водокористування), мг/л (див. табл. А.1, дод. А);

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

γ – коефіцієнт змішування;

Q_p – витрата води у водоймі, $\text{м}^3/\text{с}$;

q – середньодобова витрата стічних вод, $\text{м}^3/\text{с}$.

Потрібний ефект очищення обчислюють за формулою (%)

$$E_c = (C_{en} - C_{ex}) \cdot 100 / C_{en}. \quad (2.15)$$

Визначення ступеня очищення за БПК_{повн}

Концентрацію органічних забруднень за БПК_{повн} у стічних водах, допустимих до спуску, розраховують за формулою:

$$L_{ex} = \left(\gamma \cdot \frac{Q_p}{q \cdot 10^{-k_1 \cdot t}} \right) \cdot (L_{ГДК} - L_p \cdot 10^{-k_2 \cdot t}) + \frac{L_{ГДК}}{10^{-k_1 \cdot t}}, \quad (2.16)$$

де L_{ex} – БПК_{повн} стічної рідини, яка повинна бути досягнута в процесі очищення, мг/л;

L_p – БПК_{повн} річкової води до місця випуску стічних вод, мг/л;

$L_{ГДК}$ – гранично допустима БПК_{повн} суміші річкової та стічної води в розрахунковому створі, мг/л (див. табл. А.1, дод. А);

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

t – тривалість переміщення води від місця випуску стічних вод до розрахункового пункту в добах, яка дорівнює відношенню відстані l_ϕ за фарватером від місця випуску стічних вод до розрахункового створу, до середньої швидкості течії води в річці на цій ділянці:

$$t = \frac{l_\phi}{V_p \cdot 86\,400}. \quad (2.17)$$

Визначимо потрібний ефект очищення за БПК_{повн}:

$$E_L = (L_{en} - L_{ex}) \cdot 100 / L_{en}. \quad (2.18)$$

2.4.4 Визначення ступеня очищення за розчиненим у воді киснем

Розрахунок допустимої максимальної величини БПК_{повн} стічних вод, які спускають у водойму, відповідно до умов санітарних правил про збереження у водоймі мінімального вмісту розчиненого кисню C_o (див. табл. А.1, дод. А), виконують без урахування реаерації за таким рівнянням:

$$L = 2,5 \cdot \left(\gamma \cdot \frac{Q_p}{q} \right) \cdot (O_p - 0,4 \cdot L_p - O_{ГДК}) - \frac{O_{ГДК}}{0,4}, \quad (2.19)$$

де γ – коефіцієнт змішування;

Q_p – витрата води у водоймі, м³/с;

q – витрата стічних вод, які надходять до водойми, м³/с;

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

L_p – БПК_{повн} річкової води, мг/л;

0,4 – коефіцієнт для перерахунку БПК_{повн} у дводобову;

$O_{ГДК}$ – мінімальна концентрація розчиненого кисню, мг/л, яка повинна зберігатися у воді водойми після випуску стічних вод (див. табл. А.1, дод. А).

Потрібний ефект очищення

$$E_L = (L_{en} - L) \times 100 / L_{en} . \quad (2.20)$$

2.4.5 Вибір методу очищення та схеми очисної станції

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

Залежно від суті процесів, які використовують для очищення стічних вод, розрізняють методи механічного, фізико-хімічного й біологічного повного або неповного очищення стічних вод. Великі маси осадів, що утворюються при цьому та становлять до 1 % від витрат суміші стічних вод, необхідно знешкоджувати, знезаражувати, збезводнювати, підсушувати та утилізувати.

У зв'язку з підвищенням вимог до якості очищених стічних вод повне біологічне очищення може доповнюватись спорудами доочищення. Перед скидом у водоймище здійснюють знезараження стічних вод із метою знешкодження патогенних мікроорганізмів.

На підставі обчисленого необхідного ступеня очищення стічних вод вибирають метод очищення за даними таблиці 2.3.

Згідно з таблицею 2.3 і рекомендованою літературою [6; 7] обирають основні споруди станції очищення й план їх послідовного розташування.

Розробку технологічних схем очисних станцій потрібно виконувати на підставі норм, правил, нормативних вказівок та досвіду експлуатації чинних споруд [6, 7, 10].

Таблиця 2.3 – Залежність методу очищення від потрібного ступеня очищення

Рекомендовані методи очищення	Необхідний ступінь очищення, мг/л	
	за завислими речовинами	за БПК _{повн}
Механічне	80	–
Механічне й частково біологічне	25–80	25–80
Механічне й повне біологічне	15–25	15–25
Механічне, повне біологічне очищення і доочищення	< 15	< 15

У таблиці 2.4 наведені рекомендації до вибору типу споруд з очищення стічних вод залежно від витрати.

Таблиця 2.4 – Рекомендації до вибору типу споруд з очищення стічних вод

Найменування Споруд	Середньодобова витрата, м ³ /добу						
	До 50	До 300	До 500	До 10 000	До 30 000	До 50 000	Більше за 50 000
Споруди механічного очищення							
Решітки:	+	+	+	+	+	+	+
Пісковловлювачі:							
Вертикальні	–	–	+	+	+	–	–
Горизонтальні	–	–	+	+	+	+	+
З коловим рухом води	–	–	–	–	–	+	+
Відстійники:							
Двоярусні	+	+	+	+	–	–	–
Вертикальні	–	–	–	X	X	X	–
Горизонтальні	–	–	–	–	+	+	+
Радіальні	–	–	–	X	+	+	+
Метантенки	–	–	–	+	+	+	+
Мулові майданчики	+	+	+	+	+	+	+
Вакуум-фільтри	–	–	–	–	–	+	+
Хлораторні установки	+	+	+	+	+	+	+
Споруди біологічного очищення							
Поля зрошення	+	+	+	+	+	+	–
Поля фільтрації	+	+	+	+	+	+	–
Біологічні пруди	+	–	+	–	–	–	–
Біофільтри	+	+	+	X	–	–	–
Аеротенки	–	–	–	X	+	+	+
Мулоушільнювачі	–	–	–	+	+	+	+
Умовні позначення: «+» – рекомендується; X – застосовують за відповідного обґрунтування; «–» – не рекомендується.							

Вибір складу очисних споруд – це складне техніко-економічне завдання, що залежить від витрат стічних вод, необхідного ступеня очищення, вибраного методу обробки та використання осадів, а також від місцевих умов.

Під час проєктування очисних споруд передбачають улаштування пристроїв: для рівномірного розподілу стічних вод між окремими спорудами, для спорожнення споруд для ремонту й аварійного скиду стічних вод, для вимірювання стічних вод, осаду і активного мулу, витрати повітря, пари, газу.

Під час вибору принципової схеми очистки стічних вод і складу очисних споруд рекомендується керуватися такими основними положеннями.

У складі очисних споруд повинні передбачатися решітки з прозорами 16 мм чи решітки-дробарки. На очисних станціях із механізованими решітками необхідно передбачати встановлення дробарок для подрібнення сміття.

Для видалення осаду з пісковловлювачів можуть застосовуватися гідроелеватори, ерліфти, піскові насоси чи спеціальні механізми. Як робоча рідина для гідроелеваторів використовується освітлена вода після первинних відстійників. Під час використання гідромеханічної системи змиву осаду в аерованих та горизонтальних пісковловлювачах як робоча рідина може бути також використана вода, освітлена в первинних відстійниках.

Для підсушування піску, що виділяється з пісковловлювачів, потрібно передбачити піскові майданчики чи піскові бункери, пристосовані для наступного завантаження до автомобіля. Воду від піскових майданчиків та бункерів потрібно спрямовувати в канал перед пісковловлювачами чи у резервуар насосної станції каналізації очисних споруд із подальшим перекачуванням у приймальну камеру очисних споруд.

Щоб знизити вміст забруднень в освітлених водах більше, ніж здатні забезпечити первинні відстійники, рекомендується використовувати споруди для попередньої аерації, біокоагулятори та освітлювачі з природною аерацією.

Преаератори можуть передбачатися перед первинними відстійниками усіх типів у вигляді окремих споруд, а біокоагулятори та освітлювачі – у вигляді споруд, поєднаних із вертикальними та радіальними відстійниками. Преаератори потрібно використовувати на очисних станціях з аеротенками, біокоагулятори та освітлювачі – на станціях як з аеротенками, так і з біологічними фільтрами.

Крапельні біофільтри проєктуються для повного очищення стічної рідини до БПК_{повн} 15 мг/л у разі продуктивності станції не більше 1 000 м³/добу.

Високонавантажувані біологічні фільтри проєктуються на повну та неповну очистку й використовуються для очисних станцій продуктивністю до 50 000 м³/добу. За відповідного обґрунтування допускається їх використання і для більших очисних станцій.

Використання біологічних фільтрів потребує значного перепаду (до 6 м) відміток рівнів води в первинних і вторинних відстійниках, тому очисні станції з біофільтрами доцільно розміщувати на майданчиках з великими ухилами поверхні (0,02). Оскільки вторинні відстійники після біофільтрів споруджують повністю заглибленими у ґрунт, схеми споруд із біофільтрами можуть виявитися неекономічними в разі розміщення споруд на майданчиках із високим рівнем ґрунтових вод.

Аеротенки різних типів можуть використовуватись для повного (БПК_{повн} – 15–20 мг/л) та неповного біологічного очищення стічних вод.

Вибір типу вторинних відстійників здійснюється аналогічно до вибору первинних відстійників залежно від продуктивності станцій та місцевих умов.

Знезаражування стічних вод рідким хлором чи гіпохлоритом натрію має передбачатись на станціях повного та неповного біологічного очищення. Для змішування стічної води з хлором можуть бути використані змішувачі будь-якого типу.

Очищені стічні води після знезаражування відводяться до місця випуску закритим трубопроводом чи відкритим каналом.

На очисних станціях з аеротенками передбачають також споруди для ущільнення надлишкового активного мулу, який характеризується дуже високою вологістю. Як мулоущільнювачі можуть використовуватися споруди типу вертикальних та радіальних відстійників.

Для стабілізації осадів із первинних відстійників, надлишкового активного мулу (або біологічної плівки) можуть використовуватися метантенки з мезофільним чи термофільним режимом процесу, або аеробні стабілізатори.

Для подальшої обробки збродженого осаду можуть бути використані: сушка на мулових майданчиках і подальше компостування; механічне зневоднення на вакуум-фільтрах, центрифугах та фільтр-пресах; термічна сушка; спалювання.

Транспортування сирого осаду з первинних відстійників здійснюється зазвичай шляхом самопливу до мулової насосної станції, а звідти по напірному трубопроводу у розподільну камеру метантенків. Зброджений осад шляхом самопливу чи за допомогою насосної станції спрямовується на мулові

майданчики чи на механічне зневоднення. Дренажні стічні води з мулових майданчиків потрібно перекачувати у приймальну камеру очисних споруд.

Надлишковий активний мул може подаватися в мулоущільнювачі з трубопроводу циркуляційного активного мулу. Мулова вода з мулоущільнювачів самопливом спрямовується в канал перед аеротенками чи в голову споруд.

Обрана технологічна схема очистки стічних вод і обробки осадів повинна бути описана у пояснювальній записці до курсової роботи з вказівками типу й марок використаних споруд та обладнання, їхньої кількості та режимів роботи.

З РОЗРАХУНОК СПОРУД МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Після визначення складу споруд розпочинають їх розрахунок.

Очисні споруди розраховують за рухом стічної води: приймальна камера, ґрати, пісковловлювачі, водовимірювальні пристрої, первинні відстійники, аеротенки, вторинні відстійники, змішувач, хлораторна, контактні резервуари. Під час розрахунку ґрат і пісковловлювачів спочатку виконують гідравлічний розрахунок підвідних каналів і лотків, оскільки рівень води в лотках входить до розрахунків живого перерізу потоку в ґратах і пісковловлювачах.

Потім розраховують споруди з обробки осаду: мулоущільнювачі, метантенки, цех механічного зневоднення, мулові майданчики.

Розрахунок усіх споруд, що входять до складу очисної станції, рекомендується здійснювати відповідно до вказівок [6] на максимально годинний приплив стічних вод за годинами доби згідно з графіком припливу на головну насосну станцію. Спочатку, зазвичай розраховують споруди для очистки стічних вод (від приймальної камери до випуску очищених стічних вод у водойму), а потім проєктують споруди для обробки осадів стічних вод.

Під час механічного очищення міських стічних вод затримується до 60 % нерозчинних домішок і на 10–20 % знижується значення БПК_{повн} [6].

3.1 Приймальна камера

Для прийняття стічних вод із напірних трубопроводів перед станцією очищення влаштовують приймальну камеру, призначену для гасіння напору. Розміри приймальної камери визначають залежно від максимально-годинного припливу стічних вод на станцію очищення за даними таблиці А.2 (дод. А).

3.2 Решітки

Розрахунок решіток, каналів і лотків для підводу стічних вод до решіток та інших очисних споруд виконують на максимальну і перевіряють на мінімальну (л/с) подачу стічних вод. Решітки влаштовують у окремій будівлі, поряд розміщують дробарки з бункером.

Нижче надається методика розрахунку двох типів решіток: МГ – решітки з механізованими граблями, з шириною прозорів 16 мм; СУ – решітки з шириною прозорів 5,2 мм, на яких затримується у 4–6 разів більше забруднень порівняно з решітками МГ.

3.2.1 Розрахунок каналів і лотків

Попередньо виконують гідравлічний розрахунок каналів на повну максимальну секундну витрату (до будівлі решіток) і лотків на половину витрати (до кожних робочих решіток) (рис. 3.1). Враховуючи перспективу розвитку очисних споруд, обирають коефіцієнт 1,4. Щоб уникнути замулювання каналів і лотків виконують гідравлічний розрахунок на пропуск мінімальної секундної витрати. Дані з розрахунку підвідних каналів і лотків заносять у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Гідравлічний розрахунок підвідних каналів і лотків

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

Мінімальну розрахункову швидкість неосвітлених стічних вод у підвідних і відвідних каналах і лотках допускається обирати не менше ніж 0,6 м/с. Максимальну – не більше ніж 4 м/с для лотків і каналів, які обладнанні бетонними плитами, проте не більше ніж 1 м/с перед решітками. Значення максимальної швидкості потрібно обирати: у разі глибини потоку, що менша за 0,4 м – із коефіцієнтом 0,85, або більша за 1 м – із коефіцієнтом 1,25 [6, 7].

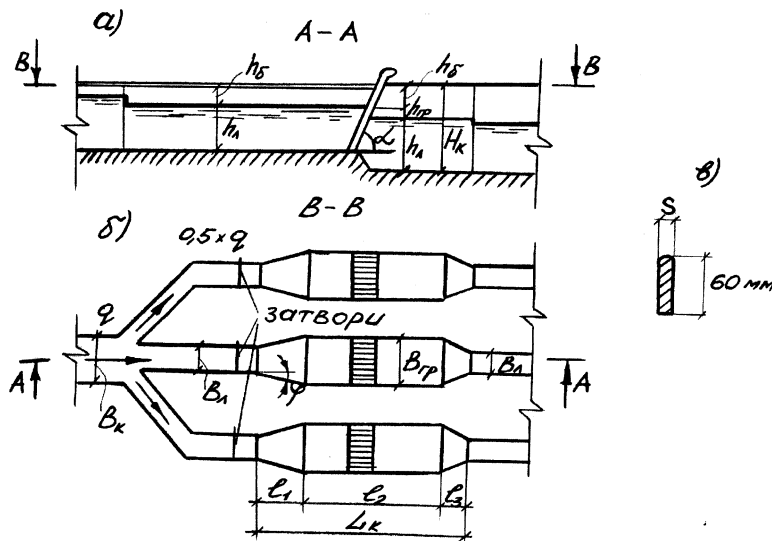


Рисунок 3.1 – Схема влаштування підвідних каналів, лотків і решіток:
а – переріз підвідних каналів, лотків і решіток; б – план підвідних каналів, лотків і решіток; в – поперечний переріз стрижня решіток типу МГ

Розрахункове наповнення каналів і лотків прямокутного перерізу допускається обирати не більше за 0,75 від висоти. Розрахунки виконують за рекомендованими таблицями гідравлічних розрахунків труб і каналів [10].

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

Розрахунок решіток виконують на максимальний секундний приплив стічних вод ($\text{м}^3/\text{с}$).

3.2.2 Розрахунок решіток типу МГ

Механізоване очищення решіток від затриманих забруднень з улаштуванням дробарки для їх подрібнення передбачають у разі кількості сміття $0,1 \text{ м}^3/\text{доб}$ і більше. Питома кількість осадів, що затримуються решітками типу МГ із шириною прозорів 16–20 мм, дорівнює $8 \text{ л}/(\text{мешк.} \cdot \text{рік})$.

Решітки влаштовуються в розширеній частині лотка – камері решіток (рис. 3.1).

Кількість осадів, що знімаються з обраних решіток:

$$\Omega_{\text{гр}} = \frac{8 \cdot N_c}{1000 \cdot 365}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (3.1)$$

де N_c – наведене за завислими речовинами населення.

За таблицею Б.1 (дод. Б) підбирають відповідні для розрахункового випадку типові решітки з механізованим очищенням (якщо $\Omega_{\text{гр}} > 0,1 \text{ м}^3/\text{добу}$).

Ширину камери, $B_{\text{сп}}$, м, яка дорівнює ширині решіток, обчислюють за такою формулою:

$$B_{\text{сп}} = S \cdot (n-1) + \epsilon \cdot n, \quad (3.2)$$

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

n – кількість прозорів;

ϵ – ширина прозору, рекомендована 0,016 м.

Швидкість течії води в прозорах решіток типу $МГ$ за максимального припливу стічних вод повинна дорівнювати 0,8–1,0 м/с:

$$v_{\text{сп}} = \frac{q_{\text{max}} \cdot K}{\epsilon \cdot h_{\text{л}} \cdot h}, \quad (3.3)$$

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

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

Швидкість течії перед решітками за мінімального припливу стічних вод:

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

Загальна довжина камери решіток дорівнює сумі довжин усіх елементів камери:

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

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

$$l_1 = \frac{B_{\text{сп}} - B_{\text{л}}}{2 \cdot \tan \varphi}; \quad (3.6)$$

φ – кут розширення, дорівнює 20° ;

l_2 – довжина камери решіток, обирається рівною 2,5 м:

$$l_3 = 0,5 \cdot l_1 \quad (3.7)$$

Загальну висоту камери решіток H_k , м, визначають за такою формулою:

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

де $h_{\text{л}}$ – глибина шару води перед решітками, яка дорівнює наповненню в лотку у разі максимального припливу, м;

$h_{\text{сп}}$ – втрати напору в решітках, м;

$h_{\text{б}}$ – висота бортів камери, конструктивно обирають 0, м.

Втрати напору, м, у решітках розраховуємо за такою формулою:

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

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

v – швидкість руху води в решітках;

ξ – коефіцієнт місцевого опору решіток для прямокутних стрижнів, визначаємо за такою формулою:

$$\xi = 2,42 \cdot (S/e)^{4/3} \cdot \sin 60^\circ, \quad (3.10)$$

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

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

Для подрібнення сміття, що затримується решітками проектуємо дробарки молоткового типу Д-3б, в які подається технічна вода (після первинних або вторинних відстійників) із розрахунку 40 м^3 на 1 т сміття. Вологість подрібненого осаду $P_{\text{д.н.}}$ становить $98\text{--}98,5 \%$, кількість

$$W_{\text{д.н.}} = 40 \cdot \Omega_{\text{сп}} \cdot \rho, \quad (3.11)$$

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

Дроблене сміття спрямовується до споруд із переробки осадів або у стічну воду перед решітками.

3.2.3 Розрахунок решіток типу СУ

Дослідження останніх років призвели до розробки та застосування нової конструкції каналізаційних механізмів решіток типу СУ (рис. 3.2). Стрижні решіток СУ виготовляються з нержавіючого профілю, що має в перерізі краплеподібну форму товщиною $S = 4,8 \text{ мм}$. Прозори між стрижнями дорівнюють $e = 5,2 \text{ мм}$, відстань між центрами стрижнів – 10 мм . Таке конструктивне рішення дає змогу звести до мінімуму гідравлічний опір конструкції, запобігти забрудненню, збільшити затримання їх у $4\text{--}6$ разів.

Із кутом нахилу решіток до горизонту 60° втрати напору в решітках не перевищують $0,2 \text{ м}$.

Розрахунок решіток СУ, обраних до складу очисних споруд, виконують на максимальну подачу й перевіряють на мінімальну подачу, л/с, стічних вод.

Решітки типу СУ влаштовують у окремій будівлі, поряд розміщують дробарки з бункером. Виготовляють різних типорозмірів залежно від будівельних розмірів підвідних лотків (табл. Б.2, дод. Б).

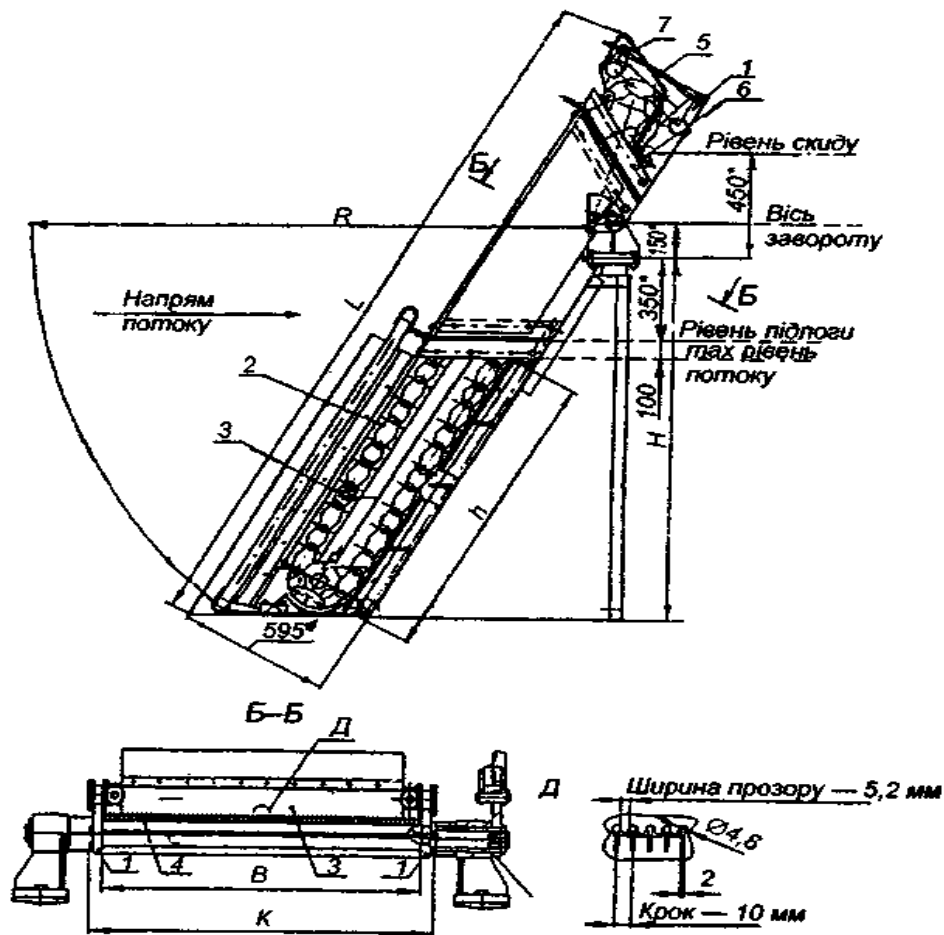


Рисунок 3.2 – Каналізаційні механізовані решітки типу СУ (розміри постійні):

- 1 – поздовжній борт; 2 – замкнені пластинкові ланцюги; 3 – граблини; 4 – стержні краплеподібної форми; 5 – нарізні муфти натягнення ланцюгів; 6 – поперечна плита рами; 7 – скидувач

Визначимо потрібну загальну площу живого перерізу робочих решіток:

$$F = \frac{q_{\max}}{v_{\text{гр}}}, \quad (3.12)$$

де $v_{\text{гр}}$ – швидкість руху рідини в прозорах решіток, м/с.

У решітках типу СУ з шириною прозорів 0,005 2 м швидкість потрібно обирати 0,8–1,5 м/с, що запобігає продавлюванню забруднень через прозори.

За таблицею Б.2 (дод. Б) обирають типові решітки марки СУ і визначають кількість робочих решіток:

$$N = \frac{F}{f}, \quad (3.13)$$

де f – живий переріз проціджувального полотна однієї решітки, м².

Виконують перевірку обраних параметрів решіток. Ширина решіток B_{ep} , м, визначається так:

$$B_p = S \cdot (n - 1) + e \cdot n. \quad (3.14)$$

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

$$q_{\max} = f \cdot v_p. \quad (3.15)$$

Звідси

$$v_p = \frac{q_{\max} \cdot K}{e \cdot h \cdot n \cdot N}, \quad (3.16)$$

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

h – змочена довжина решіток, яка знаходиться у потоці рідини за розрахункової витрати та визначається з умови кута нахилу решіток до горизонту, рівному 60° :

$$h = \frac{h_{\max}}{\sin 60^\circ}, \quad (3.17)$$

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

Визначають швидкість стічних вод за мінімального притоку в розширеній частині каналу перед решітками – камері решіток, яка повинна бути не менша за 0,6 м/с для запобігання замулюванню:

$$V_{\min} = \frac{q_{\min}}{B_k \cdot h_{\min}}, \text{ м/с}, \quad (3.18)$$

де $h_{\min}$ – наповнення в каналі за мінімального притоку, м.

Втрати напору в решітках визначають за такою формулою:

$$h = \frac{K \cdot \xi \cdot v_p^2}{2 \cdot g}, \quad (3.19)$$

де K – коефіцієнт, що враховує збільшення втрат напору в ґратах у разі забруднення їхнім сміттям;

ξ – коефіцієнт місцевого опору решіток:

$$\xi = \beta \cdot (S/e)^{4/3} \cdot \sin \varphi. \quad (3.20)$$

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

На величину втрат напору, h_p , потрібно понизити дно камери за решітками.

Будівельну глибину камери решіток визначаємо за таблицею Б.2 (дод. Б) та рисунком 3.2.

$$H_K^1 = H - 0,35, \text{ м.}$$

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

$$H_K^2 = H_K^1 + h_p, \text{ м.} \quad (3.21)$$

Визначимо розміри камери решіток у плані:

$$l_1 = \frac{B_K - B_A}{2 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ}, \text{ м,} \quad (3.22)$$

$$l_2 = 2,2 \text{ м } (l_2 = R, \text{ рис. 3.2}),$$

$$l_3 = l_1/2, \text{ м.} \quad (3.23)$$

Загальна будівельна довжина камери решіток:

$$L_K = l_1 + l_2 + l_3, \text{ м.} \quad (3.24)$$

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

$$\Omega_{ep} = \frac{\alpha_{ep} \cdot N_c}{1000 \cdot 365}, \quad (3.25)$$

де α_{ep} – кількість осаду, що затримується решітками СУ із шириною прозорів 0,005 2 м; $\alpha_{ep} = 8 \times (4 \div 6)$ л/(мешк.·рік);

N_c – наведене населення за завислими речовинами.

Для подрібнення осадів проектуємо дробарки молоткового типу Д-3б, у які подають технічну воду (після первинних або вторинних відстійників) з розрахунку 40 м³ на 1 т сміття. Вологість $P_{д.н.}$ становить 98–98,5 %, кількість:

$$\Omega = 40 \cdot \Omega_{ep} \cdot \rho, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (3.26)$$

де ρ – середня густина осадів, яка дорівнює 0,75 т/м³.

Дроблені осаді спрямовуються в споруди з переробки осадів або у стічну воду перед решітками.

3.3 Пісковловлювачі

Тип пісковловлювача підбирають відповідно до потужності очисної станції, схеми очищення стічних вод і обробки їхніх осадів, характеристики завислих речовин, вирішення з компонування споруд на майданчику очисної станції. Так, для станцій потужністю понад 100 м³/добу для видалення зі стічних вод важких мінеральних домішок після решіток встановлюють пісковловлювачі: горизонтальні з прямолінійним рухом води (із витратою від 10 000 м³/добу), аеровані (з витратою понад 20 000 м³/добу), з коловим рухом

води (і з витратою від 1 400 м³/добу до 64 000 м³/добу), тангенціальні (з витратою до 75 000 м³/добу).

Згідно з будівельними нормами [6] на станціях очищення стічних вод треба встановлювати не менше двох робочих пісковловлювачів або відділень.

Горизонтальні пісковловлювачі

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

Тривалість перебування стічних вод у горизонтальних пісковловлювачах має бути не менше за 30 с.

Під час розрахунку горизонтальних пісковловлювачів визначають площу поперечного перерізу одного відділення за такою формулою:

$$F = \frac{Q}{V \cdot n}, \quad (3.27)$$

де $Q_{\text{максек}}$ – максимальна секундна витрата стічних вод, м³/с;

V – розрахункова швидкість руху води;

n – кількість відділень.

Швидкість руху стічних вод для горизонтальних пісковловлювачів обирають 0,3 м/с за максимального притоку та 0,15 м/с – за мінімального, для аерованих пісковловлювачів 0,08–0,12 м/с у разі максимального притоку.

З огляду на отриману площу, визначають розміри поперечного перерізу: ширину B та робочу глибину H , яка має бути в межах 0,5–2 м (рис. 3.3).

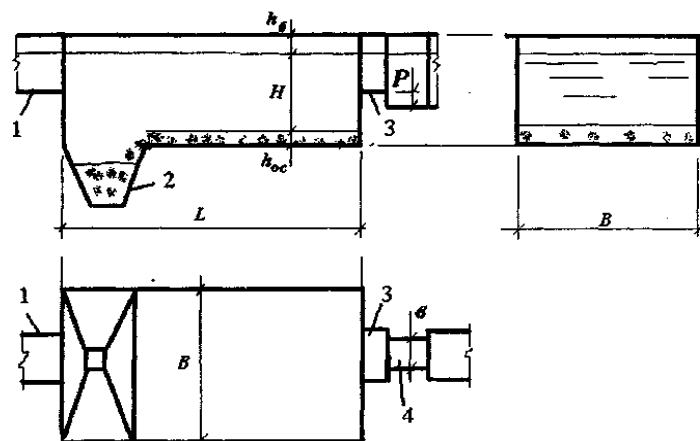


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема горизонтального пісковловлювача:

1 – підвідний лоток; 2 – приямок для піску; 3 – відвідний лоток; 4 – водозлив

Довжину проточної частини L_s , м, одного пісковловлювача визначаємо за такою формулою:

$$L_s = \frac{1000 \cdot K_s \cdot H_s \cdot v_s}{u_o}, \quad (3.28)$$

де K_s – коефіцієнт, що враховує вплив турбулентності й нерівномірність розподілення швидкостей води вздовж висоти і ширини споруди (табл. В.1, дод. В);

H_s – розрахункова глибина пісковловлювача, м, яка дорівнює глибині потоку h_l у підвідному лотку;

v_s – швидкість руху потоку в пісковловлювачі;

u_o – гідравлічна крупність піску, мм/с, яка обирається залежно від потрібного діаметра частинок піску, що затримуються.

Горизонтальні пісковловлювачі з коловим рухом води

Розрахунок горизонтальних пісковловлювачів із коловим рухом води (рис. 3.4) здійснюють на максимальну витрату q_{max} , л/с із перевіркою на пропуск мінімальної витрати q_{min} , л/с.

Довжина робочої частини кожного пісковловлювача визначається за формулою (3.27): максимальна глибина пісковловлювача $H_s \leq 1,2$ м.

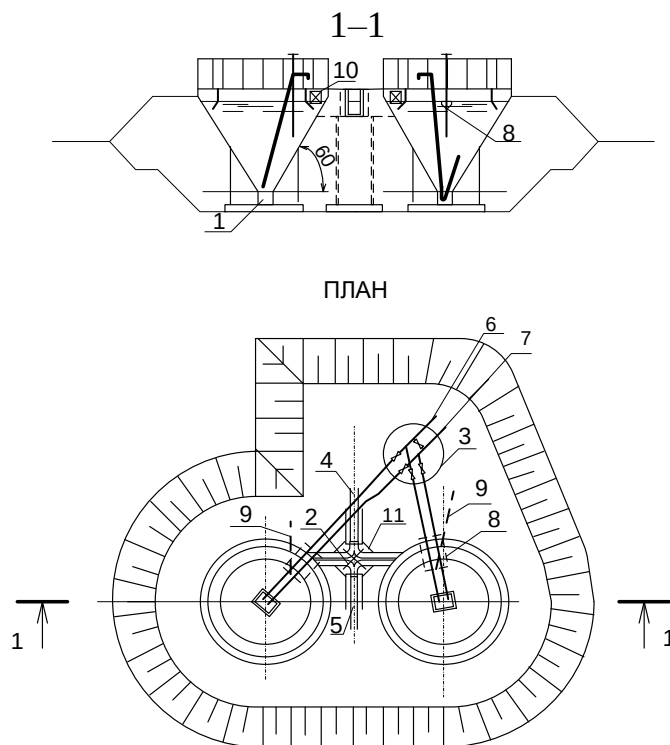


Рисунок 3.4 – Горизонтальний пісковловлювач із коловим рухом води:

- 1 – гідроелеватор; 2 – щитовий затвор; 3 – камера перемикання; 4 – підвідний лоток; 5 – відвідний лоток; 6 – пульпопровід; 7 – трубопровід робочої води; 8 – пристрій для збору спливаючих домішок; 9 – трубопровід для відведення спливаючих домішок; 10 – напівзанурений щит; 11 – розподільна камера

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

Тривалість перебування води в пісковловлювачі у разі максимальної витрати:

$$t = \frac{L_s}{V_{\max}}, \text{ с} \quad (3.29)$$

що відповідає рекомендованим даним.

Площа живого перерізу потоку в кожному пісковловлювачі:

$$\omega = \frac{q_{\max}}{v_s}, \text{ м}^2. \quad (3.30)$$

Зовнішній діаметр пісковловлювача:

$$D_s = L_s / \pi + e, \text{ м}. \quad (3.31)$$

Питома кількість піску, затриманого пісковловлювачем:

$$\Omega_s = \frac{a_c \cdot N_c}{1000}, \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (3.32)$$

де a_c – кількість затриманого осаду, л/добу на 1 мешканця (див. табл. В2, дод. В).

N_c – наведена кількість населення за завислими речовинами.

Через те, що у пісковловлювачах із коловим рухом води весь уловлюваний осад провалюється крізь щілину в осадовій частині (рис. 3.4), то питання виведення осаду повністю вирішується завдяки встановленню гідроелеватора в будівлі решіток. Піскова пульпа по трубопроводу спрямовується в піскові бункери.

Об'єм піскового прямокутника W_s необхідно обирати не більшим за дводобовий об'єм піску, який випадає, а кут нахилу стінок прямокутника до горизонту – не меншим за 60° .

$$W_s = \Omega_s \cdot 2, \text{ м}^3. \quad (3.33)$$

Аеровані пісковловлювачі

Площу поперечного перерізу аерованих пісковловлювачів визначають за формулою (3.27), при цьому швидкість руху води обирають 0,08–0,12 м/с [6], таблиця В.2 (дод. В). Розрахункова схема аерованого пісковловлювача наведена на рисунку 3.5.

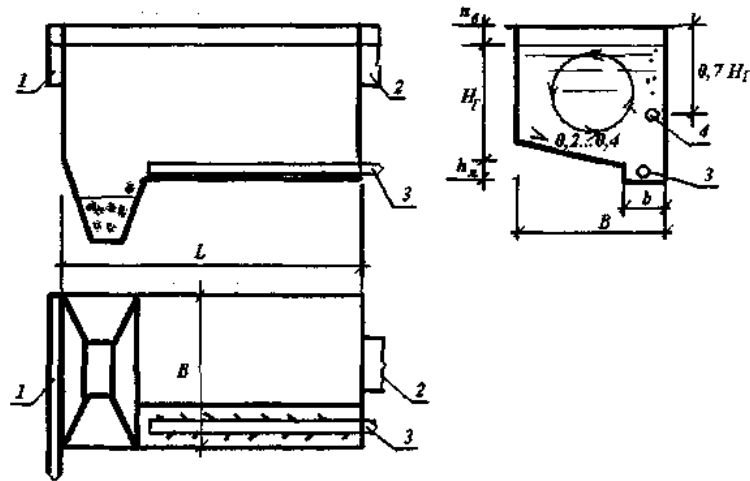


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема аерованого пісковловлювача:
1 – підвідний лоток; 2 – відвідний лоток; 3 – трубопровід гідрозмиву;
4 – аератор

Розміри типових пісковловлювачів наведені у таблицях В.3–В.5 (дод. В).

Добову кількість піску, що затримується у пісковловлювачах, визначають за такою формулою:

$$\Omega_n = \frac{q_n \cdot N_{36}^{3 \cdot p}}{1000}, \quad (3.34)$$

де q_n – кількість піску, що затримується у пісковловлювачах [6], таблиця В.2 (дод. В);

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

3.4 Піскові бункери

Для відмивання та зневоднення піску в разі витрати стічних вод $Q_{сер.доб.} \leq 75$ тис. м³/добу рекомендується передбачати влаштування бункерів із гідроциклонами, пристосованих для подальшого відвантаження піску в автомашини. Піщана пульпа в об'ємі

$$\Omega_{III} = \Omega_s \cdot (1 + 0,5), \text{ м}^3/\text{добу} \quad (3.35)$$

надходить у бункери. Об'єм бункерів розраховуємо на 1,5–5 – добове зберігання:

$$W_6 = 5 \cdot \Omega_{III}, \text{ м}^3. \quad (3.36)$$

Дренажну воду з піскових бункерів належить повертати в канал перед пісковловлювачами.

3.5 Пристрій для вимірювання витрат стічних вод

Найточнішими вимірювальними пристроями для контролю витрати стічної води у відкритих прямокутних каналах є лотки Вентурі (рис. 3.6), які розміщуються між пісковловлювачами й первинними відстійниками.

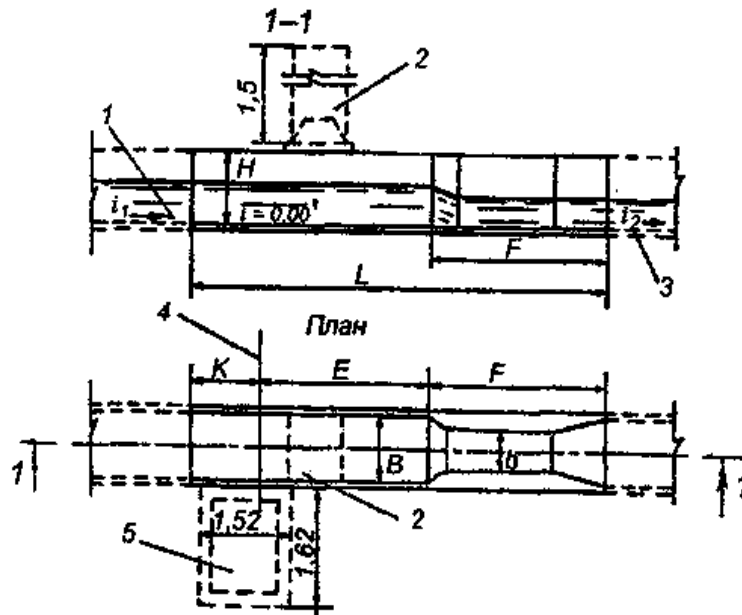


Рисунок 3.6 – Лоток Вентурі для вимірювання витрати води:

- 1 – підвідний лоток; 2 – установка дифманометра в шафі (варіант І);
- 3 – відвідний лоток; 4 – контрольний переріз лотка; 5 – установка дифманометра в колодязі (варіант ІІ)

Розміри вимірювальних лотків Вентурі обирають залежно від витрати стічних вод (табл. Д.1, дод. Д).

3.6 Розрахунок первинних відстійників

Наводиться методика розрахунку первинних радіальних відстійників, які забезпечують високий ступінь освітлення й застосовуються в широкому діапазоні пропускної здатності.

Первинних відстійників потрібно мати не менше двох. За мінімальної кількості їхній розрахунковий об'єм необхідно збільшити у 1,2–1,3 рази, тому вигідніший варіант трьох первинних відстійників.

Розрахунок первинних відстійників здійснюють за кінетикою випадіння завислих речовин з урахуванням необхідного ефекту освітлення.

Потрібний ефект освітлення у відсотках:

$$E = \frac{(C_{en} - C_{cdf}) \cdot 100}{C_{en}}, \quad (3.37)$$

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

Розрахункову гідравлічну крупність частинок, які мають бути затримані у відстійниках, мм/с, обчислюють за такою формулою:

$$u_o = \frac{1000 \cdot K_{set} \cdot H_{set}}{t_{set} \cdot \left(\frac{K_{set} \cdot H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}}, \quad (3.38)$$

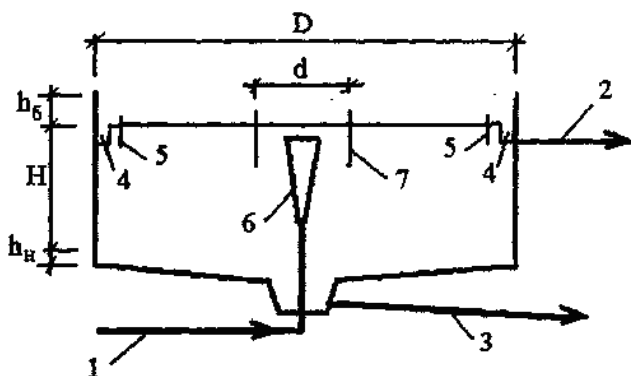
де H_{set} – глибина проточної частини у відстійнику, таблиця Г.2 (дод. Г);

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

n_2 – коефіцієнт, який залежить від агломерації зависі в процесі осадження (дод. Г);

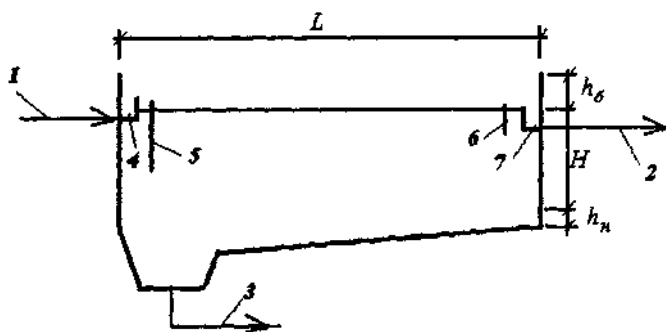
Розрахункові схеми відстійників наведені на рисунках 3.7–3.9.

Рисунок 3.7 – Розрахункова схема радіального відстійника:



- 1 – підвідний трубопровід;
- 2 – відведення очищеної води;
- 3 – випуск осаду; 4 – водозбірний лоток; 5 – перегородка для затримання плаваючих речовин;
- 6 – впускний трубопровід;
- 7 – кільцева перегородка

Рисунок 3.8 – Розрахункова схема горизонтального відстійника:



- 1 – підвідний трубопровід;
- 2 – відведення очищеної води;
- 3 – випуск осаду;
- 4 – водорозподільний лоток;
- 5 – водорозподільна перегородка;
- 6 – перегородка для затримання плаваючих речовин;
- 7 – водозбірний лоток

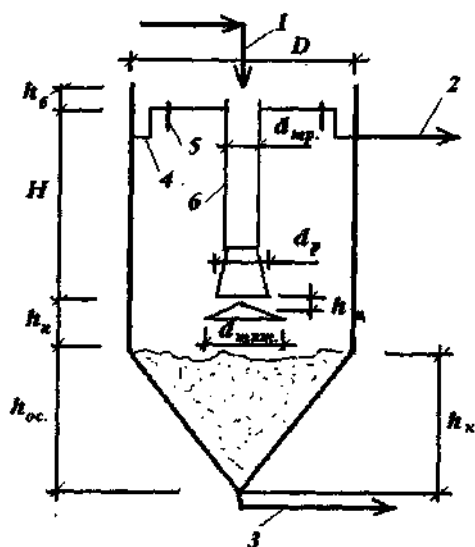


Рисунок 3.9 – Розрахункова схема
вертикального відстійника:

- 1 – підвідний трубопровід; 2 – відведення
очищеної води; 3 – випуск осаду;
4 – водозбірний лоток; 5 – перегородка
для затримання плаваючих речовин;
6 – центральна труба

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

- горизонтальний:

$$q_{set} = 3,6 K_{set} L_{set} B_{set} (u_0 - v_{tb}), \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.39)$$

- радіальний і вертикальний:

$$q_{set} = 2,8 \cdot K_{set} \cdot (D_{set}^2 - d_{en}^2) \cdot (u_0 - v_{tb}), \quad (3.40)$$

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

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

D – діаметр радіального або вертикального відстійника, м;

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

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

v_{tb} – турбулентна складова, мм/с, обирають залежно від швидкості потоку у відстійнику v_{ω} , мм/с:

v_{ω} , мм/с	5	10	15
v_{tb} , мм/с	0	0,05	0,1

Основні розміри первинних відстійників:

1) діаметр радіальних відстійників, D_{set} , м:

$$D_{set} = \sqrt{\frac{4Q}{3,6 \cdot \pi \cdot K_{set} \cdot (u_0 - v_{tb}) \cdot n_{set}}}, \quad (3.41)$$

де Q – розрахункова витрата стічних вод, м³/год;

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

n_{set} – кількість первинних відстійників;

2) довжина горизонтальних відстійників:

$$L_{set} = \frac{v_w \cdot H_{set}}{K_{set} \cdot u_0}. \quad (3.42)$$

Під час визначення розмірів відстійників доцільно орієнтуватися на розміри типових споруд (табл. Г.3 і Г.4, дод. Г). Під час визначення турбулентної складової горизонтальну швидкість руху води v_w для попередніх розрахунків призначають у межах 5–10 мм/с.

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

$$N_{відст} = \frac{Q_{maxсек}}{q_{set}}. \quad (3.43)$$

Кількість відстійників має бути не менше двох, усі відстійники – робочі. У разі двох відстійників розрахунковий об'єм збільшується у 1,2–1,3 рази. Якщо загальна продуктивність обраних відстійників суттєво перевищує розрахункову витрату, то необхідно визначити фактичну гідравлічну крупність частинок, що затримуються та фактичний ефект очищення E_ϕ .

Після визначення L_{set} і D_{set} для радіальних перевіряють фактичну швидкість v_ϕ у проточній частині відстійника:

– для радіальних відстійників

$$v_\phi = \frac{2 \cdot q_{set}}{3,6 \cdot \pi \cdot D_{set} \cdot H_{set} \cdot K_{set}}, \text{ мм/с}; \quad (3.44)$$

– для горизонтальних відстійників

$$v_\phi = \frac{q_{set}}{3,6 \cdot \pi \cdot H_{set} \cdot B_{set}}. \quad (3.45)$$

Об'єм осаду W_{mud} , м³/добу, який виділяється під час відстоювання в первинних відстійниках, визначають з огляду на концентрацію завислих речовин у воді, яка надходить, C_{en} , і концентрацію завислих речовин в освітленій воді, C_{cdp} :

$$\Omega_{mud} = \frac{K \cdot Q_{доб} \cdot (C_{en} - C_{cdp})}{(100 - P_{mud}) \cdot \rho_{mud} \cdot 10^4}, \quad (3.46)$$

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

$Q_{доб}$ – середньодобова витрата стічних вод, м³/добу;

P_{mud} – вологість осаду, що дорівнює 93,5 % під час виведення осаду насосами;

ρ_{mud} – густина осаду, для спрощення розрахунків, обирають 1,0 г/см³.

Механічне очищення призводить до видалення зі стічних вод до 60 % нерозчинених домішок і зниження БПК_{повн} на 10–20 %. Отже, на біологічне очищення надходять стічні води з показниками забруднень:

– за завислими речовинами

$$C_{cdp} = \frac{C_{en} \cdot (100 - E)}{100}; \quad (3.47)$$

– за БПК_{повн}

$$L_{en} = \frac{L'_{en} \cdot (100 - E)}{100}, \quad (3.48)$$

де L'_{en} – початкове значення БПК_{повн} суміші побутових і виробничих стічних вод, визначене за формулою (2.4).

4 РОЗРАХУНОК СПОРУД БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Біологічне очищення може бути здійснене у штучно створених умовах (біофільтри, аеротенки) або у природних умовах (поля зрошення, поля фільтрації, біологічні пруди).

4.1 Аеротенки-витиснювачі з регенераторами

У разі БПК_{повн} стічних вод, що надходять на очищення до 300 мг/л, доцільно застосовувати аеротенки-витиснювачі, а аеротенки-змішувачі – в разі БПК_{повн} до 1 000 мг/л. Аеротенки-витиснювачі без регенераторів рекомендується застосовувати для очищення міських і близьких до них за складом виробничих стічних вод із БПК_{повн} не більше 150 мг/л, якщо БПК_{повн} до 300 мг/л, то аеротенки-витиснювачі передбачаються з регенераторами.

Аеротенки розраховуємо на повне біологічне очищення та проєктуємо з регенераторами, оскільки БПК_{повн} стічної води, що надходить, перевищує 150 мг/л.

У цьому разі доцільно застосувати аеротенки-витиснювачі 2–4 коридорного типу, конструкція яких дає змогу відводити 25–50 % їхнього об'єму під регенератори.

Розрахунок виконуємо у такій послідовності [6, 9].

Визначаємо ступінь рециркуляції або витрату циркулюючого активного мулу в частках від розрахункового припливу стічних вод:

$$R_i = \frac{a_i}{\left(\frac{1000}{J_i} - a_i \right)}, \quad (4.1)$$

де a_i – доза мулу в аеротенку;

J_i – муловий індекс.

Орієнтовано обираємо $a_i = 3$ г/л, $J_i = 90$ см³/г.

Розраховуємо БПК_{повн} стічних вод, які надходять у аеротенк-витиснювач, з урахуванням розведення циркуляційним мулом за такою формулою:

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex} \cdot R_i}{1 + R_i}. \quad (4.2)$$

Визначаємо тривалість перебування стічних вод у самому аеротенку

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

У коридорах аеротенка забезпечується контакт активного мулу з забрудненнями такої тривалості, якої достатньо тільки для вилучення забруднень з води, що очищується, і яка становить 1,5–2,5 год аерації.

Аерація мулу в регенераторі потребує значно більшої тривалості. Виконуємо попередній підрахунок дози мулу в регенераторі:

$$a_r = a_i \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot R_i} + 1 \right), \text{ г/л.} \quad (4.4)$$

Питома швидкість окислення, мг/(г×год), у регенераторі:

$$\rho = \rho_{max} \cdot \left(\frac{L_{ex} \cdot \frac{C_o}{L_{ex} \cdot C_o + K_L \cdot C_o + K_o \cdot L_{ex}}}{1} \right) \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_r}, \quad (4.5)$$

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

K_L і K_o – константи, що дорівнюють відповідно 33 і 0,625 мг/л;

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

S – зольність мулу $S = 0,3$ відповідно до вказівок [6];

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

Тривалість окислення забруднень, год, у системі «аеротенк – регенератор» визначаємо за такою формулою:

$$t_o = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i \cdot a_r \cdot (1 - S) \cdot \rho}, \quad (4.6)$$

де S – зольність мулу, дорівнює 0,3.

Період регенерації мулу визначається за формулою

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

Тривалість перебування води в системі «аеротенк – регенератор»:

$$t_{im} = (1 + R_i) \cdot t_{at} + R_i \cdot t_r. \quad (4.8)$$

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

$$a_{im} = \frac{(1 + R_i) \cdot t_{at} \cdot a_i + R_i \cdot t_r \cdot a_r}{t_{im}}. \quad (4.9)$$

Навантаження на мул q_i , мг БПК_{повн} на 1 г беззольної речовини мулу на добу:

$$q_i = \frac{24 \cdot (L_{en} - L_{ex})}{a_{im} \cdot (1 - S) \cdot t_{im}}. \quad (4.10)$$

Якщо муловий індекс J_i , см³/г, визначений за таблицею Е.1 (дод. Е) у разі навантаження q_i мг/(г·доб) значно відрізняється від попередньо обраного J_i , необхідно уточнити ступінь рециркуляції активного мулу за формулою (4.1). Ця величина також відрізняється від попередньо розрахованої, тому потрібне коректування БПК_{повн} з урахуванням рециркуляційної витрати L_{mix} і тривалості перебування стічних вод у аеротенку t_{at} , які визначаються за формулами (4.2) і (4.3) відповідно. Ступінь рециркуляції не повинна бути меншою ніж 0,3 [6].

Тривалість аерації в усіх випадках не повинна бути меншою за 2 год [6]. Далі необхідно виконати перерахунок дози мулу в регенераторі a_r за формулою (4.4), питомої швидкості окислення ρ за формулою (4.5), періоду окислення t_o за формулою (4.6), тривалості регенерації мулу t_r і перебування його в системі «аеротенк-регенератор» t_{im} за формулами (4.7) і (4.8).

Далі знову визначають навантаження на 1 г беззольної речовини активного мулу за (4.10).

Об'єм аеротенка визначають за такою формулою:

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

де q_w – розрахункове надходження стічних вод у аеротенк, м³/год.

Об'єм регенератора:

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

Загальний об'єм аеротенку й регенератора:

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

Залежно від частки, яку займає регенератор від загального об'єму зони аерації та регенерації обирають конструкцію аеротенку: одно-, дво- або трикоридорний. Кількість секцій аеротенків необхідно обирати не менше двох. У разі продуктивності очисних споруд до 50 000 м³/добу секцій рекомендується обирати 4–6, за більшої – 6–8 шт.

Розміри типових аеротенків-витиснювачів наведені у таблиці Е.6 (дод. Е) та літературі [6].

Довжина кожної секції аеротенку:

$$l_{atv} = \frac{W_{at}}{n_{at} \cdot H_{atv} \cdot B_{atv} \cdot m_{at}}, \text{ м.} \quad (4.14)$$

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

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

Далі розраховують систему аерації. В аеротенках-витиснювачах аератори розташовують нерівномірно відповідно до зниження забруднень. Обираємо пневматичну систему аерації з дрібнобульбашковими аераторами з керамічних фільтросних труб.

Питома витрата повітря, м³/м³:

$$q_{air} = \frac{q_o \cdot (L_{en} - L_{ex})}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_T \cdot (C_a - C_o)}, \quad (4.16)$$

де q_o – питома витрата кисню повітря, мг на 1 мг знятої БПК_{повн}, яку обирають під час очищення до $L_{ex} = 15\text{--}20$ мг/л – 1,1, БПК_{повн} більше ніж 20 мг/л – $q_o = 0,9$;

K_1 – коефіцієнт, що враховує тип аератора, для середньобульбашкової і низьконапірної аерації обирають $K_1 = 0,75$; для дрібнобульбашкової аерації K_1 залежить від відношення площ зони аерації й аеротенка f_{az}/f_{at} за таблицею Е.2 (дод. Е) (для попереднього розрахунку в аеротенку обирають 2 ряди аераторів, які займають у плані смугу шириною приблизно 1,5 м, що відповідає відношенню 0,25 (1,5/6));

K_2 – коефіцієнт, що залежить від глибини занурення аераторів h_a , знаходять за таблицею Е.3 (дод. Е);

K_3 – коефіцієнт якості води, для міських стічних вод дорівнює 0,85;

K_m – коефіцієнт, який враховує температуру стічних вод

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

де T_w – літня температура стічних вод, приймаємо 21 °С;

C_a – розчинність кисню в стічній воді, мг/л

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) \cdot C_T, \quad (4.18)$$

де C_T – розчинність кисню в чистій воді залежно від температури і атмосферного тиску, обирають за таблицею Е.4 (дод. Е);

h_a – глибина занурення аератора, м;

C_o – середня концентрація кисню в аеротенку, мг/л; у першому наближенні допускається обирати 2 мг/л.

Витрату повітря розраховують на забезпечення потреби в кисні в години максимального припливу рідини в аеротенк

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

За знайденими значеннями q_{air} і t_{at} обчислюють середню інтенсивність аерації:

$$J_a = \frac{q_{air} \cdot H_{at}}{t_{at}}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год}). \quad (4.20)$$

Якщо обчислена інтенсивність аерації вища $J_{a,max}$ для обраного значення K_1 необхідно збільшити площу зони аерації (табл. Е.2, дод. Е); якщо менша $J_{a,min}$ – для прийнятого значення K_2 – потрібно збільшити витрату повітря, обравши $J_{a,min}$ за таблицею Е.3 (дод. Е).

Якщо отримана інтенсивність аерації $J_{a,min} < J_a < J_{a,max}$ (табл. Е.2 і табл. Е.3, дод. Е), площа зони аерації та значення інтенсивності аерації залишаються без змін.

На сьогодні найбільш поширеними є пневматичні аератори. Існує велика кількість пневматичних аераторів і кожен має як певні переваги, так і недоліки. У таблиці Е.5 (дод. Е) наведено порівняльні характеристики аераторів, отримані на основі даних різних виробників [3].

Визначають необхідну кількість аераторів:

$$N = \frac{Q_{air}}{Q_{ma}}, \quad (4.21)$$

де Q_{air} – необхідна розрахункова витрата повітря, м³/год,

Q_{ma} – витрата повітря на один аератор, (табл. Е. 5, дод. Е).

Уточнюють необхідну кількість аераторів, N_{ma} , з обрахуванням їхньої продуктивності: 1 м аератора «АКВА-ЛАЙН» забезпечує 3 м² площі аеротенка дрібнобубльбашковою аерацією. Звідси

$$N_{ma} = \frac{l_{atv} \cdot n_{at} \cdot B_{atv} \cdot m_{at}}{3}. \quad (4.22)$$

4.2 Розрахунок вторинних радіальних відстійників

Багато обирати один тип відстійників для первинного та вторинного відстоювання.

Розрахунок вторинних відстійників виконують за гідравлічними навантаженням, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$, яке визначається [6] за такою формулою:

$$q_{ssa} = \frac{4,5 \cdot K_{ssa} \cdot H_{set}^{0,8}}{(0,1 \cdot J_i \cdot a_i)^{0,5-0,01 \cdot a_t}}, \quad (4.23)$$

де K_{ssa} – коефіцієнт використання проточної частини відстійника обирається за таблицею Ж.2 (дод. Ж);

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

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

a_i – доза активного мулу в аеротенку, обрана в підрозділі 4.1: $a_i = 3 \text{ г/л}$;

a_t – винесення завислих речовин із вторинних відстійників; відповідно до розрахунку необхідного ступеня очищення стічних вод і даних таблиці Ж.3 (дод. Ж) $a_t = C_{ex}$, мг/л .

Тривалість відстоювання у вторинних відстійниках суміші стічних вод і активного мулу дорівнює 2 год.

Потрібна загальна площа F_{ssa} , вторинних відстійників:

$$F_{ssa} = \frac{q_w \cdot (1 + R_i)}{q_{ssa}}, \quad (4.24)$$

$$n_{ssa} = \frac{4 \cdot F_{ssa}}{\pi \cdot D_{set}^2}. \quad (4.25)$$

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

$$n_{ssa} = \frac{F_{ssa}}{f_{ssa}}, \quad (4.26)$$

де f_{ssa} – площа одного вторинного відстійника.

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

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

$$V = \frac{2 \cdot q_w \cdot (1 + R_i)}{3,6 \cdot \pi \cdot D_{ssa} \cdot H_{ssa} \cdot K_{ssa} \cdot n_{ssa}}, \quad (4.27)$$

що не перевищує допустимого значення 5 мм/с , (див. табл. Г.5, дод. Г).

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

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

Приріст активного мулу P_i за сухою речовиною становить:

$$P_i = 0,8 \cdot C_{cdp} + K_g \cdot L_{en}, \text{ мг/л} \quad (4.28)$$

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

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

L_{en} – значення БПК_{повн} у стічних водах, які надходять на біологічне очищення.

Об'єм надлишкового активного мулу:

$$\Omega_{\text{мул.надл.}} = \frac{P_i \cdot q_w \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}}{100 - P_1}, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (4.29)$$

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

$$\Omega_{\text{мул.зв.}} = 0,3 \cdot q_w, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (4.30)$$

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

Об'єм мулової зони відстійників:

$$W_{\text{мул}} = F_{ssa} \cdot H_{\text{мул}}, \text{ м}^3, \quad (4.31)$$

де F_{ssa} – загальна площа відстійників.

Тривалість перебування мулу в муловій зоні вторинних відстійників

$$t = \frac{W_{\text{мул}}}{\Omega_{\text{мул.надл.}} + \Omega_{\text{мул.зв.}}}, \text{ год,} \quad (4.32)$$

що відповідає вимозі, за якої місткість мулової зони вторинних відстійників після аеротенків не повинна перевищувати дводобового перебування в ній осаду.

Розміри відстійників обирають за типовим проєктом (табл. Ж.1, дод. Ж).

5 ЗНЕЗАРАЖЕННЯ СТИЧНИХ ВОД

Найбільше розповсюдження отримало хлорування, тобто додавання до стічної води хлору. Установка для хлорування стічної води містить хлораторну, змішувач, контактні резервуари.

Кількість активного хлору (кг/год), потрібного для дезінфекції стічної води після повного біологічного очищення, з урахуванням можливості збільшення розрахункової дози хлору в 1,5 рази та з дозою активного хлору $a = 3 \text{ г/м}^3$ [6] визначаємо за такою формулою:

$$q_{cl} = \frac{1,5 \cdot a \cdot q_w}{1000}, \text{ кг/год.} \quad (5.1)$$

Додавання хлору до стічної води здійснюється за допомогою спеціального апарата – хлоратора, продуктивністю v_{Cl} , кг/год.

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

За таблицею К.1 (дод. К) підбирають хлораторну заданої продуктивності.

5.1 Вибір типу змішувачів

Хлор, що додають до стічної води, повинен бути ретельно перемішаний із нею. З хлораторної хлорна вода по поліетиленових або вінілпластових трубах подається в змішувач зі стічною водою. Для витрат стічних вод більше 1 400 м³/добу і до 280 000 м³/добу застосовують змішувачі типу «Лоток Паршаля» (табл. И.1, дод. И).

5.2 Вибір типу контактних резервуарів

Для успішного процесу знезараження необхідна тривалість контакту стічної рідини з хлорною водою 30 хв [6], після чого кількість залишкового хлору повинна бути не меншою за 1,5 г/м³.

Визначаємо тривалість контакту хлору зі стічною водою в резервуарі за такою формулою:

$$t = 30 - \frac{l}{v \cdot 60}, \quad (5.2)$$

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

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

Робочий об'єм контактних резервуарів:

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

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

У разі швидкості руху стічних вод у контактних резервуарах 10 мм/с [3] довжина резервуара дорівнює:

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

Площа поперечного перерізу:

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

У разі глибини H і ширини кожної секції b , кількість секцій дорівнює:

$$n = \frac{w}{\epsilon \cdot H}. \quad (5.6)$$

Кількість осаду:

$$\Omega_{\kappa.p.} = \frac{a \cdot Q_{\text{доб}}}{1000}, \quad (5.7)$$

де a – питома кількість осаду, який випадає в контактних резервуарах, 0,5 л на 1 м^3 .

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

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

6 РОЗРАХУНОК СПОРУД ДЛЯ ОБРОБКИ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД

6.1 Ущільнення надлишкового активного мулу

Для ущільнення надлишкового активного мулу застосовують вертикальні або радіальні мулоущільнювачі гравітаційного типу, які аналогічні конструкціям первинних відстійників.

Після повного біологічного очищення на аеротенках рекомендується застосовувати радіальні мулоущільнювачі. Вертикальні мулоущільнювачі використовуються лише на станціях, які працюють на неповне очищення, де утворюється «важкий» мул. У будь-якому разі кількість мулоущільнювачів повинна бути не менше двох (робочих). Мулова вода з мулоущільнювачів спрямовується в аеротенки.

Розрахунок мулоущільнювачів здійснюють на максимальний годинний приплив надлишкового активного мулу, $\text{м}^3/\text{год}$:

$$\Omega_{\max} = \frac{P_{\max} \cdot q_w}{c}, \quad (6.1)$$

де $P_{\max} = K_M(P_i - \epsilon)$ – максимальний приріст надлишкового активного мулу, $\text{г}/\text{м}^3$;

$K_M = 1,15\text{--}1,2$ – коефіцієнт місячної нерівномірності,

c – концентрація активного мулу, $\text{г}/\text{м}^3$, який ущільнюється, дорівнює дозі мулу в регенераторі: $c = a_r$;

ϵ – винесення активного мулу відстійників у водойму, $\epsilon = C_{ex}$, мг/л.

Корисна площа поперечного перерізу мулоущільнювача:

$$F_i = \frac{\Omega_{\max}}{q_o}, \quad (6.2)$$

де q_o – розрахункове навантаження на площу дзеркала ущільнювача, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$, обирають залежно від концентрації мулу, який надійшов на ущільнення: якщо $c = 2\text{--}3$ г/л – $q_o = 0,5$ $\text{м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$, якщо $c = 5\text{--}8$ г/л – $q_o = 0,3$ $\text{м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$.

Число мулоущільнювачів n_i обирають не меншим за 2.

Діаметр одного мулоущільнювача:

$$D_i = \left(\frac{4 \cdot F_i}{\pi \cdot n_i} \right)^{0,5}, \text{ м.} \quad (6.3)$$

Дані для розрахунку мулоущільнювачів обирають відповідно до будівельних норм [6], таблиця Л.1 (дод. Л).

Висота робочої зони радіального мулоущільнювача, м:

$$H = q_o \cdot t, \text{ м,} \quad (6.4)$$

де t – тривалість ущільнення, год (див. табл. Л.1, дод. Л).

Загальна висота ущільнювача, м,

$$H_i = H + h + h_o, \text{ м,} \quad (6.5)$$

де h – висота зони залягання мулу й розташування мулошкребу або мулососу, м (у разі обладнання мулошкребом $h = 0,3$ м, у разі обладнання мулососом $h = 0,7$ м);

h_o – відстань від рівняння рідини до верху споруди, м ($h_o = 0,3\text{--}0,5$ м).

Ущільнений мул випускається безперервно під гідростатичним напором 0,5–1 м.

Кількість рідини, яка відокремлюється в процесі ущільнення мулу, $\text{м}^3/\text{год}$:

$$q_p = \frac{\Omega_{\max} \cdot (P_1 - P_2)}{100 - P_2}, \quad (6.6)$$

де P_1 – вологість мулу, який надходить, %;

P_2 – вологість ущільненого мулу в разі повного біологічного очищення.

Мулова вода після мулоущільнювачів спрямовується в аеротенк.

Максимальний годинний об'єм ущільненого мулу:

$$\Omega_{di} = \frac{\Omega_{\max} \cdot (100 - P_1)}{100 - P_2}, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (6.7)$$

Середньодобовий об'єм ущільненого мулу:

$$\Omega_{di.\text{доб}} = \frac{\Omega_{\text{доб}} \cdot (100 - P_1)}{100 - P_2}, \text{ м}^3/\text{добу.} \quad (6.8)$$

6.2 Знешкодження осадів

6.2.1 Розрахунок метантенків

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

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

$$O_{\text{сух}} = C_{\text{ен}} \cdot E \cdot K \cdot \frac{Q}{10^6}, \quad (6.9)$$

$$M_{\text{сух}} = n \cdot [0,8 \cdot C_{\text{ен}} \cdot (1 - E) + \alpha \cdot L_{\text{ен}} - \epsilon] \cdot \frac{Q}{10^6}, \quad (6.10)$$

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

E – ефект затримання завислих речовин у первинних відстійниках:

$$E = \frac{C_{\text{ен}} - C_{\text{сдп}}}{C_{\text{ен}}}; \quad (6.11)$$

K – коефіцієнт, що враховує збільшення об'єму осаду за рахунок великих фракцій завислих речовин, дорівнює 1,1–1,2;

Q – середній приплив стічних вод на очисну станцію, м³/добу;

n – коефіцієнт, що враховує нерівномірність приросту активного мулу, дорівнює 1,15–1,25;

α = 0,3–0,5 – коефіцієнт приросту активного мулу;

n – винесення активного мулу з вторинних відстійників у водойму, $\epsilon = C_{\text{ex}}$ мг/л;

L – значення БПК_{повн} у стічних водах, що надходять на біологічне очищення.

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

$$O_{\text{бз}} = \frac{O_{\text{сух}} \cdot (100 - B_{\text{Г}}) \cdot (100 - Z_{\text{ос}})}{10^4}, \quad (6.12)$$

$$M_{\text{бз}} = \frac{M_{\text{сух}} \cdot (100 - B'_{\text{Г}}) \cdot (100 - Z_{\text{мул}})}{10^4}, \quad (6.13)$$

де $B_{\text{Г}}$ і $B'_{\text{Г}}$ – гігроскопічна вологість сирого осаду і надлишкового активного мулу дорівнює 5–6 % відповідно;

$Z_{\text{ос}}$ і $Z_{\text{мул}}$ – зольність сухої речовини сирого осаду й надлишкового активного мулу, дорівнює в середньому відповідно 30 % і 25 % [6, 9].

Витрата сирого осаду й надлишкового активного мулу, м³/добу:

$$v_{oc} = \frac{100 \cdot O_{cux}}{(100 - P_{mud}) \cdot \rho_{oc}}, \quad (6.14)$$

$$v_{mul} = \frac{100 \cdot M_{cux}}{(100 - P_2) \cdot \rho_{mul}}, \quad (6.15)$$

де P_{mud} – вологість сирого осаду, %;

P_2 – вологість ущільненого активного мулу (див. табл. Л.1, дод. Л);

ρ_{oc} і ρ_{mul} – густина осаду й активного мулу, дорівнює 1 г/см³.

Загальна витрата сирого осаду і надлишкового активного мулу визначається:

$$- \text{за сухою речовиною } \Omega_{cux} = O_{cux} + M_{cux}, \text{ т/добу}; \quad (6.16)$$

$$- \text{за беззольною речовиною } \Omega_{\delta z} = O_{\delta z} + M_{\delta z}, \text{ т/добу}; \quad (6.17)$$

$$- \text{за об'ємом суміші } \Omega_{zag} = v_{oc} + v_{mul}, \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (6.18)$$

Середню вологість суміші сирого осаду і активного мулу, %, визначаємо за таким рівнянням:

$$P_{mt} = 100 \cdot \left(1 - \Omega_{cux} / \Omega_{zag}\right), \quad \%. \quad (6.19)$$

Середня зольність абсолютно сухої речовини суміші сирого осаду й активного мулу, %:

$$Z_{sum} = 100 \cdot \left(1 - \frac{\Omega_{\delta z}}{\frac{O_{cux} \cdot (100 - B_r)}{100} + \frac{M_{cux} \cdot (100 - B_r')}{100}}\right). \quad (6.20)$$

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

Враховуючи, що проєктом передбачається механічне зневоднення збродженої суміші, обираємо мезофільний режим зброджування, що дає змогу повністю забезпечити процес теплом, отриманим від спалювання метану.

Таблиця 6.1 – Визначення добової дози завантаження у метантенк осаду D_{mt} залежно від середньої вологості суміші P_{mt} і режиму зброджування

Режим зброджування	Добова доза завантаження в метантенк осаду D_{mt} , %, за вологості завантаженого осаду, %, не більше				
	93	94	95	96	97
Мезофільний	7	8	8	9	10
Термофільний	14	16	17	18	19

Об'єм метантенків:

$$W_{mt} = \frac{\Omega_{zag} \cdot 100}{D_{mt}}, \text{ м}^3. \quad (6.21)$$

де D_{mt} – добова доза завантаження осаду в метантенк, % (табл. 6.1).

Відповідно до таблиці М.1 (дод. М) обирають типові метантенки.

6.2.2 Розрахунок виходу біогазу та розмірів газгольдерів

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

Для збирання, зберігання й подальшого використання газу використовують газгольдери.

Розпад беззольної речовини в завантаженому осаді R_r , %, залежно від дози завантаження D_{mt} , %, визначають за такою формулою [6]:

$$R_r = R_{lim} - K_r \cdot D_{mt}, \quad (6.22)$$

де R_{lim} – межа розпаду, %, яка залежить від його хімічного складу.

За відсутності даних про хімічний склад осаду допускається обирати межі розпаду сирого осаду $a_o = 53$ % й активного мулу $a_{mul} = 44$ %.

Тоді межа розпаду суміші осаду й активного мулу:

$$R_{lim} = \frac{a_o \cdot O_{\bar{o}z} + a_{mul} \cdot M_{\bar{o}z}}{\Omega_{\bar{o}z}}, \% \quad (6.23)$$

де K_r – коефіцієнт залежно від вологості осаду P_{mt} і режиму зброджування, обирають за таблицею 6.2;

D_{mt} – доза завантаженого осаду, дорівнює 9,7 %.

Таблиця 6.2 – Значення коефіцієнта K_r

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

Кількість газу, y , отриману в разі зброджування осаду, обираємо 1 м³ на 1 кг беззольної речовини, яка розпалася (густина газу обрана рівною 1 г/см³).

Сумарна витрата газу:

$$G = y \cdot \Omega_{\text{бз}} \cdot 1000, \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (6.25)$$

Для вирівнювання тиску газу в газовій мережі передбачаємо мокрі газгольдери, місткість яких розраховується на 2–4 години виходу газу:

$$W_r = \frac{G \cdot t}{24}, \text{ м}^3. \quad (6.26)$$

За таблицею М.2 (дод. М) підбирають типові газгольдери.

Перевіряють тривалість зберігання газу:

$$t = \frac{W \cdot 24}{G}, \text{ год}. \quad (6.27)$$

У процесі зброджування відбувається розпад беззольних речовин, який призводить до зменшення маси сухої речовини та збільшення вологості осаду. Сумарний об'єм суміші не змінюється.

Знаючи ступінь розпаду R_r , легко підрахувати масу беззольної речовини в збродженій суміші:

Різниця $\Omega_{\text{сух}} - \Omega_{\text{бз}}$ становить зольну частину, яка не зазнає змін у процесі зброджування. Тому маса сухої речовини в збродженій суміші:

$$\Omega'_{\text{сух}} = (\Omega_{\text{сух}} - \Omega_{\text{бз}}) + \Omega'_{\text{бз}}, \text{ т/добу}, \quad (6.28)$$

$$Z_{\text{сум}} = 100 - \frac{\Omega'_{\text{бз}} \cdot 10^4}{\Omega'_{\text{сух}} \cdot (100 - 6)}. \quad (6.29)$$

Вологість збродженої суміші дорівнює:

$$P_{\text{вт}}^{\text{I}} = 100 - \frac{\Omega'_{\text{сух}} \cdot 100}{\Omega_{\text{заг}}}, \% \quad (6.30)$$

6.2.3 Мулові майданчики

Під час проектування механічного зневоднення осаду необхідно передбачати аварійні мулові майданчики на 20 % від річної кількості осаду [6]. Обираємо мулові майданчики зі штучною асфальтобетонною основою з дренажем.

Корисна площа мулових майданчиків, м²:

$$S' = \frac{\Omega \cdot 365}{K \cdot k}, \text{ м}^2 \quad (6.31)$$

де Ω – об'єм осаду, що подається на мулові майданчики, м³/добу;

K – навантаження, тобто кількість осаду, м³, який припадає на 1 м² майданчиків за рік, м³/м² (табл. Н.1, дод. Н);

k – кліматичний коефіцієнт 1,0 для середньої смуги;

0,2 – коефіцієнт [6], що враховує призначення майданчиків у разі аварії.

Дійсна площа мулових майданчиків (із запасом на розподільчі валики й дороги):

$$S = (1,2 \div 1,4) \cdot S', \text{ м}^2. \quad (6.32)$$

Висота шару намерзання, м:

$$h_n = \frac{\Omega \cdot 0,2 \cdot t \cdot k_1}{S' \cdot k_2}, \text{ м}, \quad (6.33)$$

де t – період намерзання, [6];

k_2 – коефіцієнт, що враховує частину площі під зимове намерзання, $k_2 = 0,8$;

k_1 – коефіцієнт, що враховує зменшення об'єму внаслідок зимової фільтрації та випаровування, $k_1 = 0,75$.

Кількість підсушеного осаду вологістю 80 %, що підлягає вивантаженню з мулових майданчиків за рік:

$$Q_s = \frac{\Omega \cdot 0,2 \cdot 365 \cdot (100 - P_1)}{100 - P_2}, \quad (6.34)$$

де P_1 – вологість осаду, що вивантажується на мулові майданчики, 97,5 %;

P_2 – вологість підсушеного осаду 80 %.

Кількість карт:

$$n = \frac{S}{B \cdot l}, \quad (6.35)$$

де B – ширина однієї карти, м;

L – довжина однієї карти, м.

7 КОМПОНУВАННЯ ГЕНПЛАНУ ОЧИСНОЇ СТАНЦІЇ

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

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

Генеральний план очисної станції складають у масштабі 1 : 500 або 1 : 1 000. На генеральному плані очисних споруд указують розташування основних і допоміжних споруд, будинків, доріг, комунікацій різного призначення, озеленення території.

На території станції розташовують також котельню, майстерні, насосну, повітродувну станцію, склад хлору, прохідну, гараж, адміністративний корпус, лабораторію тощо.

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

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

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

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

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

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

Під час komponування генплану очисних споруд необхідно дотримуватися таких положень.

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

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

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

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

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

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

Автоматичний розподіл здійснюється за допомогою розподільчих камер з підведенням і відведенням води по трубах або відкритих лотках. Під час

розташування окремих споруд усієї станції, тобто в разі їх компонування, необхідно передбачати можливість подальшого розвитку станції.

На рисунку 7.1 наведено приклад розміщення споруд станції очищення стічних вод з аеротенками.

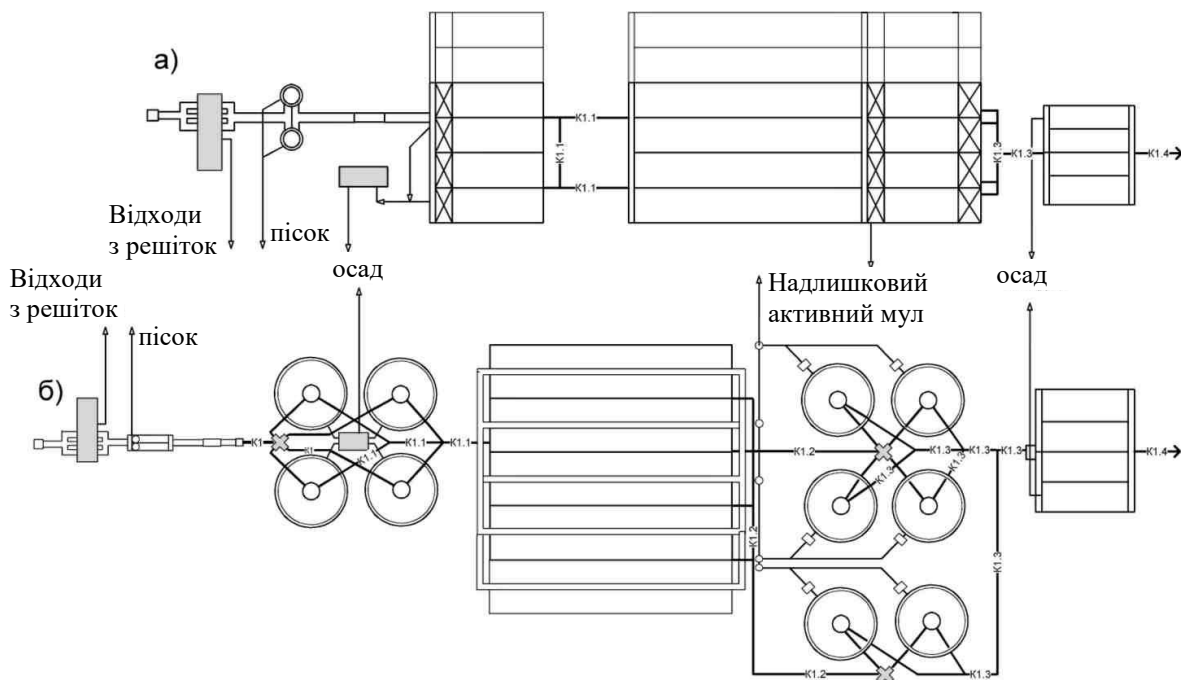


Рисунок 7.1 – Приклад розміщення споруд станції очищення стічних вод з аеротенками:

а – з горизонтальними відстійниками; б – із радіальними відстійниками

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

Газгольдери повинні розташовуватися на відстані (з місткістю газгольдерів менше 1 000 м³):

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

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

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

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

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

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

Під час розташування споруд доцільно з однієї зі сторін прокласти дорогу, що забезпечує під'їзди до споруд, а іншу сторону намагатися залишити вільною для майбутнього розширення станції у разі збільшення продуктивності, а також будівництва за чергами.

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

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

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

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

Як приклад [4] наведений генплан очисних споруд. Із прикладами будови генплану очисної станції також можна ознайомитися у джерелах [1, 2].

8 ПОБУДОВА ПОВЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЮ РУХУ СТІЧНИХ ВОД І ОСАДУ

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

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

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

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

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

Сполучення ділянок виконується за рівнем води, а зі зменшенням її глибини – по дну каналів, тобто з перепадом.

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

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

Під час призначення ухилів каналів виходять із необхідності забезпечити швидкості не менше мінімальних (табл. 8.1). За умовами проведення робіт ухили дна каналів не повинні бути менше ніж 0,001–0,000 5.

Таблиця 8.1 – Визначення ухилів каналів

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

Для побудови профілю за рухом води шлях її по комунікаціях і спорудах на генеральному плані розбивають на розрахункові ділянки, межами яких є точки виміру витрати (місця поділу й злиття потоку), зміни поздовжніх ухилів, форми або розмірів перетину каналів або труби, окремі споруди (рис. 8.1). Як ділянку обирають відрізок лотка чи труби або цілу споруду, де не відбувається зміна витрати.

Для кожної ділянки визначається розрахункова витрата, що дорівнює розрахунковій продуктивності тих очисних споруд, до яких подається або від яких відводиться вода до цієї ділянки, при цьому обирається підвищувальний коефіцієнт 1,4, який враховує перспективне збільшення навантаження на станцію очищення.

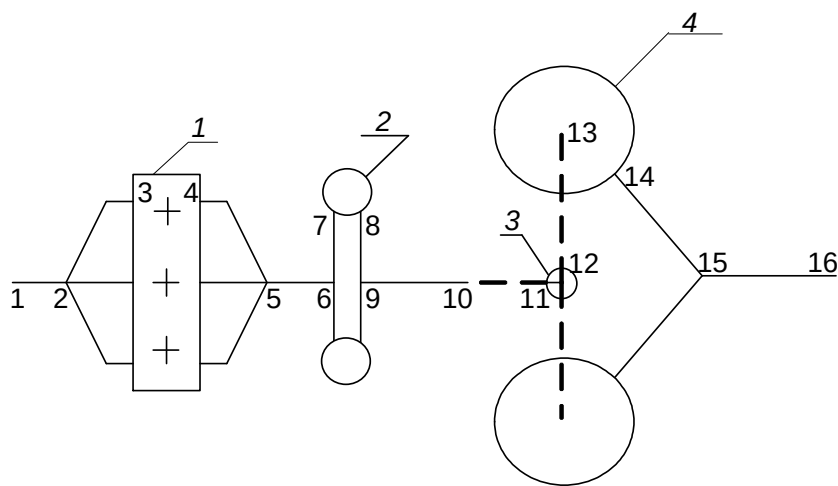


Рисунок 8.1 – Розрахункова схема:

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

Отримані в такий спосіб довжини ділянок відкладають на кресленнях у горизонтальному масштабі, який потрібно обрати однаковим з масштабом

генерального плану очисної станції. У вертикальному напрямку в масштабі 1 : 100 повинні бути відкладені від умовного обрію відмітки землі на початку та в кінці кожної ділянки. За отриманими точками будують профіль поверхні землі, а на ньому – профіль руху води (висотна схема).

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

Для визначення висотного розміщення основних споруд враховують розрахункові втрати напору у кожному з них, у каналах та трубопроводах за ходом руху стічних вод, мулу, осадів.

Для попередніх розрахунків різницю відміток рівня води перед спорудою і після неї обирають за таблицею 8.2. Орієнтовні втрати напору потрібні для визначення мінімально необхідних позначок рівнів води в спорудах. Мінімальні відмітки споруд визначаються починаючи від випуску стічних вод.

Таблиця 8.2 – Орієнтовні втрати напору в спорудах

Споруди	Втрати напору, см
Решітки	10–25
Пісковловлювачі, жировловлювачі	10–25
Відстійники:	
Горизонтальні	10–25
Радіальні	40–60
Вертикальні	50–70
Біофільтри зі спринклерною подачею води	H + 50
Біофільтри з обертовими зрошувачами	H + 50
Аеротенки	50–80
Аеротенки-відстійники	50–80
Барабанні сітки	20–30
Фільтри піщані	H + 200
Контактні резервуари	10–30
Примітка. Умовні позначення: H – висота завантаження.	

Загальна величина втрат напору на очисній станції залежить також від компактності розташування споруд, тобто від величини розриву між ними, а отже, довжини лотків, що підводять; орієнтовно можна обрати її за механічного

очищення 6 м, за біохімічних способів очищення – 8 м (при аеротенках) і 12 м (при біофільтрах).

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

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

Профіль за рухом стічних вод будують за формою, поданою в таблиці 8.3.

Із прикладами будови поздовжнього профілю руху стічних вод можна ознайомитися у джерелах [1, 4].

Таблиця 8.3 – Профіль руху стічних вод

Існуючі відмітки поверхні землі (15 мм)	Обирається за генеральним планом очисних споруд
Проектовані відмітки поверхні землі (15 мм)	
Відмітки поверхні води (15 мм)	Розраховують з урахуванням витрат
Відмітки дна каналу, споруди (15 мм)	Обирають за розрахунковими даними лотків і споруд
Номери точок (10 мм)	Обирають за генеральним планом
Відстані (10 мм)	Залежно від розміщення споруд у плані й беруть за точками, наміченими на плані
Ухил (10 мм)	Обирають за нормами з ухилу припустимих швидкостей у каналі й трубах
Розміри каналів чи труб (15 мм)	із розрахунку
Примітка 1. Мінімальну розрахункову швидкість руху біохімічно очищених стічних вод у лотках і трубах допускається обирати 0,6 м/с.	
Примітка 2. Розрахункове наповнення трубопроводів і каналів із поперечним перерізом будь-якої форми необхідно обирати не більше 0,7 висоти.	
Примітка 3. Найменші ухили трубопроводів і каналів необхідно обирати залежно від припустимих мінімальних швидкостей руху стічних вод.	

Під час розрахунку відкритих каналів обирають відношення глибини потоку до ширини каналу – 0,5–0,75 м, запас від горизонту води до бортів каналу – 0,2–0,3 м за його ширини до 1 м і 0,3–0,4 м із шириною понад 1 м.

Гідравлічний розрахунок каналів та трубопроводів потрібно здійснювати за таблицями для розрахунку каналізаційних мереж.

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

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

2) активний мул із вторинних відстійників через мулоуцілювачі також надходить у приймальний резервуар насосної станції метантенків, а після зброджування осад через насосну станцію подається на муловий майданчик або у цех механічного зневоднення осаду.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки : навч. посіб. / О. А. Василенко, С. М. Епоян, Г. М. Смірнова [та ін.]. – Київ ; Харків : КНУБА, ХНУБА, 2012. – 572 с.
2. Обробка технологічних рідин та стічних вод : навч. посіб. / С. С. Рижков [та ін.] ; Нац. ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова, Херсон. філ. – Херсон : Грінь Д. С., 2017. – 315 с.
3. Водовідведення і очищення стічних вод міста : навч. посіб. / Г. М. Смірнова, С. М. Епоян, І. В. Корінько [та ін.]. – Харків : Каравела, 2003. – 144 с.
4. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посіб. / В. А. Ковальчук. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.
5. Основи комплексного проектування систем водовідведення міста : навч.-метод. посіб. / С. М. Епоян, Г. М. Смірнова, В. Ю. Сорокіна [та ін.]. – Харків : ХДТУБА, 2008. – 79 с.
6. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 01-01-2014. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 214 с.
7. Технології захисту навколишнього середовища : підручник. Ч. 2. Методи очищення стічних вод / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, Р. В. Петрук [та ін.]. – Херсон : Олді-плюс, 2019. – 298 с.
8. Природоохоронні технології : навч. посіб. У 2 ч. Ч 2. Методи очищення стічних вод / В. Г. Петрук, Л. І. Северин, І. В. Васильківський, І. І. Безвозюк. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 258 с.
9. Біологічне очищення та знезараження міських стічних вод : навч.-метод. посіб. для здобувачів вищої освіти спеціальностей 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (професійного спрямування «Водопостачання та водовідведення») та 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів / С. М. Епоян, В. Ю. Сорокіна, О. Г. Ісакієва, О. Г. Гайдучок. – Харків : ХНУБА, 2022. – 68 с.

ДОДАТОК А

Дані для визначення ступеня очищення стічних вод

Таблиця А.1 – Нормативи якості води у водоймі

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

Таблиця А.2 – Розміри приймальних камер очисних споруд у разі напірного надходження стічних вод

Витрата стічних вод, м³/год	Розмір, мм			Діаметр напірного трубопроводу в разі подання стоків, мм	
	A	B	H	по двох нитках	по одній нитці
100–160	1 500	1 000	1 300	150	150–250
250	1 500	1 000	1 300	150	250
400–630	1 500	1 000	1 300	250	400
1 000–1 250	2 000	2 300	2 000	250	600
1 600–2 000	2 000	2 300	2 000	400	700
Примітка: А і В – розміри приймальної камери в плані; Н – висота приймальної камери					

ДОДАТОК Б

Технічні характеристики решіток

Таблиця Б.1 – Технічні характеристики решіток типу МГ

Пропускна здатність станції, Q , тис. $\text{м}^3/\text{добу}$	Розра- хункова витрата, q , $\text{м}^3/\text{с}$	Марка решітки	Розміри каналу $B_p \times H_p$, мм	Кількість			
				решіток робочих (резерв- них)	про- зорів	дробарок Д-36 продуктивністю, кг/год.	
						50–100	300–600
18	0,29	МГ-7Т $q = 0,31 \text{ м}^3/\text{с}$	$800 \times 1\,400$	1 (1)	31	1	–
25–35	0,4–0,53	–	–	2(1)	31	1	–
50	0,72	МГ-11Т $q = 0,45 \text{ м}^3/\text{с}$	$1\,000 \times 1\,600$	2 (1)	39	1	–
70	0,96	–	–	2 (1)	39	1 (1)	1 (1)
100	1,36	МГ-8Т $q = 1 \text{ м}^3/\text{с}$	$1\,400 \times 2\,000$	2 (1)	55	–	1 (1)
140	1,87	–	–	2 (1)	55	–	1 (1)
200	2,68	МГ-6Т $q = 1,62 \text{ м}^3/\text{с}$	$2\,000 \times 2\,000$	2 (1)	84	–	1 (1)
Примітка. Пропускна здатність решіток, визначена в разі швидкості потоку 0,8 м/с.							

Таблиця Б.2 – Технічні характеристики решіток типу СУ

Типорозмір решіток	Ширина камери решіток B_k , мм	Повна довжина решіток L , мм	Довжина решіток, яка занурена у потік h , мм	Висота до опори валу, H , мм	Ширина проці- джувальн ого полотна решіток B_p , мм	Живий переріз проці- джуваль ного полотна f , м ²	Кіль- кість прозорів n	Радіус звороту решіток R , мм
0590	500	2950	1 220	1 447	392	0,25	40	2 200
0790	700	2 950	1 220	1 447	592	0,38	60	2 200
0890	800	2 950	1 220	1 447	692	0,44	70	2 200
0914	900	3 250	1 520	1 707	792	0,63	80	2 500
1014	1 000	3 250	1 520	1 707	892	0,71	90	2 500
1018	1 000	3 850	2 120	2 227	892	0,99	90	3 100
1214	1 200	3 250	1 520	1 707	1 092	0,87	110	2 500
1230	1 200	4 670	2 680	3 062	1 092	1,53	110	3 710
1230 (спарена)	2 600	4 670	2 680	3 062	2 384	3,34	240	
1521	1 510	4 150	2 420	2 452	1 392	1,76	140	3 400
2018	1 810	3 850	2 120	2 192	1 692	1,87	170	3 100
2021	1 810	4 150	2 420	2 452	1 692	2,14	170	3 400

ДОДАТОК В

Основні параметри та розміри пісковловлювачів

Таблиця В.1 – Параметри для розрахунку пісковловлювачів

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

Таблиця В.2 – Технологічні параметри роботи пісковловлювачів

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

Таблиця В.3 – Розміри типових пісковловлювачів із коловим рухом води

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

Таблиця В.4 – Розміри типових аерованих пісковловлювачів

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

Таблиця В.5 – Розміри типових горизонтальних пісковловлювачів

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

ДОДАТОК Г

Основні параметри для розрахунку первинних відстійників

Таблиця Г.1 – Тривалість відстоювання t_{set} залежно від ефекту освітлення E і концентрації завислих речовин C_{en}

Ефект освітлення $E, \%$	Тривалість відстоювання $t_{set}, \text{с}$, у шарі $h_1 = 500 \text{ мм}$ у разі концентрації завислих речовин $C_{en}, \text{мг/л}$			
	100	200	300	400
20	600	300	—	—
30	900	540	320	260
40	1 320	650	450	390
50	1 900	900	640	450
60	3 800	1 200	970	680
70	—	3 600	2 00	1 830

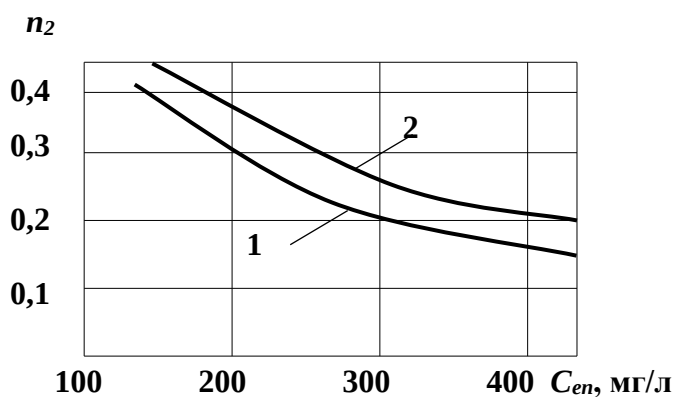


Рисунок В.1 – Залежність показника ступеня n_2 від вихідної концентрації завислих речовин у міських стічних водах: 1 – ефект очищення $E = 50\%$; 2 – ефект очищення $E = 60\%$

Таблиця Г.2 – Розрахункові параметри первинних відстійників

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

Таблиця Г.3 – Розміри типових радіальних відстійників

Орієнтовна Продуктивність, м³/год	Діаметр, м		Глибина, м	Об'єм зони відстоювання, м³	Тип відстійника
	відстійника	впускного пристрою			
525	18	1,4	3,4	788	Первинний
525	18	1,4	3,7	788	Вторинний
930	24	1,6	3,4	1 400	Первинний
930	24	1,6	3,7	1 400	Вторинний
1 460	30	1,8	3,4	2 190	Первинний
1 460	30	1,8	3,7	2 190	Вторинний
3 054	40	2,0	4,0	4 580	Первинний
3 054	40	2,0	4,35	4 580	Вторинний

Таблиця Г.4 – Розміри типових горизонтальних відстійників

Орієнтовна продуктивність, м³/год	Кількість Відділень	Розміри відділення, м			Розрахунковий об'єм, м³
		ширина	довжина	глибина	
1 160	4	6	24	3,15	1 740
1 740	6	6	24	3,15	2 610
2 130	4	9	30	3,1	3 200
3 200	6	9	30	3,1	4 800
4 260	8	9	30	3,1	6 400

ДОДАТОК Д

Розміри вимірювальних лотків

Таблиця Д.1 – Розміри вимірювальних лотків Вентурі залежно від витрати стічних вод

Межа вимірювань витрати стічних вод, м ³ /год	<i>B</i>	<i>в</i>	<i>H</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>i</i> ₁	<i>i</i> ₂
25–500	450	296	600	1 200	1 260	2 040	4 500	0,002	0,003
60–1 250	600	377	900	2 000	1 960	2040	6 000	0,0015	0,003
200–4 000	900	596	1 200	3 000	2 800	2 000	7 800	0,0015	0,003
250–5 000	1 200	752	1 200	3 000	3 420	1 980	8 400	0,001	0,002
400–8 000	1 800	1 180	1 200	3 000	4 180	2 000	9 200	0,001	0,002
500–10 000	2 400	1 500	1 200	3 000	5 390	2 010	10 400	0,001	0,002

Умовні позначення: *B* – ширина лотка, мм; *в* – ширина горловини звуженої частини лотка, мм; *H* – глибина лотка, мм; *E* – відстань від контрольного перерізу лотка до початку горловини, мм; *F* – довжина горловини, мм; *L* = *E* + *F* = *K* – загальна довжина вимірювального пристрою, мм; *i*₁ та *i*₂ – ухили підвідного й відвідного лотків відносно вимірювального пристрою.

ДОДАТОК Е

Основні параметри для розрахунку аеротенків

Таблиця Е.1 – Значення мулового індексу J_i , $\text{см}^3/\text{г}$, залежно від навантаження на мул q_i , $\text{мг}/(\text{г} \times \text{добу})$, для міських стічних вод [6]

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

Таблиця Е.2 – Значення коефіцієнта K_1

F_{az}/f_{at}	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1,0
K_1	1,34	1,47	1,68	1,89	1,94	2,0	2,12	2,3
$J_{a,max}$, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$	5	10	20	30	40	50	75	100

Таблиця Е.3 – Значення коефіцієнта K_2

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

Таблиця Е.4 – Залежність розчинності кисню, від температури у разі тиску 760 мм рт. ст.

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

Таблиця Е.5 – Технічні характеристики пневматичних аераторів

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

Примітка: SOTE – стандартна ефективність перенесення кисню. Для побутових стічних вод $WWOTE = 0,8 \times SOTE$

Таблиця Е.6 – Основні параметри типових аеротенків-витиснювачів

Ширина коридору, B_{atv} , м	Робоча глибина аеротенка, H_{atv} , м	Кількість коридорів, m	Робочий об'єм однієї секції, м ³ , із довжиною, м						Кількість рядів аераторів від першого коридору до четвертого	Номер типового проекту
			32–42	48–54	60–66	72–78	84–90	96–102		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4,5	3,2	2	1 040– 1 213	1 386– 1 559	1 732	–	–	–	2 + 1	902–2–195
		3	1 560– 1 820	2 080– 2 340	2 600	–	–	–	2 + 1 + 1	902–2–192
		4	2 070– 2 416	2 762– 3 108	3 494– 3 200	–	–	–	2 + 2 + 1 + 1	901–2–178
4,5	4,4	2	1 420– 1 658	1 896– 2 134	2 372	–	–	–	2 + 1	902–2–195
		3	2 140– 2 496	2 852– 3 208	3 564	–	–	–	2 + 1 + 1	902–2–192
		4	2 850– 3 325	3 800– 4 275	4 750– 5 225	–	–	–	2 + 2 + 1 + 1	902–2–178
	4,4	2	–	2 530– 2 847	3 154– 3 471	3 788	–	–	2 + 2	902–2–196
		3	–	3 800– 4 275	4 750– 5 225	5 700	–	–	3 + 2 + 1	902–2–193

Продовження таблиці Е.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		4	—	5 700	5 334– 6 968	7 602– 8 230	8 870– 9 504	—	3 + 2 + 2 + 1	902–2–179
6,0	5,0	2	—	2 880– 3 240	3 600– 3 960	4 320	—	—	2 + 2	902–2–196
		3	—	4 320– 4 860	5 400– 5 940	6 480	—	—	3 + 2 + 1	902–2–193
		4	—	6 500	7 220	8 666– 9 380	10 100	—	3 + 2 + 2 + 1	903–2–179
9,0	4,4	2	—	—	—	6 180	6 650– 7 130	7 505– 7 980	3 + 2	902–2–197
		3	—	—	—	9 270	9 983– 10 696	11 409– 12 122	3 + 3 + 2	902–2–194
		4	—	—	—	—	13 300– 14 250	15 200– 16 150	3 + 3 + 2 + 2	904–2–180
9,0	5,0	2	—	—	—	7 020	7 560– 8 100	8 640– 9 180	3 + 2	902–2–197
		3	—	—	—	10 530	11 340– 12 150	12 960– 13 770	3 + 3 + 2	902–2–194
		4	—	—	—	—	15 120– 16 200	17 280– 18 360	3 + 3 + 2 + 2	903–2–180

ДОДАТОК Ж

Дані для розрахунку вторинних відстійників

Таблиця Ж.1 – Основні параметри типових радіальних вторинних відстійників

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

Таблиця Ж.2 – Основні параметри різних типів відстійників

Тип відстійника	Коефіцієнт використання об'єму проточної частини відстійників		Глибина проточної частини відстійника H_{set} , м	Ширина, B_{set} , м	Нахил днища до мулового прямоку
	первинного K_{ss}	вторинного K_{set}			
Горизонтальний	0,50	0,45	1,5–4,0	(2–5) Н	0,005–0,05
Радіальний	0,45	0,40	1,5–5,0	–	0,001–0,003
Вертикальний	0,35	0,35	2,7–3,8	–	50° до горизонталі

Таблиця Ж.3 – Винесення завислих речовин із вторинних відстійників залежно від тривалості відстоювання й значення БПК_{повн} очищеної води

Тривалість відстоювання, год	Винесення завислих речовин C_{ex} у разі БПК _{повн} L_{ex} очищеної води, мг/л					
	15	20	25	50	75	100
1	2	3	4	5	6	7
0,75	21	27	33	66	86	100
1	2	3	4	5	6	7
1,0	18	24	29	59	78	93
1,5	15	20	25	51	70	83
2,0	12	16	21	55	63	75

Таблиця Ж.4 – Основні технологічні характеристики вторинних відстійників залежно від ступеня біологічного очищення

Призначення вторинних відстійників	Тривалість відстоювання за максимального припливу, год	Максимальна швидкість протікання, мм/с
Після аеротенків на неповне очищення в разі зниження БПК _{повн} до 50 %	0,75	7
Після аеротенків на неповне очищення в разі зниження БПК _{повн} до 80 %	1,0	5
Після аеротенків на повне очищення	2,0	5

ДОДАТОК И

Характеристики лотів Паршала

Таблиця И.1 – Основні характеристики лотків Паршала

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

ДОДАТОК К

Дані для розрахунку хлораторних

Таблиця К.1 – Продуктивність хлораторних

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

ДОДАТОК Л

Дані для розрахунку мулоущільнювачів

Таблиця Л.1 – Параметри для розрахунку мулоущільнювачів

Характеристика надлишкового активного мулу	Вологість ущільненого мулу, P_2 , %		Тривалість ущільнення, t , год		Швидкість руху рідини в відстійній зоні вертикального мулоущільнювача, мм/с
	Мулоущільнювач				
	верти-кальний	радіа-льний	верти-кальний	радіа-льний	
Мулова суміш з аеротенків, працюючих на повне біологічне очищення з концентрацією 1,5–3 г/л	–	97,3	–	5–8	–
Активний мул із вторинних відстійників із концентрацією 4,5–6,5 г/л	98	97,3	10-12	9–11	Не більше 0,1
Активний мул із зони відстоювання аеротенків-відстійників із концентрацією 4,5–6,5 г/л	98	97,0	16	12–15	Те саме
Мулова суміш з аеротенків, працюючих на неповне очищення з концентрацією 1,5–2,5 г/л	95	95,0	3	3	Не більше 0,2

ДОДАТОК М

Дані для розрахунку метантенків

Таблиця М.1 – Розміри метантенків залежно від корисного об'єму

Діаметр, м	Корисний об'єм одного резервуара, W_{mt} м ³	Висота, м		
		верхнього конуса	циліндричної частини	нижнього конуса
10	500	1,45	5,0	1,70
12,5	1000	1,90	6,5	2,15
15	1600	2,35	7,5	2,60
17,5	2500	2,20	8,5	3,05
20	4000	2,90	10,6	3,50

Таблиця М.2 – Основні дані й типові проєкти газгольдерів

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

ДОДАТОК Н

Параметри для розрахунку мулових майданчиків

Таблиця Н.1 – Навантаження осаду на мулові майданчики, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \times \text{рік})$

Характеристика осаду	Мулові майданчики					
	На природній основі	На природній основі з дренажем	На штучній асфальтобетонній основі з дренажем	Каскадні з відстоюванням і поверхневим відводом мулової води, на природній основі	Майданчики-ущільнювачі	Майданчики із горизонтальним та вертикальним дренажем
Суміш осадів із первинних відстійників і активного мулу, яка зброджена у мезофільних умовах	1,2	1,5	2,0	1,5	1,5	2,5–3,5
Те саме у термофільних умовах	0,8	1,0	1,5	1,0	1,0	2,0–2,5
Зброджений осад із первинних відстійників і осад із двоярусних відстійників	2,0	2,3	2,5	2,0	2,3	3,0
Аеробно стабілізована суміш активного мулу й осаду з первинних відстійників або стабілізований активний мул	1,2	1,5	2,0	1,5	1,5	2,2–2,5

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до виконання курсового проєкту
«КОМПЛЕКС СПОРУД З ОЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД МІСТА»

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

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

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

Редактор *Б. О. Хільська*

Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2026, поз. 69М

Підп. до друку 29.06.2026. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 4,5.

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.