

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до проведення практичних занять, самостійного вивчення
та виконання розрахунково-графічної роботи
з навчальної дисципліни

«ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ТА ОЧИЩЕННЯ ВОДИ НА
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ»

(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні
технології)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Методичні рекомендації до проведення практичних занять, самостійного вивчення та виконання розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Технології підготовки та очищення води на промислових підприємствах» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : С. М. Епоян, Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 76 с.

Укладачі: д-р техн. наук, проф. С. М. Епоян,
канд. техн. наук, доц. Т. С. Айрапетян

Рецензент

М. В. Дегтяр, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 29.08.2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ.....	5
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1 Сольовий склад та характеристика природних вод.....	5
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2 Попереднє очищення води.....	8
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3 Вибір методу пом'якшення води та складу споруд.....	11
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 4 Катіонітове пом'якшення води.....	16
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 5 Дегазація води, підбір та розрахунок дегазаторів, декарбонізаторів.....	19
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 6 Усереднення промислових стічних вод. Розрахунок усереднювачів.....	21
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 7 Очистка стічних вод методом відстоювання.....	24
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 8 Розрахунок відкритих гідроциклонів та флокуляторів.....	29
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 9 Фільтрування стічних вод. Розрахунок фільтрів.....	32
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 10 Очистка фізико-хімічними та хімічними методами.....	33
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 11 Очистка промислових стічних вод методами електрокоагуляції та електрофлокоагуляції.....	35
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 12 Стабілізація іонного складу оборотної води у зворотних та повністю замкнених системах водопостачання.....	38
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 13 Обробка води в системах зворотного водопостачання.....	43
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 14 Водопідготовка ТЕЦ і котелень харчових підприємств.....	46
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	49
2.1 Склад і оформлення розрахунково-графічної роботи.....	49

2.2 Рекомендації до виконання основних розділів.....	50
2.3 Розрахункова частина.....	53
2.3.1 Визначення розрахункової витрати стічних вод.....	53
2.3.2 Розрахунок установок для електрофлотації.....	53
2.3.3 Розрахунок відстійника.....	56
2.3.4 Фільтрування проясненої води.....	60
2.4 Список джерел до виконання розрахунково-графічної роботи.....	62
3 ЗМІСТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИСЦИПЛІНИ, КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	63
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69
ДОДАТКИ.....	70

ВСТУП

Водне господарство промислових підприємств – це комплексна система, що включає водопостачання та водовідведення, при цьому очистка стічних вод розглядається як підготовка їх до повторного використання. Воно включає комплекс систем господарсько-питного й протипожежного водопостачання і промислове водопостачання та водовідведення. При цьому кожне підприємство має свої специфічні особливості у використанні води, свої джерела її забруднення і, відповідно до цього, вимагає розробки та впровадження конкретних технологічних вирішень проблеми очистки води з метою її комплексного використання.

Мета викладання навчальної дисципліни «Технології підготовки та очищення води на промислових підприємствах» – формування у здобувачів комплексу знань в галузі сучасних технологій водопідготовки та очищення води на промислових підприємствах, комплексу умінь та навиків, необхідних для обґрунтованого вибору та проєктування станцій водоочищення, залежно від складу води.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент має знати: системи та схеми водопостачання промислових підприємств, норми та режими водоспоживання на технічні та технологічні потреби; конструкції споруд для охолодження води, їх типи та розрахунок, технологічні схеми водопостачання найбільш водоемних промислових підприємств, методи підготовки води.

1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1

Сольовий склад та характеристика природних вод

Природна вода є багатоконпонентною динамічною системою, до складу якої входять: гази, мінеральні та органічні речовини, які перебувають в істинно розчиненому, колоїдному, завислому стані, а також мікроорганізми.

Фізико-хімічні властивості води характеризують такі показники: прозорість, вміст завислих речовин, сухий залишок, солевміст, окисність, жорсткість, лужність, концентрація розчинених газів (CO_2 і O_2).

Солевміст визначає ступінь мінералізації води (вміст солей) у мг/дм^3 .

Класифікація поверхневих вод за ступенем мінералізації:

- дуже малий – до 100 мг/дм^3 ;
- малий – $100\text{--}200 \text{ мг/дм}^3$;

- середній – 200–500 мг/дм³;
- підвищений – 500–1 000 мг/дм³;
- високий – понад 1 000 мг/дм³.

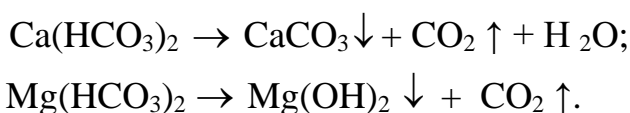
Жорсткість води є важливим показником якості води. Характеризується вмістом іонів кальцію та магнію $[Ca^{2+} + Mg^{2+}]$ мг-екв/л.

Жорсткість води (ступінь жорсткості прийнято виражати в ммоль іонів Ca^{2+} або Mg^{2+} (або обох іонів) в 1 дм³ або 1 кг води – ммоль/дм³ або ммоль/кг. У технічній літературі зустрічається одиниця виміру ступеня жорсткості води – мг-екв/дм³ або мг-екв/кг.

Загальна жорсткість води, ммоль/дм³:

$$J_{заг} = \frac{[Ca^{2+}]}{20,04} + \frac{[Mg^{2+}]}{12,16}. \quad (1.1)$$

Карбонатна (тимчасова) жорсткість обумовлена бікарбонатами $Ca(HCO_3)_2$ і $Mg(HCO_3)_2$. При кип'ятінні вони розкладаються з утворенням накипу $CaCO_3$ і $Mg(OH)_2$:



Карбонатна жорсткість води

$$J_k = \frac{[HCO_3^-]}{61,02}, \text{ ммоль/дм}^3. \quad (1.2)$$

Некарбонатна жорсткість води

$$J_{нк} = J_{заг} - J_k, \text{ ммоль/дм}^3. \quad (1.3)$$

Некарбонатна (постійна) жорсткість обумовлюється наявністю всіх інших солей кальцію та магнію ($CaSO_4$; $MgSO_4$; $CaCl_2$; $MgCl_2$ та ін.).

Іонний склад природних вод

Вода є хорошим розчинником. Молекули багатьох речовин у воді дисоціюють, як і вода, на іони. Основні катіони, присутні у воді: H^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Al^{3+} та ін. Основні аніони, присутні у воді: Cl^- , OH^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , SiO_3^{2-} , CO_3^{2-} .

Відповідно до рівноваги фаз сума катіонів має дорівнювати сумі аніонів:

$$\sum K = \sum A, \text{ г-екв/л.} \quad (1.5)$$

Солевміст води характеризується загальною концентрацією у воді катіонів $[K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}]$ та аніонів $[HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, SiO_3^{2-}]$ і визначає її ступінь мінералізації в мг/л.

За вмістом іонів (солей) у воді загальний ступінь мінералізації (М) визначають за формулою:

$$M = \sum \text{катіонів} + \sum \text{аніонів}, \text{ мг/дм}^3 \quad (1.6)$$

Для перевірки правильності обчислення ступеня мінералізації результати перераховують у мг-екв/дм³. При цьому сума концентрацій катіонів повинна дорівнювати сумі концентрацій аніонів:

$$\frac{\text{Ca}^{2+}}{20,04} + \frac{\text{Mg}^{2+}}{12,16} + \frac{\text{Na}^+}{23,0} + \frac{\text{K}^+}{39,0} + \dots = \frac{\text{SO}_4^{2-}}{48,03} + \frac{\text{Cl}^-}{35,46} + \frac{\text{HCO}_3^-}{61,03} + \frac{\text{SiO}_3^{2-}}{38,03} + \dots$$

Про вміст у природній воді солей судять за кількістю таких показників: сухого залишку, втрати маси в процесі прожарювання.

Основними хімічними домішками річкових вод (з кількістю розчинених солей 500–600 мг/дм³) є катіони Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ та аніони HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- .

Мало мінералізовані води річок містять переважно іони Ca^{2+} , HCO_3^- .

Підземні води різноманітні за хімічним складом. Ступінь мінералізації залежить від умов залягання водоносного шару, коливається від 100–200 мг/дм³ до декількох міліграмів у дм³.

У прісних артезіанських водах переважають іони Ca^{2+} , HCO_3^- . У міру підвищення ступеня мінералізації зростає відносний вміст іонів натрію, сульфатів, хлоридів.

Діаграму передбачуваного складу солей будують у вигляді трьох рівних смуг, що примикають одна до одної (рис. 1.1). На верхній смузі відкладають зліва направо в масштабі вміст катіонів у воді в порядку зростання основних властивостей. На нижній смузі в тому ж масштабі зліва направо відкладають аніони в порядку зростання кислотних властивостей. На середній смузі за сполученням катіонів та аніонів визначають передбачуваний склад солей. Потрібно пам'ятати, що масштаб на середній смузі в два рази менший, ніж на верхній і нижній смугах.

Fe^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	
$\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	Na_2SO_4 K_2SO_4	$\text{NaCl} + \text{KCl}$
	HCO_3^-		SO_4^{2-}	Cl^-

Рисунок 1.1 – Діаграма передбачуваного складу солей

Концентрації катіонів та аніонів виражають у мг-екв/дм³. Ця діаграма враховує, що при рН = 5–6 відбувається виділення осаду Fe(OH)₃, за величини рН = 8,5 осаджується феруму гідроксид, за рН = 8,5–9 – кальцію карбонат, а за рН = 10–10,3 – магнею гідроксид.

Завдання для самостійного розв'язання

1. Відповідно до принципу електронейтральності розрахувати вміст іону Na⁺ у природній воді та визначити загальний ступінь мінералізації води, якщо іонний склад води такий, мг/дм³: Ca²⁺ = 88; Mg²⁺ = 17; K⁺ = 18; Cl⁻ = 350; SO₄²⁻ = 120; HCO₃⁻ = 108.

2. Розрахувати величину карбонатної, некарбонатної та загальної жорсткості води, якщо концентрація гідрокарбонат-іонів [HCO₃⁻] = 128,1 мг/дм³, катіонів [Ca²⁺] = 86 мг/дм³, [Mg²⁺] = 35 мг/дм³,

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2

Попереднє очищення води

Розрахунок напірних механічних фільтрів

Розрахункова сумарна площа фільтрування:

$$F' = \frac{Q \cdot \alpha}{\omega'_n}, \text{ м}^2, \quad (2.1)$$

де Q – продуктивність фільтрів за освітленою водою, м³/год;

α – коефіцієнт, що враховує витрату води на власні потреби механічних фільтрів, попередньо приймають 1,1 (10 %), потім уточнюють.

Розрахункова швидкість фільтрування за нормального режиму роботи фільтрів (усі фільтри працюють, один перебуває в резерві):

$$\omega'_n = \frac{n \cdot P \cdot 1000}{24 \cdot C_{oc}}, \text{ м/год}, \quad (2.2)$$

де n – кількість необхідних для кожного фільтра промивань за добу; для одного фільтра кількість промивань має бути не більше 3;

C_{oc} – концентрація завислих частинок у воді, що надходить на фільтри, мг/л;

P – брудоемність завантаження, кг/м².

Брудоемність фільтруючого завантаження шаром 1 м за фракційного складу 0,6–1,4 мм становить в середньому 2,5 кг/м².

Механічні напірні фільтри мають стандартні діаметри, наведені в таблиці А.1 додатка А.

Розрахункову площу одного фільтра визначають за рівнянням:

$$F_{\phi}^{\prime} = \frac{F^{\prime}}{N-1}, \text{ м}^2 \quad (2.3)$$

де $(N-1)$ – кількість працюючих фільтрів; один фільтр перебуває в резерві.

Вибирають стандартний фільтр, що має найближче значення площі фільтрування F_{ϕ} , і приймають фактичні значення діаметра фільтра та площі фільтрування.

Маючи значення площ фільтрів, визначається загальна розрахункова кількість робочих фільтрів

$$N_{\text{розр.}\phi} = \frac{F_{\phi}}{f_1}, \quad (2.4)$$

де f_1 – площа одного фільтра, м^2 (площі фільтрування стандартних фільтрів залежно від діаметра наведено в таблиці А.1, додаток А).

Витрата води на одне відмивання механічного фільтра:

$$q_1 = \frac{60 \cdot i \cdot t \cdot f_1}{1000}, \text{ м}^3, \quad (2.5)$$

де i – інтенсивність розпушувального промивання фільтра, $\text{л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$;

t – тривалість розпушувального промивання фільтра, хв.

Значення i та t приймають за таблицею А.2 (дод. А) залежно від використовуваного типу завантаження фільтра.

Середньогодинна витрата води на власні потреби

$$q = \frac{q_1 \cdot n_{np} \cdot (N-1)}{24}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.6)$$

де n_{np} – число промивок фільтрів, приймаються $n_{np} = 1-2$ рази на добу.

Для обраних стандартних фільтрів визначають фактичну швидкість фільтрування за нормального режиму (усі фільтри працюють, один у резерві) за формулою

$$v_n = \frac{Q + q}{f_1 \cdot (N-1)}, \quad (2.7)$$

де q – середньогодинна витрата води на власні потреби, $\text{м}^3/\text{год}$.

Швидкість фільтрування у разі форсованого режиму (один фільтр перебуває на промиванні та один фільтр – у резерві) визначають із рівняння:

$$v_{\phi} = \frac{Q + q}{f_1 \cdot (N - 2)}, \quad (2.8)$$

де 2 – число відключених фільтрів.

Порівнюють розрахункові швидкості фільтрування із допустимими, зазначеними у таблиці А.2 (дод. А).

Якщо отримане значення v_n або v_{ϕ} перевищує швидкість фільтрування за відповідного режиму, припустиму в таблиці А.2 (дод. А), необхідно збільшити діаметр фільтра або кількість установлених фільтрів.

Мінімальна кількість робочих фільтрів повинна бути 2.

Розрахунок безнапірних швидких кварцових фільтрів

Згідно з [1, п.10.12.4] сумарна площа фільтрів, м²

$$F_{\phi} = \frac{Q_{кор}}{T \cdot v_n - n_{пр} \cdot q_{нит} - n_{пр} \cdot \tau_{пр} \cdot v_n}, \quad (2.9)$$

де $Q_{кор}$ – корисна продуктивність станції, м³/добу;

T – тривалість роботи станції протягом доби, $T = 24$ год;

$n_{пр}$ – кількість промивок одного фільтра при нормальному режимі, $n_n = 3$;

v_n – швидкість фільтрування при нормальному режимі, м/с (дод. А, табл. А.3);

$\tau_{пр}$ – час простою фільтра у зв'язку з промивкою, при промиванні фільтра водою $\tau_{пр} = 0,33$ год, водою та повітрям – 0,5 год;

$q_{нит}$ – питома витрата води на одну промивку одного фільтра на одиницю площі, м³/м² за час t_1 , визначається з урахуванням вимог [1, п.10.12.15],

$$q_{нит} = 3,6 \cdot \omega \cdot t_1 \quad (2.10)$$

де ω – інтенсивність промивки, дм³/(с·м²) приймається за додатком А (табл. А.4) або [1, табл. 23];

t_1 – тривалість промивання, год. Приймається за додатком А (табл. А.5) або [1, табл. 23].

Згідно з [1, п.10.12.5] кількість фільтрів на станції продуктивністю більше 1 600 м³/добу повинна бути не менше 4, а їх загальна кількість фільтрів, шт., визначається за формулою

$$N_{\phi} = 0,5 \cdot \sqrt{F_{\phi}}. \quad (2.11)$$

Приймаємо конструкцію швидкого фільтра та визначаємо дійсну швидкість фільтрування при нормальному режимі, м/с:

$$v_n = \frac{Q_{кор}}{24 \cdot F_p^1 \cdot N_\phi} \quad (2.12)$$

Визначаємо швидкість фільтрування при форсованому режимі:

$$v_\phi = \frac{v_n \cdot N_\phi}{N_\phi - N_1}, \quad (2.13)$$

де N_1 – кількість фільтрів, яка знаходиться в ремонті, шт. Згідно з [1, п.10.12.1] при кількості фільтрів до 20 шт. $N_1 = 1$ шт., а при більшій – $N_1 = 2$ шт.

Швидкість фільтрування води у форсованому режимі, визначена за формулою, не має перевищувати табличного значення (дод. А).

Площа одного фільтра, m^2 , не має перевищувати 100–120 m^2 і визначається так:

$$F_1 = \frac{F_\phi}{N}. \quad (2.14)$$

При площі одного фільтра до 40 m^2 , він проектується з боковим каналом, при більшій – з центральним.

Розміри фільтра в плані, в осях приймаються кратними 0,5 м.

Тоді площа фільтрування швидкого фільтра, m^2 становитиме

$$F_1' = (A - t) \cdot (B - t) \geq F_1, \quad (2.15)$$

де $t = 0,2$ м – товщина стінки корпусу швидкого фільтра.

Кількість промивної води на один фільтр, л/с,

$$q_{пр} = F_1' \cdot \omega. \quad (2.16)$$

За [1, п.10.12.12] діаметр колектору розподільної системи визначають, виходячи зі швидкості руху води на його початку, $V_{кол} = 0,8–1,2$ м/с.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3

Вибір методу пом'якшення води та складу споруд

Для задоволення різноманітних вимог до якості води, споживаної при виробленні електричної і теплової енергії, виникає необхідність її спеціальної фізико-хімічної обробки.

Пом'якшення води може бути здійснено такими основними методами:

- реагентним;
- катіонітовим;
- термічним.

Доцільним також є комбінування цих способів: зокрема, частина солей жорсткості видаляється реагентним способом, а частина солей, що залишається, – катіонуванням, або застосовується реагентний спосіб у комбінації з термічним способом пом'якшення води.

Умови найефективнішого застосування різних способів пом'якшення води з короткою характеристикою процесів, що відбуваються, наведено у таблиці 3.1.

Можна поєднувати термічний спосіб пом'якшення води з реагентним, оскільки з підвищенням температури знижується залишкова жорсткість води, пом'якшеної вапняно-содовим методом при надлишку реагентів (0,5 мг-екв/дм³ вапна і 1–1,5 мг-екв/дм³ соди).

Методи обробки води й можливість використання її в системах оборотного водопостачання залежать, насамперед, від вимог, які ставляться до якості води, використовуваної в цих системах.

При проектуванні споруд для пом'якшення води мають бути вирішені такі завдання:

1. Вибір методу пом'якшення та складу споруд.
2. Розрахунок споруд з пом'якшення.
3. Розрахунок реагентного господарства.

Вибір методу пом'якшення залежить від якості вихідної води й вимог споживача, продуктивності споруд та інших місцевих умов.

Для часткового усунення карбонатної жорсткості застосовують пом'якшення води вапнуванням. Одночасно з вапнуванням води здійснюють коагулювання з використанням здебільшого залізного купоросу $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Дозу вапна, у мг/л, визначають для двох розрахункових випадків залежно від співвідношення концентрації у воді іонів Ca^{2+} і карбонатної жорсткості (табл. 3.4).

Дозу коагулянту, мг/л, визначають за формулою

$$D_k = 3\sqrt[3]{C}, \quad (3.9)$$

де C – кількість завислих речовин, що утворюються при реагентному пом'якшенні води (у перерахунку на суху речовину), мг/л;

$$C = M_{\text{вих}} + 50 \left(\frac{(\text{CO}_2)}{22} + 2J_k \right) + 29 \frac{(\text{Mg}^{2+})}{12} + D_e \left(\frac{100 - m}{100} \right), \quad (3.10)$$

де $M_{\text{вих}}$ – вміст завислих речовин у вихідній воді, мг/л;

m – вміст CaO у технічному вапні, %.

Дозу коагулянту приймають 25–35 мг/л з подальшим уточненням у процесі експлуатації.

Для зниження некарбонатної жорсткості поряд з карбонатною застосовують вапняно-содовий метод пом'якшення води. Дози вапна й соди, мг/л, у цьому випадку визначають за співвідношеннями, наведеними в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Дози реагентів

Метод	Реагент	Доза, мг/л	Умови застосування
Вапнування	Вапно	$D_B = 28\left(\frac{CO_2}{22} + J_k + \frac{D_k}{e_k} + 0,3\right)$	$\frac{Ca^{2+}}{20} > J_k$
		$D_B = 28\left(\frac{CO_2}{22} + 2J_k - \frac{Ca^{2+}}{20} + \frac{D_k}{e_k} + 0,5\right)$	$\frac{Ca^{2+}}{20} < J_k$
Вапняно-содовий	Вапно, сода	$D_B = 28\left(\frac{CO_2}{22} + J_k + \frac{Mg^{2+}}{12} + \frac{D_k}{e_k} + 0,5\right)$ $D_C = 53\left(J_{нк} + \frac{D_k}{e_k} + 1\right)$	

У таблиці 3.4 прийняті такі позначення:

$J_k, J_{нк}$ – карбонатна й некарбонатна жорсткість води, мг-екв/л;

$(CO_2), (Ca^{2+}), (Mg^{2+})$ – концентрації у воді вільної вуглекислоти, іонів кальцію і магнію, мг/л;

D_k – доза коагулянту, мг/л;

e_k – еквівалентна маса активної речовини коагулянту, г/г-екв (для $FeCl_3$ – 54, для $FeSO_4$ – 67);

0,5 – надлишок вапна, мг/л.

Член $\frac{D_k}{e_k}$ приймається зі знаком (+), якщо коагулянт вводять разом з вапном або після нього, і зі знаком (–), якщо коагулянт вводять раніше за вапно.

Об'єм бака для приготування вапняного молока визначають за формулою:

$$W = \frac{q \cdot n \cdot D_B}{10000 \cdot b_B \cdot \gamma_B}, \quad (3.11)$$

де q – витрата води, м³/год;

n – час, на який готується вапняне молоко;

b_B – концентрація вапняного молока (не більше 5 %);

γ_B – об’ємна вага вапняного молока (1 т/м³).

Розрахунок споруд для пом’якшення води реагентним методом

До складу установки для реагентного пом’якшення води входять: склади реагентів; пристрої та апарати для приготування й дозування розчинів реагентів; змішувачі; освітлювачі із завислим шаром осаду або вихрові реактори; фільтри; резервуари пом’якшеної води, насосна станція та інші допоміжні елементи, а також установки для стабілізаційної обробки води.

Кількість води, що підлягає пом’якшенню, % від загальної кількості води, визначають за формулою

$$q_{зм} = \frac{100(\mathcal{J}_{заг}^{вих} - \mathcal{J}_{заг})}{(\mathcal{J}_{заг}^{вих} - \mathcal{J}_{зм})}, \quad (3.12)$$

де $\mathcal{J}_{заг}^{вих}$ – загальна жорсткість вихідної води, мг-екв/л;

$\mathcal{J}_{заг}$ – загальна жорсткість води, що подається в мережу, мг-екв/л;

$\mathcal{J}_{зм}$ – жорсткість пом’якшеної води, мг-екв/л.

Таблиця 3.5 – Сфера застосування реагентних технологій

Технологічна схема	Сфера застосування
Реагентне господарство – вихровий реактор – фільтр	$M_o = 8-12$ мг/л $Mg^{2+} < 15$ мг/л
Реагентне господарство – вихровий реактор – прояснювач – фільтр	$M_o = 8-12$ мг/л $Mg^{2+} > 15$ мг/л

За умови, що $\frac{Ca^{2+}}{20} > \mathcal{J}_k$, вміст магнію у вихідній воді не більше за 15 мг/л і перманганатна окисність не більше 10 мг О₂/л, для пом’якшення води застосовують вихрові реактори. Остаточне освітлення води після вихрових реакторів здійснюють на фільтрах.

За умови, що $\frac{Ca^{2+}}{20} < \mathcal{J}_k$, вапнування води здійснюють в освітлювачах з подальшим доосвітленням на фільтрах.

Порядок розрахунку установки реагентного пом’якшення води:

1. За вихідними даними й вимогами споживачів до пом’якшеної води обирають метод реагентного пом’якшення води: вапнування (декарбонізація) або вапняно-содове пом’якшення води.

2. Визначають дози вапна, соди, т/добу.

3. Визначають кількість реагентів (вапна, соди, хлорного заліза)

$$G_B = \frac{Q \cdot D_g}{P_g \cdot 10^6} \quad (3.14)$$

$$G_c = \frac{Q \cdot D_c}{P_c \cdot 10^6}; \quad (3.15)$$

$$G_{\text{коаг}} = \frac{Q \cdot D_k}{P_k \cdot 10^6}, \quad (3.16)$$

де P_B – вміст CaO у товарному продукті (50 – 75 %);

P_c – вміст Na₂CO₃ у товарному продукті (95 %);

P_k – вміст FeCl₃ у товарному продукті (98 %).

4. Здійснюють розрахунок складів реагентів і реагентного господарства.

5. Здійснюють розрахунок вихрового змішувача.

6. Виконують розрахунок прояснювача із завислим шаром осаду або вихрового реактора.

7. Розраховують швидкі фільтри.

Діаметри реактора в нижній і верхній частинах знаходять за відповідними площами поперечного перерізу, що визначаються за формулами

$$f_n = \frac{Q}{N \cdot V_n}, \text{ м}^2, \quad (3.17)$$

$$f_g = \frac{Q}{N \cdot V_g}, \text{ м}^2, \quad (3.18)$$

де Q – продуктивність станції, м³/с;

V_g і V_n – швидкості руху води в верхній і нижній частині реактора, приймається відповідно 0,8–1 м/с та 4–6 мм/с;

N – кількість реакторів.

За прийнятою величиною кута конусності визначають висоту реактора:

$$h_p = \frac{d_g - d_n}{2} \times \text{ctg} \frac{\alpha}{2}, \text{ м}. \quad (3.19)$$

Необхідний об'єм контактної маси для завантаження одного реактора:

$$G_{\text{конт}} = W \cdot \rho, \text{ кг}, \quad (3.20)$$

де ρ – щільність заповнення реактора, становить 10 кг/м³;

W – об'єм реактора, що визначається за формулою:

$$W = \frac{1}{3} h (d_g^2 + d_n^2 + d_g \cdot d_n), \text{ м}^3. \quad (3.21)$$

Витрата свіжої контактної маси, що додається під час обробки:

$$G = 0,045 \cdot (Z_{\text{ак}} - Z_{\text{кінц}}) \cdot Q. \quad (3.22)$$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 4

Катіонітове пом'якшення води

Одноступеневе Na-катіонування

Розрахунок Na-катіонітових фільтрів починають зазвичай з підбору діаметра фільтрів, що випускаються промисловістю, за швидкістю фільтрування.

Розрахункову сумарну площу фільтрування, m^2 визначають за формулою:

$$F' = \frac{Q \cdot \alpha}{\omega'_n}, \quad (4.1)$$

де Q – продуктивність фільтрів за освітленою водою, $m^3/год$;

α – коефіцієнт, що враховує витрату води на власні потреби механічних фільтрів, орієнтовно приймають рівним 1,1, потім уточнюють;

ω'_n – розрахункова швидкість фільтрування, $m/год$; приймається за таблицею 4.1 залежно від жорсткості вихідної води.

Таблиця 4.1 – Розрахункова швидкість фільтрування

Жорсткість вихідної води, Ж _{заг} , мг-екв/л	1	2,5	5	7,5	10	15
Розрахункова швидкість фільтрування, ω'_n , м/год	24	22,5	20	17,5	15	10

Площа фільтрування F_ϕ і діаметр d_ϕ кожного фільтра визначають шляхом підбору відповідної площі фільтрування та діаметру стандартних фільтрів, що випускаються заводами.

Визначають розрахункову площу одного фільтра за рівнянням

$$F_\phi' = \frac{F'}{a-1}, \quad (4.2)$$

де $(a - 1)$ – кількість працюючих фільтрів. Кількість фільтрів 1 ступеня приймають не менше трьох (два працюють і один резервний).

Вибирають стандартний фільтр, який має найближче значення площі фільтрування, і приймають фактичні значення діаметра фільтра d_ϕ і площі фільтрування F_ϕ . Площі фільтрування стандартних іонообмінних фільтрів залежно від діаметра наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Діаметри і площі фільтрування стандартних фільтрів

Діаметр фільтра d_ϕ , мм	700	1 000	1 500	2 000	2 600	3 000	3 400
Площа фільтрування, F_ϕ , m^2	0,39	0,76	1,72	3,1	5,2	6,95	9,1

Визначення кількості натрій-катіонітових фільтрів

I ступінь. Необхідний об'єм катіоніту фільтрів I ступеня визначають за формулою:

$$W_k = \frac{24 \cdot Q_{\text{кат.ф.І}} \cdot \mathcal{J}_0^{\text{вих}}}{n_p \cdot E_{\text{роб}}^{\text{кат}}}, \text{ м}^3, \quad (4.3)$$

де 24 – тривалість роботи установки упродовж доби, год;

$Q_{\text{кат.ф.І}}$ – витрата води, що надходить на натрій-катіонування, м³/год;
(продуктивність Na-катіонітових фільтрів з урахуванням витрат води на власні потреби установки (10 %), м³/год;

$\mathcal{J}_0^{\text{вих}}$ – загальна жорсткість вихідної води, г-екв/м³;

$E_{\text{роб}}^{\text{кат}}$ – робоча обмінна ємкість катіоніту, г-екв/м³;

n_p – кількість регенерацій кожного фільтра за добу, приймають від 1 до 3.

Робоча обмінна ємкість катіоніта, г-екв/м³, визначається за формулою:

$$E_{\text{роб}}^{\text{Na}} = \alpha_{\text{Na}} \cdot \beta_{\text{Na}} \cdot E_{\text{повн}} - 0,5 \cdot q_{\text{пит}} \cdot \mathcal{J}_{\text{заг.}}, \quad (4.4)$$

де $\mathcal{J}_{\text{заг.}}$ – загальна жорсткість вихідної води, г-екв/м³;

α_{Na} – коефіцієнт ефективності регенерації, що враховує неповноту регенерації катіонітів, приймають залежно від питомої витрати солі (NaCl) на регенерацію катіоніту (табл. 4.3); своєю чергою значення q_c залежно від вихідної жорсткості води, визначають за таблицею 4.4.

β_{Na} – коефіцієнт, що враховує зниження обмінної ємкості катіоніту за Ca^{2+} і Mg^{2+} унаслідок часткового затримування катіонів Na^+ і залежить від концентрації натрію у вихідній воді $C_{\text{Na}} = (\text{Na}^+)/23$ г-екв/м³ (табл. 4.5);

$E_{\text{повн}}$ – повна обмінна ємкість катіоніту, г-екв/м³, приймається залежно від заданої марки катіоніту. Визначається за паспортними даними, а за їх відсутності для сульфовугілля крупністю 0,5–1,1 мм приймають 500–550 г-екв/м³, для катіоніту КУ-2 крупністю 0,8–1,2 мм приймають 1500–1700 г-екв/м³;

$q_{\text{пит}}$ – питома витрата води на відмивання катіоніту, м³/м³ катіоніту, приймають для сульфовугілля – 4 і для КУ-2 – 6.

Коефіцієнти α_{Na} і β_{Na} приймають за таблицями 4.3. і 4.4 залежно від питомої витрати солі на регенерацію катіоніту, г/г-екв та співвідношення концентрації натрію і загальної жорсткості у вихідній воді.

Таблиця 4.3 – Коефіцієнт α_{Na}

Питома витрата солі на регенерацію катіоніту, г/г-екв	100	150	200	250	300	400
Коефіцієнт α_{Na}	0,62	0,74	0,81	0,86	0,9	0,91

Таблиця 4.4 – Питома витрата NaCl на регенерацію катіоніту

Жорсткість вихідної води Жзаг, мг-екв/л	1	2,5	5	7,5	10	15
Питома витрата NaCl на регенерацію катіоніту qс, г/г-екв	120	120	120	150	187,5	225

Таблиця 4.5 – Коефіцієнт β_{Na}

$C_{Na^2}/Ж_0^{вих}$	0,01	0,03	0,05	0,1	0,5	1	3	5	10
Коефіцієнт β_{Na}	0,93	0,9	0,88	0,83	0,7	0,65	0,57	0,54	0,5

C_{Na} – концентрація іонів Na^+ у вихідній воді, мг-екв/л. Для перерахування концентрацій іонів із мг/дм³ у мг-екв/дм³ концентрацію треба розділити на еквівалентну масу цієї речовини: $\frac{Na^+}{23}$.

Загальна площа фільтрів I ступеня:

$$F_{кат.ф.1} = \frac{W_{\kappa}}{H_{\kappa}}, \text{ м}^2, \quad (4.5)$$

де H_{κ} – висота шару катіоніту, попередньо можна прийняти 2 м або 2,5 м (більшу висоту завантаження приймають при жорсткості більше 10 г-екв/м³).

Висоту шару катіоніту у фільтрі $H_{ш}$ визначають за формулою:

$$H_{ш} = \frac{24 \cdot Ж_{заг} \cdot Q}{(a-1) \cdot F_{\phi} \cdot n \cdot E_{роб}^{Na}}, \text{ м} \quad (4.6)$$

де n – кількість регенерацій кожного фільтра на добу;

$Ж_{заг}$ – загальна жорсткість води, що надходить на Na-катіонітові фільтри, мг-екв/л;

$E_{роб}^{Na}$ – робоча обмінна ємність катіоніту під час Na-катіонування, мг-екв/м³.

Розрахована висота шару катіоніту повинна дорівнювати $H_{ш} = 1,5-2,5$ м. В іншому випадку змінюють число фільтрів, діаметр фільтрів або кількість регенерацій фільтра на добу і розрахунки повторюють знову.

Далі за необхідною площею підбирають потрібну кількість і розміри стандартних фільтрів, які випускаються промисловістю, так, щоб сумарна площа фільтрування дорівнювала або перевищувала необхідну (табл. 4.2).

Тривалість фільтроциклу:

$$\tau = \frac{E_{роб}^{Na} \cdot f_{\phi} \cdot H_{к}}{Q \cdot Ж_{заг}}, \text{ год.} \quad (4.7)$$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 5

Дегазація води, підбір та розрахунок дегазаторів, декарбонізаторів

Видалення з води вільної вуглекислоти

Найбільшого поширення отримали плівкові дегазатори з насадкою з кілець Рашига і хордовою дерев'яною насадкою (при $Q < 150$ м³/год і $CO_2 < 150$ мг/л).

Розрахунок дегазатора полягає у визначенні геометричних розмірів поверхні насадки і необхідного напору, що розвиває вентилятор.

Вміст вільної вуглекислоти $(CO_2)_{вільн.}$, г/м³, у воді, що подається у декарбонізатор після Na-катіонування і підкислення (або після H-катіонування) води, визначають за формулою:

$$(CO_2)_{поч.} = (CO_2)_{вих.} + 44 \cdot L_{вих.}, \quad (5.1)$$

де $(CO_2)_{вих.}$ – вміст вільної вуглекислоти у вихідній воді, г/м³;

$L_{вих.}$ – лужність вихідної води, мг-екв/л (г-екв/м³).

Вміст CO_2 у вихідній воді визначають за номограмою (рис. Б.1 дод. Б). Номограма складена для води із сухим залишком 200 мг/л за температури 10 °С і 20 °С. У разі інших значень сухого залишку вводиться поправний коефіцієнт:

$$C_{CO_2}^{вих.в} = C_{CO_2}^н \cdot \alpha, \text{ мг/л,} \quad (5.2)$$

де α – поправний коефіцієнт, відповідний сухому залишку вихідної води.

Таблиця 5.1 – Значення поправного коефіцієнта α

Сухий залишок, мг/л	100	200	300	400	500	750	1 000
Поправний коефіцієнт α	1,05	1,0	0,96	0,94	0,92	0,87	0,83

Потрібну площу поверхні насадки, m^2 , при якій забезпечується заданий ефект видалення вільної вуглекислоти, визначають із рівняння

$$F_n = \frac{G}{K_D \cdot \Delta C_{сер}}, \quad (5.3)$$

де G – кількість CO_2 , що видаляється у декарбонізаторі, визначають за рівнянням:

$$G = \frac{Q \cdot (C_{CO_2}^{ноч} - C_{CO_2}^{кін})}{1000}, \text{ кг/ГОД}, \quad (5.4)$$

де Q – продуктивність декарбонізатора, $m^3/\text{ГОД}$;

$CO_2^{кін}$ – концентрація CO_2 в декарбонізованій воді, приймають $0,005 \text{ кг}/m^3$ ($5 \text{ мг}/л$);

K_D – коефіцієнт десорбції карбону(IV) оксиду, $m/\text{ГОД}$, для декарбонізаторів, завантажених кільцями Рашига розміром $25 \times 25 \times 3 \text{ мм}$, за щільності зрошення $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ГОД})$, визначають залежно від температури декарбонізованої води за графіком, що наведений на рисунку Б.2 (дод. Б);

$\Delta C_{сер}$ – середня рушійна сила десорбції, $\text{кг}/m^3$, визначають за рисунком Б.3 (дод. Б) залежно від вмісту розчиненого карбону (IV) оксиду до та після декарбонізатора.

Площу поперечного перерізу дегазатора визначають за щільністю зрошення насадки, тобто за витратою води, що припадає на одиницю площі поперечного перерізу.

$$f = \frac{Q_{зод}}{P_o}, \text{ м}^2, \quad (5.5)$$

де $Q_{зод}$ – продуктивність установки, $m^3/\text{ГОД}$.

P_o – щільність зрошення насадки, $m^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ГОД})$, на одиницю площі поперечного перерізу декарбонізатора. Для насадок Рашига $P_o = 60 \text{ м}^3/\text{ГОД}$, для дерев'яної хордової насадки $P_o = 40 \text{ м}^3/\text{ГОД}$.

Діаметр дегазатора визначають за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4f}{\pi}}. \quad (5.6)$$

Висоту насадки декарбонізатора визначають за формулою:

$$h = \frac{V_{к.р.}}{f}, \text{ м}, \quad (5.7)$$

де $V_{к.р.}$ – об’єм, що займають кільця Рашига $25 \times 25 \times 3$ мм за безладного завантаження, визначають за рівнянням:

$$V_{к.р.} = \frac{F}{204}, \text{ м}^3, \quad (5.8)$$

де F – поверхня десорбції, м^2 ;

204 – поверхня 1 м^3 насадки за безладного завантаження, $\text{м}^2/\text{м}^3$.

Вентилятор декарбонізатора повинен забезпечувати подачу питомих витрат повітря $q_{\text{пит}} = 20\text{--}25 \text{ м}^3$ на 1 м^3 води, що подається у декарбонізатор, тобто

$$Q_{\text{нов}} = Q_{\text{зод}} \cdot q_{\text{пит}} \quad (5.9)$$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 6

Усереднення промислових стічних вод. Розрахунок усереднювачів

Визначення корисного обсягу усереднювача здійснюють за такими залежностями:

$$K_{av} = \frac{C_{\text{max}} - C_{\text{mid}}}{C_{\text{adm}} - C_{\text{mid}}}, \quad (6.1)$$

тут C_{max} – концентрація забруднень у залповому скиді;

C_{mid} – середня концентрація забруднень у стічних водах;

C_{adm} – концентрація, допустима за умовами роботи подальших споруд.

Значення C_{mid} , необхідне для визначення K_{av} , дорівнює:

$$C_{\text{mid}} = \frac{\sum_1^{t_{\text{cir}}} q_i \cdot t_i \cdot c_i}{q_w \cdot t_{\text{cir}}}, \quad (6.2)$$

де C_i – концентрації домішок, що спостерігаються при витратах q_i та тривалості циклів t_i .

У разі, якщо для розведення стоку та зниження середньої концентрації певної домішки передбачається подача до усереднювача деякої кількості малокоцентрованих стічних вод, тоді:

$$C_{\text{mid}} = \frac{\sum_1^{t_{\text{cir}}} (q_i \cdot t_i \cdot c_i + q_p \cdot t_p \cdot c_p)}{q_w \cdot t_{\text{cir}} + q_p \cdot t_p}, \quad (6.3)$$

де q_p – витрата малокоцентрованого стоку, $\text{м}^3/\text{год}$;

t_p – тривалість розведення, год;

C_p – концентрація домішок у розведеному стоці.

У разі незакономірних (випадкових) змін якості стічної води місткість усереднювача знаходять «кроковим» методом послідовного наближення.

1. Об'єм усереднювача при **циклічних коливаннях** W_{cir} , м³ тривалістю t_{cir} :

$$\text{при } K_{av} \text{ до } 5 \quad W_{cir} = 0,21q_w t_{cir} \sqrt{K_{av}^2 - 1}; \quad (6.4)$$

$$\text{при } K_{av} = 5 \text{ і більше} \quad W_{cir} = 1,3q_w t_{cir} K_{av}, \quad (6.5)$$

де t_{cir} – період циклу коливань, год;

K_{av} – коефіцієнт усереднення, визначений за формулою (1.1).

2. У випадку **залпового скиду** об'єм усереднювача витрати з перемішуванням стічної води W_z , м³ потрібно розраховувати за формулами:

якщо значення K_{av} дорівнює до 5 –

$$W_z = \frac{1,3q_w t_z}{\ln \frac{K_{av}}{K_{av} - 1}}; \quad (6.6)$$

$$\text{якщо } K_{av} = 5 \text{ і більше} - W_z = 1,3q_w t_z K_{av}, \quad (6.7)$$

де q_w – витрата стічних вод, м³/год;

t_z – тривалість залпового скиду, год.

Для багатоканальних усереднювачів об'єм W_{av} , м³ у разі залпових скидів висококонцентрованих стічних вод потрібно розраховувати за будь-яких значень коефіцієнта K_{av} за формулою

$$W_{av} = \frac{q_w t_z K_{av}}{2}, \quad (6.8)$$

3. У випадку **довільних коливань** об'єм усереднювача W_{es} , м³, необхідний для усереднення за вмістом забруднень, визначають покроковим розрахунком (методом послідовного наближення) за формулою:

$$W_{as} = \frac{q_w (C_{en} - C_{ex}) \cdot \Delta t_{st}}{\Delta C_{ex}}. \quad (6.9)$$

– приймається орієнтовний об'єм W_{es} , м³, що дорівнює сумарному притоку стічних вод у години з концентрацією забруднювача більше допустимої;

– визначається максимальний відрізок часу (шаг), через який будуть розраховуватися концентрації забруднювача на виході з усереднювача:

$$\Delta t_{st} = \frac{W_{es}}{5q_{max}}, \text{ год}, \quad (6.10)$$

де q_{\max} – максимальна витрата стічних вод за період з концентрацією забруднювача більше допустимої, м³/год (крок розрахунку Δt_{st} повинен бути не більше 1 год);

– визначається збільшення концентрації на виході усереднювача за поточний крок розрахунку ΔC_{ex} , г/м³, де q_w – витрата стічної води за поточний крок розрахунку, м³/год; C_{en}, C_{ex} – концентрація забруднювача на вході усереднювача за **поточний крок** розрахунку і виході усереднювача за **попередній крок** розрахунку, мг/л;

$$\Delta C_{ex} = \frac{q_w(C_{en} - C_{ex})\Delta t_{st}}{W_{es}}, \text{ мг/л.} \quad (6.11)$$

Результат обчислення ΔC_{ex} може бути як позитивним, так і негативним.

Розраховується концентрація забруднювача на виході за поточний крок розрахунку:

$$C_{ex}^i = C_{ex}^{i-1} + \Delta C_{ex}, \text{ мг/л,} \quad (6.12)$$

де C_{ex}^{i-1} – концентрація забруднювача на виході з усереднювача за попередній крок розрахунку, мг/л.

Розрахунок ведеться в табличній формі (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 – Форма розрахунку усереднювачів

Вихідні дані			Розрахункові концентрації забруднень, в усередненій воді, мг/л					
Години добы	Подача в усереднювач q_i , мг/л	Концентрація C_{en} , мг/л	1-ша доба		2-га доба		3-тя доба	
			ΔC_{ex}	C_{ex}	ΔC_{ex}	C_{ex}	ΔC_{ex}	C_{ex}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0–1								
1–2								
2–3								
3–4								
...								
23–34								

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 7

Очистка стічних вод методом відстоювання

Розрахунок відстійників з тонкошаровими модулями

У випадку доповнення горизонтальних відстійників тонкошаровими блоками (за необхідності підвищення їхньої ефективності або для збільшення продуктивності) розрахунковими параметрами є довжина пластин L_{bi} в модулі й відстань L_b , на якій встановлюються блоки у відстійнику. Величина B_{bl} чисельно дорівнює ширині секції відстійника.

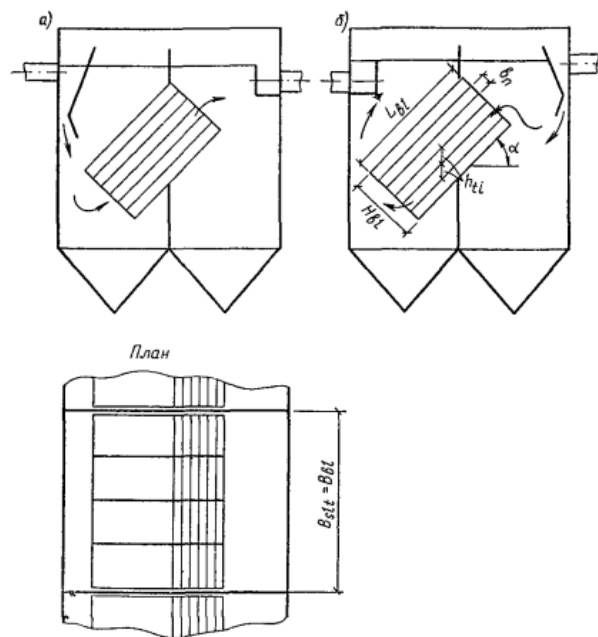


Рисунок 7.1 – Схема тонкошарового відстійника, що працює за протитечійною схемою видалення домішок:

а – важких домішок;

б – легких домішок (масел, нафтопродуктів)

У конструкції тонкошарового відстійника, що працює за протитечійною схемою (рис. 7.1, 7.2), розрахунковими параметрами є довжина пластин L_{bi} і продуктивність секції q_{set} .

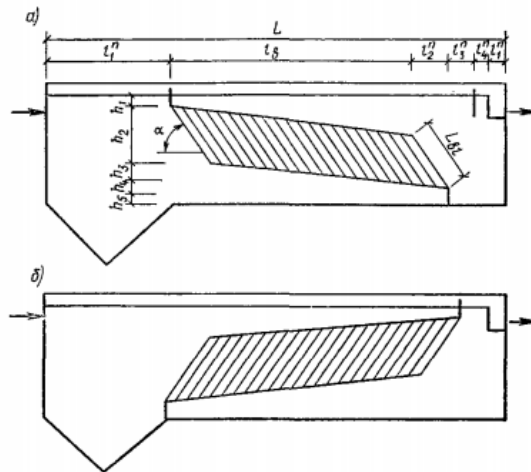


Рисунок 7.2 – Розрахункова схема відстійника, обладнаного тонкошаровими блоками, що працює за протитечійною схемою видалення домішок:
a – важких домішок; *б* – легких домішок (масел, нафтопродуктів)

Довжину пластини L_{bi} можна визначити за формулою

$$L_{bi} = \frac{v_w \cdot h_{ii}}{U_o}, \quad (7.1)$$

де v_w – швидкість потоку в ярусі;

h_{ii} – висота ярусу.

Зазначені параметри задаються за таблицею 7.1.

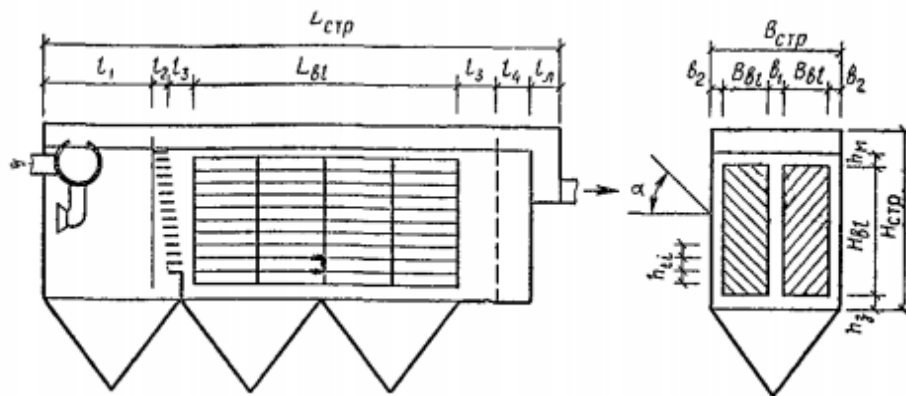


Рисунок 7.3 – Розрахункова схема тонкошарового відстійника, що працює за перехресною схемою

Ширина секції відстійника призначається з конструктивних міркувань і виходячи з розмірів пластин, що призначаються для виготовлення блоків (модулів). Усі розміри інших вузлів відстійника (ширина резервуара відстійника, його будівельна глибина тощо) призначаються з конструктивних міркувань.

Таблиця 7.1 – Основні розрахункові параметри відстійників

Відстійник	Коефіцієнт використання об'єму K_{set}	Робоча глибина частини H_{set} , м	Ширина B_{set} , м	Швидкість робочого потоку v_w , мм/с	Ухил днища до мулового приямку
Горизонтальний	0,5	1,5–4	$2H_{set}–5H_{set}$	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	–	–	–
З обертовим водорозподільним і водозбірним пристроєм	0,85	0,8–1,2	–	–	0,05
Відстійник з нисхідно–висхідним потоком	0,65	2,7–3,8	–	$2u_o – 3u_o$	–
З тонкошаровими блоками:					
Протитечійна (прямотечійна) схема роботи	0,5–0,7	0,025–0,2	2–6	–	–
Перехресна схема роботи	0,8	0,025–0,2	1,5	–	0,005

Якщо проводиться розрахунок відстійника, що працює за перехресною схемою (рис. 7.3), розрахунковими величинами є довжина ярусу L_{bi} та продуктивність відстійника q_{set} . Довжина ярусу L_{bi} , м, визначається за формулою:

$$L_{bi} = \frac{v_w \cdot h_{ii}}{U_o} K_{dis}, \quad (7.2)$$

де K_{dis} , – коефіцієнт зносу видалених частинок (у разі плоских пластин $K_{dis} = 1,2$; для рифлених пластин $K_{dis} = 1$);

U_o – гідравлічна крупність затримуваних частинок, рекомендується визначати в шарі, що дорівнює висоті ярусу h_{ii} .

H_{bl} визначається за формулою:

$$H_{bl} = n_{ti} \cdot b_n, \quad (7.3)$$

де n_{ti} – кількість ярусів у блоці, що призначається з конструктивних міркувань;

b_n – визначається за формулою:

$$b_n = h_{ti} \cdot \cos \alpha, \quad (7.4)$$

Продуктивність однієї секції розраховується за формулою (7.5).

Продуктивність одного відстійника q_{set} , м³/год, визначають виходячи із заданих геометричних розмірів споруд та потрібного ефекту освітлення стічних вод за формулами:

– для горизонтальних відстійників:

$$q_{set} = 3,6K_{set} \cdot L_{set} \cdot B_{set} \cdot (U_0 - v_{tb}); \quad (7.5)$$

– для відстійників радіальних, вертикальних та відстійників зі збірно-розподільним устроєм, що обертається:

$$q_{set} = 2,8K_{set} (D_{set} - d_{en})(U_0 - v_{tb}); \quad (7.6)$$

– для відстійників із нисхідним і висхідним потоками:

$$q_{set} = 1,41K_{set} \cdot D_{set}^2 \cdot U_0; \quad (7.7)$$

– для відстійників із тонкошаровими блоками за перехресною схемою роботи:

$$q_{set} = \frac{7,2K_{set} \cdot H_{bl} \cdot L_{bl} \cdot U_0}{K_{dis} \cdot h_{ti}}; \quad (7.8)$$

– для відстійників із тонкошаровими блоками, що працюють за протитечійною схемою роботи:

$$q_{set} = 3,6K_{set} \cdot H_{bl} \cdot B_{bl} \cdot v_w, \quad (7.9)$$

де K_{set} – коефіцієнт використання об'єму, що приймається за таблицею 7.1;

L_{set} – довжина секції, м;

L_{bl} – довжина тонкошарового блоку (модуля), м;

B_{set} – ширина секції, м;

B_{bl} – ширина тонкошарового блоку, м;

D_{set} – діаметр відстійника, м;

d_{en} – діаметр впускного устрою, м;

U_0 – гідравлічна крупність затримуваних частинок, мм/с;

v_{tb} – турбулентна складова, мм/с, приймається за таблицею 7.2;

H_{bl} – висота тонкошарового блоку, м;

h_{ti} – висота ярусу тонкошарового блоку (модуля), м;

Величину турбулентної складової v_{tb} , мм/с, залежно від швидкості робочого потоку v_w , мм/с, потрібно визначати за таблицею 7.2.

Таблиця 7.2 – Турбулентна складова

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

Довжина пластин в блоці L_{bl} визначається так само, як і в попередньому випадку, за формулою (7.1).

Довжину розташування тонкошарових блоків L_b розраховують за формулою:

$$L_b = \frac{q_{set}}{3,6 \cdot K_{set} \cdot u_w \cdot B_{bi}}, \quad (7.10)$$

де q_{set} – витрата стічних вод на секцію, м³/год.

Будівельна ширина $B_{стр}$, м, відстійника визначається за формулою:

$$B_{стр} = 2B_{bl} + b_1 + 2b_2, \quad (7.11)$$

де $b_1 = 0,25$ м, $b_2 = 0,05$ – $0,1$ м.

Після визначення довжини ярусу відстійника l_{bl} , виходячи з можливих розмірів матеріалу, що застосовується для паралельних пластин, призначаються довжина пластини в ярусі та кількість блоків (модулів), розташовуваних по одній прямій.

Обов'язковою умовою, виконуваною при конструюванні відстійника, має бути щільне стикування відповідних пластин у поруч встановлюваних блоках (модулях).

Будівельна висота відстійника $H_{б\gamma\delta}$ м, визначається за формулою

$$H_{б\gamma\delta} = H_{bl} + h_3 + h_m + 0,3, \quad (7.12)$$

де h_3 – висота, необхідна для розташування рами, на якій встановлюються блоки ($h_3 = 0,2$ – $0,3$ м; $h_m = 0,1$ м).

Будівельна довжина тонкошарового відстійника $L_{б\gamma\delta}$ визначається за формулою:

$$L_{б\gamma\delta} = L_{bl} + l_1 + l_2 + 2l_3 + l_4. \quad (7.13)$$

Зона завдовжки l_1 призначена для видалення крупних домішок:

$$l_1 = \frac{q_{set}}{60H_{bl} \cdot B_{б\gamma\delta} \cdot K_{set}}, \quad (7.14)$$

де K_{set} – коефіцієнт використання зони, який приймається 0,3;

$l_2 = 0,2$ м; $l_3 = 0,2$ – $0,25$ м; $l_4 = 0,15$ – $0,2$ м.

У випадку доповнення існуючих радіальних відстійників тонкошаровими модулями (рис. 7.4), коли відомі геометричні розміри відстійника і його продуктивність, а необхідний ступінь очищення заданий гідравлічною крупністю частинок U_0 , які необхідно виділити, розрахунковими параметрами є довжина пластини в блоці L_{bl} , висота блоку H_{bl} і число ярусів у блоці n_{bl} . Величина L_{bl} , розраховується за формулою (7.1) при заданій висоті ярусу h_{bl} . Висота блоку H_{bl} розраховується за наступною залежністю:

$$H_{bl} = \frac{q_{set} \cdot h_{ii}}{3,6 K_{set} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot L_{bl} \cdot U_0}, \quad (7.17)$$

де K_{set} – коефіцієнт використання об'єму, визначається за таблицею 7.1, як для радіальних відстійників;

D_1 – діаметр розташування блоків.

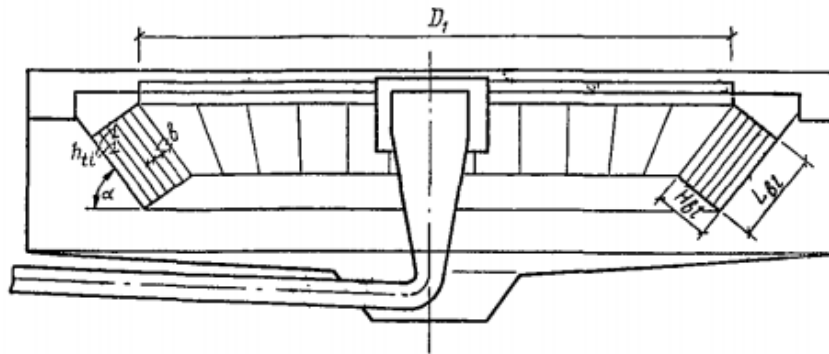


Рисунок 7.4 – Схема радіального відстійника, доповненого тонкошаровими блоками (модулями)

Потім визначається кількість ярусів у блоці (модулі):

$$n_{ii} = \frac{H_{bl}}{h_{ii} \cos \alpha}. \quad (7.18)$$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 8

Розрахунок відкритих гідроциклонів та флокуляторів

Відкриті гідроциклони доцільно застосовувати для освітлення порівняно невеликої кількості стічних вод (100–200 м³/год), які володіють значною концентрацією суспензії і високими флокуляційними властивостями.

Гідроциклони можуть бути застосовані як перший ступінь механічного очищення. Відкриті гідроциклони застосовують таких типів: без внутрішніх пристроїв, з діафрагмою, з діафрагмою та циліндричною перегородкою, багатоярусні.

Гідроциклони без внутрішніх пристроїв застосовують для очищення стічних вод витратою до 200 м³/год від великих домішок гідравлічною крупністю $U_0 \geq 5$ мм/с. Діаметр цих гідроциклонів приймається від 2 м до 10 м.

Гідроциклони з конічною діафрагмою застосовують для очищення стічних вод витратою до 200 м³/год від дрібнодисперсних завислих частинок гідравлічною крупністю $U_0 \geq 0,2-0,3$ мм/с. Діаметр гідроциклонів 2–6 м. Доповнення циліндричною перегородкою підвищує ефективність очищення стічних вод.

Багатоярусні низьконапірні гідроциклони можуть бути застосовані для очищення стічних вод від крупно- та дрібнодисперсних домішок гідравлічною крупністю $U_0 \geq 0,2$ мм/с при витраті води понад 200 м³/год на один апарат, для очищення від мінеральної коагульованої суспензії та нафтопродуктів.

Ефект очищення у відкритих гідроциклонах визначається в основному гідравлічним навантаженням, яке встановлюється залежно від характеристики стічних вод, ступеня очистки і геометричних розмірів гідроциклону.

Розрахунок всіх відкритих гідроциклонів ведеться за величиною питомого гідравлічного навантаження.

Питоме гідравлічне навантаження на відкритий гідроциклон q_{hc} , м³/м²·год, визначають за формулою

$$q_{hc} = 3,6 \cdot K_{hc} \cdot U_0, \quad (8.1)$$

де U_0 – гідравлічна крупність частинок, які необхідно видалити для забезпечення потрібного ефекту освітлення, мм/с;

K_{hc} – коефіцієнт пропорційності, що залежить від типу гідроциклону та дорівнює для гідроциклонів: без внутрішніх пристроїв – 0,61; з конічною діафрагмою та внутрішнім циліндром – 1,98.

Загальна площа дзеркала води в гідроциклонах F_{hc} , м²:

$$F_{hc} = \frac{Q_w}{q_{hc}}, \quad (8.2)$$

де Q_w – витрата стічних вод, м³/год.

Продуктивність одного гідроциклону Q_{hc} , м³/год:

$$Q_{hc} = 0,785 \cdot q_{hc} \cdot D_{hc}^2, \quad (8.3)$$

де D_{hc} – діаметр гідроциклону, м.

Кількість гідроциклонів N , шт.

$$N = \frac{Q_w}{Q_{hc}}, \quad (8.4)$$

де Q_w – витрата стічних вод, м³/год.

Висота циліндричної частини гідроциклону H_u , м

$$H_u = D_{hc} + 0,5. \quad (8.5)$$

Повна висота гідроциклону H_{hc} , м

$$H_{hc} = H_u + H_k = H_u + \frac{D_{hc}}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \quad (8.6)$$

де H_k – висота конічної частини гідроциклону, м;

$\alpha = 60^\circ$ – кут конічної частини.

Апарат працює як без коагуляції й флокуляції за допомогою реагентів, так і особливо ефективно за допомогою коагулянтів і флокулянтів.

Ефект роботи гідроциклону значно збільшується при використанні коагулянтів. Так, стосовно до стічних вод газоочисток мартенівських печей і конверторів для досягання необхідної ефективності очистки (150 мг/л у проясненій воді) навантаження без коагуляції становить 5–6 м³/м²·год, а з застосуванням коагулянтів – 10–12 м³/м²·год.

Розрахунок багатоярусного гідроциклону

1. Розраховується питоме гідравлічне навантаження, що доводиться на один ярус гідроциклону q_{hc} , м³/(м²·год) за формулою (8.1).

Коефіцієнт пропорційності K_{hc} визначається за формулою

$$K_{hc} = \frac{0,75 \cdot n_{ii} \cdot (D_{hc}^2 - d_{en}^2)}{D_{hc}^2}, \quad (8.7)$$

де n_{ii} – число ярусів приймається від 4 до 20;

D_{hc} – діаметр гідроциклону, що приймається від 2 м до 6 м;

d_{en} – діаметр кола, на якому розташовуються розтруби випусків 0,6–1,4 м.

Для багатоярусного гідроциклону з периферійним відбором освітленої води коефіцієнт пропорційності визначається за формулою

$$K_{hc} = \frac{1,5 \cdot n_{ii}^1 \cdot (D_{hc}^2 - d_d^2)}{D_{hc}^2}, \quad (8.8)$$

де n_{ii}^1 – число пар ярусів (за один ярус приймається прямоточна та протиточна частини) 4–20;

d_d – діаметр отвору середньої діафрагми пари ярусів від 0,9 м до 1,6 м.

2. Розраховується продуктивність одного апарату багатоярусного гідроциклону (витрата води, що може подаватися на один ярус), м³/год за формулою (8.3).

3. Кількість ярусів приймається не менше двох.

Розраховується кількість гідроциклонів за формулою (8.4).

Розрахунок флокуляторів конструкції ДП Укр НТЦ «Енергосталь»

Порядок розрахунку флокуляторів такий:

1. Визначають витрату води на один апарат, м³/год:

$$Q_1 = q_{\text{нм}} \cdot S_{\phi}, \quad (8.9)$$

де $q_{\text{нм}}$ – питоме гідравлічне навантаження на один апарат, м³/год;

S_{ϕ} – площа флокулятора, діаметр якого становить 12 м, дорівнює $S_{\phi} = 113 \text{ м}^2$.

2. Визначають кількість апаратів, шт.:

$$n = \frac{Q}{Q_1}, \quad (8.10)$$

де Q – загальна витрата стічних вод, що надходять на очищення, м³/год.

3. Об'єм камери флокуляції, м²:

$$W_{\kappa} = \frac{\pi}{4} (D_{\phi}^2 - D_{\kappa}^2) \cdot H, \quad (8.11)$$

де D_{ϕ} – діаметр флокулятора, м ($D_{\phi} = 12 \text{ м}$);

D_{κ} – діаметр камери, м ($D_{\kappa} = 10,6 \text{ м}$);

H – висота флокулятора, м ($H = 10 \text{ м}$).

4. Об'єм зони відстоювання, м³:

$$W_{\text{відст}} = \frac{\pi \cdot D_{\kappa}^2}{4} \cdot H. \quad (8.12)$$

Для підведення води в апарат передбачаються 8–12 патрубків, які розташовані тангенціально у два–три яруси.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 9

Фільтрування стічних вод. Розрахунок фільтрів

Розрахунок швидких фільтрів полягає у визначенні їхньої кількості при заданих технологічних параметрах. Для напірних приймаються типові проекти фільтрів, для безнапірних кількість фільтрів визначається з умови, що площа одного фільтра становить 40–60 м².

Розрахункові параметри безнапірних фільтрів:

1. Швидкість фільтрації $v_{\phi} = 5-7$ м/год.
2. Тривалість фільтроциклу $\tau_{\phi} = 8-24$ год.
3. Регенерація фільтра:
 - продувка повітрям $\tau_{в} = 10$ хв; $i_{в} = 20$ л/(с·м²);
 - промивка водою $\tau_{пр} = 15$ хв; $i_{пр} = 5$ л/(с·м²).
4. Кількість фільтрів розраховують за формулою:

$$N_{\phi} = \frac{Q}{F}, \quad (9.1)$$

де Q – витрата води, м³/добу;

F – площа одного фільтра, м².

Розрахункові параметри напірних фільтрів:

1. Швидкість фільтрації $v_{\phi} = 5-12$ м/год.
2. Тривалість фільтроциклу $\tau_{\phiц} = 12-48$ м/год.
3. Регенерація фільтра:
 - продувка повітрям $\tau_{в} = 10$ хв; $i_{в} = 20$ л/(с·м²);
 - промивка водою $\tau_{пр} = 10-20$ хв; $i_{пр} = 10-16$ л/(с·м²).

Сумарна площа фільтрів, м²

$$F = \frac{Q_{\max.ч} + Q_{ц}}{24 \cdot v_{\phi} - n \cdot v_{\phi}}, \quad (9.2)$$

де n – число промивок;

τ – тривалість простою одного фільтра під час промивки фільтру ($\tau = 5$ хв).

Безнапірні фільтри зазвичай проектується з напрямом фільтрування знизу догори. Завантаження – кварцовий пісок.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 10

Очистка фізико-хімічними та хімічними методами

Об'єм флотаційної камери:

$$W_{к.ф} = Q \cdot t, \quad (10.1)$$

де Q – витрата стічних вод, м³/год;

t – тривалість флотації, год. Камера флотації зазвичай розраховується на 20 хв тривалість перебування в ній рідини.

Розрахунок установок напірної флотації

При розрахунку напірного флотатора необхідні такі вихідні дані: витрата стічних вод (Q_ϕ), час перебування у флотаторі (t_0), висота флотатора (H_0), час робочого стану флотатора (t_p).

Діаметр флотаційної камери D_k :

$$D_k = 0,6 \sqrt{\frac{Q_\phi}{v}}, \quad (10.2)$$

де v – швидкість висхідного потоку, дорівнює 6 мм/с;

Q_ϕ – витрата стічних вод, що надходять у флотатор, м³/год.

Діаметр флотатора:

$$D_\phi = \sqrt{\frac{4Q_\phi \cdot t_0}{\pi \cdot H_0}}, \quad (10.3)$$

де t_0 – час перебування у флотаторі, хв;

H_0 – висота флотатора, м.

Витрата стічних вод, що надходять на очистку, м³/добу:

$$Q = Q_\phi \cdot t_p, \quad (10.4)$$

де t_p – час робочого стану одного флотатора, год/добу, дорівнює тривалості робочої зміни – 8 год.

Об'єм флотокамери, м³:

$$W = Q \cdot t_0. \quad (10.5)$$

Площа поперечного перетину флотокамери, м²

$$F_2 = \frac{Q}{v}. \quad (10.6)$$

Робоча глибина рідини, м

$$h_2 = \frac{W}{F_2}. \quad (10.7)$$

Розрахунок імпелерної флотаційної установки

Витрата стічних вод Q , м³/год, тривалість флотації t , год, розміри флотатора (корисна місткість, м³, корисна глибина, $h_{\phi л}$, вважаються заданими).

У таблиці 10.1 наведено рекомендований порядок розрахунку.

Таблиця 10.1 – Порядок розрахунку імпелерних флотаторів

Величина та розмірність	Формула або значення
1 Продуктивність одного флотатора, м ³ /год	$q_{фл} = W_{ф.к.} \frac{1-\alpha}{t}$
1.1 Корисна місткість флотаційної камери, м ³	$W_{ф.к.}$ – за паспортом флотатора
1.2 Коефіцієнт аерації (частка повітря у водоповітряній суміші)	$\alpha = 0,30 - 0,35$ (приймається)
1.3 Тривалість флотації, год.	$t = 0,20 - 0,30$ год
2 Статичний напір, що створюється мішалкою, м	$H_{ст} = h_{фл}$ $h_{фл}$ – за паспортом флотатора
3 Глибина води при заповненні флотаційної камери (максимальна), м	$h_{max} = \frac{H_{ст}}{\gamma_{см}}$
3.1 Питома вага водоповітряної суміші, кг/дц ²	$\gamma_{см} = \gamma_e (1 - \alpha)$ $\gamma_e = 1,0$ – питома вага води
4 Швидкість обертання мішалки, м/с	$U = \sqrt{\frac{H_{ст} \cdot 2g}{\varphi}}$
4.1 Коефіцієнт напору	$\varphi = 0,20 - 0,30$, (приймається)
5 Потужність двигуна, кВт	$N = \frac{\gamma_{см} q_{фл} H_{ст}}{3,6 \cdot 102 \eta}$
5.1 КПД мішалки	$\eta = 0,2 - 0,3$, (приймається)
6 Кількість флотаторів, шт.	$n = \frac{Q_{расч}}{q_{фл}}$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 11

Очистка промислових стічних вод методами електрокоагуляції та електрофлотокоагуляції

Розрахунок установок електрокоагуляції

При проектуванні електрокоагуляційних установок необхідно враховувати наступні рекомендації:

- рН вихідної рідини має перебувати в межах 3–6;

- товщина електродів – 6–10 мм;
- відстань між електродами – 10–30 мм;
- як матеріал електродів потрібно вибирати листи низькосортної сталі або алюмінію;
- тривалість обробки вибирається залежно від виду оброблюваної рідини й не повинна перевищувати 10–15 хв;
- кількість робочих ванн визначається розрахунком і приймається не менш двох. При загальній кількості електрокоагуляторів 3 приймається один резервний апарат; у випадку більше 3-х робочих приймається 2 резервних апарати;
- величина анодної щільності струму – у межах 50–200 А/м²;
- швидкість руху рідини через електродний простір для запобігання його від засмічення має підтримуватися 0,03 м/с;

Розрахунок електрокоагуляційних установок зводиться до визначення їхніх розмірів та електротехнічних параметрів:

1. Об'єм електролізера, м³,

$$V_{эл} = \frac{q \cdot \tau}{n}, \quad (11.1)$$

де q – витрата стічних вод, м³/с;

τ – тривалість обробки, с;

n – кількість електролізерів.

2. Питомі витрати електроенергії, кВт·год/м³,

$$W_{нум} = \frac{I \cdot U \cdot \tau}{1000 \cdot Q}, \quad (11.2)$$

де I – величина струму, А;

U – напруга в електролізері, В;

τ – тривалість обробки, год;

Q – витрата стічної рідини, м³/год.

3. Сила струму, А,

$$I = \frac{D \cdot Q \cdot F}{\eta \cdot M_{эк}}, \quad (11.3)$$

де D – доза металу, г/м³ (визначається експериментально або за довідковою літературою);

F – число Фарадея, 26,8 А·год;

Q – витрата стічних вод, м³/год;

η – вихід по струму, визначається експериментально (орієнтовно за довідковою літературою);

$M_{\text{эк}}$ – еквівалентна маса використовуваного електрода, г/моль.

4. Площа анодних пластин в одному електролізері, м²,

$$S_a = \frac{I}{2 \cdot 100 \cdot n \cdot i_a}, \quad (11.4)$$

де i_a – анодна щільність струму, А/мм²;

2 – коефіцієнт, що враховує роботу обох сторін анода.

5. Загальна кількість електродних пластин:

$$n_{\text{пл}} = \frac{e - 2 \cdot e_2}{\delta + e_1}, \quad (11.5)$$

де e – ширина електролізера, м (приймається з конструктивних міркувань);

e_1 – відстань між пластинами, м;

e_2 – відстань між крайніми пластинами та стінками електролізера, м;

δ – товщина електродів, м.

6. Довжина електролізера, м:

$$l = l_{\text{пл}} + 2e_1. \quad (11.6)$$

7. Висота пластини, м:

$$h_{\text{пл}} = \frac{S_a}{n_a \cdot l_{\text{пл}}}, \quad (11.7)$$

де n_a – число анодних пластин, дорівнює $n_{\text{пл}}/2$.

8. Висота електрокоагулятора, м:

$$h = h_{\text{пл}} + h_n + h_{\text{стп}}, \quad (11.8)$$

де h_n – висота нейтрального шару, дорівнює 0,3 м;

$h_{\text{стп}}$ – висота будівельного борта, дорівнює $\sim 0,2$ м.

9. Фактична тривалість перебування рідини в робочій камері електролізера, год:

$$\tau_{\phi} = \frac{V'}{q'_p}, \quad (11.9)$$

де q'_p – розрахункова витрата одного електролізера, м³/с;

V' – робочий об'єм одного електролізера з урахуванням обсягу, займаного електродами, м³;

$$V' = V - n_{\text{пл}} h_{\text{пл}} \cdot \delta. \quad (11.10)$$

10. Швидкість руху води між електродними пластинами, м/с:

$$v = \frac{q'_p}{W}, \quad (11.11)$$

де W – робочий перетин електролізера, м;

$$W = \epsilon \cdot l - l_{nl} \cdot \delta n_{nl}. \quad (11.12)$$

Розрахунок установок електрофлотації

1. Діаметр камери флотації, м:

$$D_k = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_\phi}{\pi \cdot \nu_k}}, \quad (11.13)$$

де Q_ϕ – витрата стічних вод на один флотатор, м³/год.

2. Діаметр електрофлотатора, м:

$$D_\phi = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_\phi}{\pi \cdot \nu_\phi} + D_k^2}. \quad (11.14)$$

3. Кількість зблокованих електродів, установлюваних у камері флотації:

$$N_s = \frac{D_k}{d}, \quad (11.15)$$

де d – відстань між електродами в осях, що дорівнює 1,5 см.

4. Величина струму, А:

$$I = i \cdot S_a, \quad (11.16)$$

де S_a – площа анодних пластин.

5. Питомі витрати електроенергії, кВт·год/м³

$$W_{num} = \frac{I \cdot U \cdot \tau}{V_k}. \quad (11.17)$$

6. Загальні витрати електроенергії на обробку рідини, кВт·год:

$$W = W_{num} \cdot Q.$$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 12

Стабілізація іонного складу оборотної води у зворотних та повністю замкнених системах водопостачання

Втрати води в оборотних системах. Стабілізація мінерального складу оборотної води

У відкритих системах оборотного водопостачання відбуваються втрати води за рахунок випаровування частини її в охолоджувачі (Р₁) та через краплинне винесення вітром (Р₂). У результаті випаровування втрачається в середньому 0,15 % охолоджувальної води при зниженні її температури на 1°, виноситься повітрям в градирнях 0,2–0,3 % охолоджувальної води.

Втрати води на випаровування при охолодженні, якщо циркулююча вода використовується як теплоносій (для відведення тепла). Точну величину цієї

втрати можна визначити з теплового розрахунку охолоджувача, а за відсутності розрахунку – з достатнім наближенням за формулою, м³/год:

$$Q_1 = K_{\text{вип}} \cdot \Delta t \cdot Q_0, \quad (12.1)$$

де Δt – перепад температур води, який визначається як різниця температур відпрацьованої води t_2 , що надходить на охолоджувач (ставок, бризкальний басейн або градирню), та води охолодженої t_1 , °С;

Q_0 – кількість води, що відводиться від виробництва на охолодження, м³/год;

$K_{\text{вип}}$ – коефіцієнт, що враховує долю тепловіддачі випаровуванням у загальній тепловіддачі, який приймається для бризкальних басейнів та градирень залежно від температури повітря за сухим термометром (табл. В.1, дод. В). Для проміжних значень температури повітря та природної температури води значення коефіцієнта $K_{\text{вип}}$ визначається інтерполяцією.

Коефіцієнт втрати води на випаровування для ставків-охолоджувачів оборотної води визначається залежно від природної температури води у водоймі (табл. В.2, дод. В).

Втрати води на винесення вітром Q_2 у вигляді крапель, залежать від конструкції та розмірів охолоджувача, а для відкритих охолоджувачів – від швидкості вітру (табл. В.3, дод. В).

Загальні втрати води в оборотному циклі у % від витрати оборотної води:

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \quad (12.2)$$

де P_1 і P_2 – безповоротні втрати оборотної води при охолодженні на випаровування і винесення вітром, %;

P_3 – величина продувки, %.

Усі втрати води в охолоджувальній системі зворотного водопостачання компенсуються додаванням води з джерела.

Визначення коефіцієнта концентрування через водний та сольовий баланси

Ступінь підвищення концентрації розчинених речовин називають коефіцієнтом концентрування добре розчинних солей або коефіцієнтом випаровування. Чисельне значення цього коефіцієнта може бути виражено так:

– за випаровуванням води:

$$K_{\text{вип}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} = \frac{P_{\text{д}}}{P_{\text{д}} - P_1}; \quad (12.3)$$

– за концентруванням солей:

$$K_k = \frac{C_{об}}{C_d} \text{ або } K_{Cl} = \frac{Cl_{об}^-}{Cl_d^-}, \quad (12.4)$$

де P_1 – втрати води з системи за рахунок випаровування;

P_2 – втрати води з системи через винесення вітром;

P_3 – скид води з системи (продувка);

$C_{об}$, C_d – концентрації розчинених у воді речовин, що не випадають в осад (наприклад, хлоридів) відповідно в оборотній (циркуляційній) воді та воді, що додається в систему, мг/л;

$Cl_{об}^-$, Cl_d^- – концентрації іонів хлору відповідно в оборотній і підживлювальній воді.

K_k – коефіцієнт концентрування (випаровування) показує, у скільки разів концентрація розчинених речовин у циркуляційній воді більша, ніж у підживлювальній воді.

При стабільності зворотної води (відсутності інкрустації поверхонь відкладеннями $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$ або змін складу води за рахунок продуктів корозії труб і теплообмінної апаратури) зберігається рівність коефіцієнтів випаровування, визначених за поступовим підвищенням у зворотній воді концентрацій різних іонів, – хлоридів, сульфатів тощо:

$$K_{вин} = \frac{[Cl^-]_{зв}}{[Cl^-]_d} = \frac{[SO_4^{2-}]_{зв}}{[SO_4^{2-}]_{доб}} = \dots = \frac{C_{об}}{C_{доб}} = \frac{C_{доб} + \Delta C}{C_{доб}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3}, \quad (12.5)$$

де P_1 , P_2 , P_3 – втрати води внаслідок випаровування, винесення крапель вітром та стабілізаційна витрат;

$C_{об}$ – заданий за умовами забезпечення корозійної стійкості матеріалів солевміст оборотної води, мг/л;

$\Delta C = C_{об} - C_{доб}$ – збільшення солевмісту зворотної води внаслідок випаровування;

$C_{доб}$ – солевміст підживлювальної води, мг/л;

$[Cl^-]_{об}$ – концентрація іонів хлору в оборотній воді, мг/л;

$[Cl^-]_{доб}$ – концентрація іонів хлору в підживлювальній воді, мг/л;

$[SO_4^{2-}]_{об}$ та $[SO_4^{2+}]_{доб}$ – концентрація іонів сульфату в оборотній та підживлювальній воді, мг/л.

Якщо концентрацію солей жорсткості в циркуляційній воді прийняти максимально допустимою, то з рівняння водно-сольового балансу можна визначити мінімально необхідну витрату продувки:

$$K_K = \frac{C_{об}}{C_D} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3},$$

$$Ж_{ГРАН}^K(P_2 + P_3) = Ж_D^K(P_1 + P_2 + P_3),$$

$$P_3 = \frac{C_D \cdot P_1}{C_{об} - C_D} - P_2, \quad (12.6)$$

де C_D – концентрація солей жорсткості в підживлювальній воді, мг-екв/л;

$C_{об}$ – максимально допустима концентрація солей жорсткості в циркуляційній (зворотній) воді, мг-екв/л:

або

$$P_3 = \frac{Ж_{ДОБ}^K \cdot P_1}{Ж_{ГРАН}^K - Ж_D^K} - P_2. \quad (12.7)$$

Головна вимога до водно-хімічного режиму систем оборотного водопостачання полягає в тому, що в системі мають бути відсутні карбонатні відкладення і корозія устаткування та трубопроводів.

У системах водяного охолодження теплонавантажених елементів утворюються переважно відкладення карбонату кальцію при втраті вільної вуглекислоти через нагрівання води. При цьому відбувається розкладення бікарбонатних іонів HCO_3^- з утворенням карбонатних CO_3^{2-} , які реагують з іонами Ca^{2+} і створюють малорозчинні з'єднання CaCO_3 , що осаджуються на стінках трубопроводів:



Якщо таке розкладання в системі відсутнє, то йдеться про співвідношення

$$L_{об} = K_{вип} \cdot L_{доб}. \quad (12.8)$$

При співвідношенні $L_{об} > K_{вип} \cdot L_{доб}$ в систему додаються або поступають лужні речовини. Співвідношення $L_{об} < K_{вип} \cdot L_{доб}$ свідчить про те, що в системі відбуваються розпад $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ та утворення відкладень у кількості

$$\Delta L = K_{вип} \cdot L_{доб} - L_{об}. \quad (12.9)$$

Концентрацію добре розчинних солей в оборотній воді C_D в залежності від вмісту цих солей у підживлюючій (свіжій) воді можна визначити за допомогою рівняння сольового балансу системи:

$$C_{об} = K_{вип} \cdot C_D. \quad (12.10)$$

Якщо система працює без продувки, то збільшення концентрації розчинених речовин в оборотній воді описуватиметься такою залежністю

$$C_{об} = C_H + \frac{q_D \cdot t}{V} C_D, \quad (12.11)$$

де C_H – початкова концентрація тих же речовин у воді, що заповнює систему (до включення охолоджувача в оборотний цикл);

q_d – кількість води, що додається в систему для компенсації втрати води на випаровування, м³/год;

V – об'єм води в системі, м³;

t – час роботи системи без продувки, год.

Якщо прийняти, що $C_H = C_d$, то формула (12.11) набуває простішого вигляду:

$$C_{об} = \left(1 + \frac{q_{об} \cdot t}{V}\right) C_{доб}, \text{ мг/л.} \quad (12.12)$$

$$K_K = 1 + \frac{q_{об} \cdot t}{V} \quad \text{або} \quad K_K = 1 + \frac{P_1 \cdot Q_{об} \cdot t}{V} \quad (12.13)$$

де $Q_{об}$ – кількість води, що знаходиться в обороті, м³/год;

P_1 – величина випаровування води в оборотній системі, % від витрати оборотної води.

Задачі для самостійного розв'язання

1. Добавка в оборотну систему водопостачання електростанції дорівнює 3 %. Визначити коефіцієнт випаровування, якщо втрати на випаровування $P_1 = 1,2$ %

2. Втрати води на винесення вітром для градирень в середньому 0,5 %. Чому буде дорівнювати коефіцієнт випаровування, якщо градирні будуть працювати без продувки, втрати на випаровування $P_1 = 1,2$ % ?

3. Визначити максимальне значення коефіцієнта випаровування для бризкальних басейнів середньої продуктивності, що працюють з виносом 2 %, за умови роботи системи без продувки і з $P_1 = 1,6$ %.

4. Продувка оборотного циклу становить 3,5 %. Визначити розмір добавки до системи свіжої води, якщо $P_1 = 0,95$ %.

5. Визначити розмір продувки системи оборотного охолодження, що стабілізує циркуляційну воду, і витрату підживлювальної води за таких умов її роботи: карбонатна жорсткість підживлювальної води 2,2 мг-екв/л, гранична карбонатна жорсткість 4 мг-екв/л; перепад температур $\Delta t = 12$ °С, втрати води з краплинним винесенням вітром $P_2 = 0,5$ %.

6. Яку кількість води необхідно виводити з оборотного циклу і скільки свіжої води потрібно у нього додавати, щоб підтримувати коефіцієнт

випаровування на рівні 1,5? Витрата оборотної води становить $50 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{год}$, втрата води на випаровування дорівнює 1,5 %.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 13

Обробка води в системах зворотного водопостачання

Необхідність обробки води для запобігання карбонатним відкладенням визначається лужністю свіжої води, що додається, і коефіцієнтом випаровування оборотної води K_K , за умови, якщо

$$L_D \cdot K_K \geq 3, \quad (13.1)$$

де L_D – лужність підживлювальної води, мг-екв/л;

K_K – коефіцієнт випаровування або концентрування добре розчинних солей в оборотній воді.

При невеликій лужності підживлювальної води безнакипна робота теплообмінної апаратури може бути забезпечена шляхом продувки оборотного водопостачання. У цьому випадку величина продувки у відсотках від витрати оборотної води дорівнюватиме:

$$P_3 = \frac{Ж_{\text{доод}} \cdot P_1}{Ж_{\text{об}} - Ж_{\text{доод}}} - P_2, \quad (13.2)$$

де $Ж_{\text{доод}}$ – карбонатна жорсткість свіжої води, що додається, мг-екв/л;

$Ж_{\text{об}}$ – гранична жорсткість оборотної води, мг-екв/л.

Для запобігання утворенню карбонатних відкладень у системах оборотного водопостачання приймають наступні методи обробки: обробка кислотою (підкислення), вуглекислотою, димовими газами (рекарбонізація), поліфосфатами натрію або триполіфосфатами натрію $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ (фосфатування), кислотно-фосфатна обробка та інші методи.

Метод підкислення

При підкисленні відбувається руйнування іона HCO_3^- , за рахунок цього досягається зниження лужності підживлювальної води на деяке значення ΔL_D і збільшення концентрації розчиненої вуглекислоти в циркуляційній воді. Обидва ці процеси сприяють стабілізації лужності води в оборотному циклі $L_{\text{Ц}}$.

Загальна лужність води, що додається:

$$L_D = L_{\text{зал}} + \Delta L_D. \quad (13.3)$$

Тоді $K_{\text{вит}} \cdot L_{\text{зал}} = L'_{\text{Ц}}$, звідки $L_{\text{зал}} = \frac{L'_{\text{об}}}{K_{\text{вит}}}$.

$$\text{Отже, } \Delta L_{\partial} = L_{\partial} - \frac{L'_{об}}{K_y}, \quad (13.4)$$

де L'_{∂} – гранична лужність оборотної (циркуляційної) води.

При підкисленні води дозу кислоти з розрахунку на підживлювальну воду визначають за формулою:

$$D_k = e \left(L_{\partial} - \frac{L'_{об}}{K_k} \right) \frac{100}{C_k}, \quad (13.6)$$

де C_k – вміст сірчаної або соляної кислоти, %;

e_k – еквівалентна маса кислоти, для сірчаної кислоти $e_k = 49$ мг/мг-екв, для соляної $e_k = 36,5$ мг/мг-екв.

Сульфат кальцію не випадає в системі оборотного водопостачання, якщо добуток активних концентрацій іонів Ca^{2+} і SO_4^{2-} в оборотній воді не перевищує добуток розчинності сульфату кальцію:

$$f^2 \cdot C_{Ca} \cdot C'_{SO_4} \cdot K_y^2 \leq PP_{CaSO_4}, \quad (13.10)$$

де f – коефіцієнт активності двовалентних іонів (табл. 13.4), що визначається залежно від іонної сили розчину оборотної води.

Іонна сила розчину оборотної води, г-іон/кг:

$$\mu = \frac{K_y}{2} [(C'_{Cl^-} + C_{HCO_3^-} + C_{Na^+}) + 4(C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}} + C'_{SO_4^{2-}})], \quad (13.11)$$

де $C_{HCO_3^-}$, C_{Na^+} , $C_{Ca^{2+}}$, $C_{Mg^{2+}}$ – концентрації іонів у підживлювальній воді, г-іон/кг.

C'_{Cl^-} , $C'_{SO_4^{2-}}$ – концентрації хлоридних та сульфатних іонів у підкисленій підживлювальній воді, г-іон/кг.

При підкисленні сірчаною кислотою:

$$C'_{SO_4} = C_{SO_4 \text{ дод}} + \frac{D_k \cdot C_k}{98000 \cdot 100}, \quad C'_{Cl} = C_{Cl \text{ дод}}. \quad (13.12)$$

При підкисленні соляною кислотою:

$$C'_{SO_4} = C_{SO_4 \text{ дод}}, \quad C'_{Cl} = C_{Cl \text{ дод}} + \frac{D_k \cdot C_k}{36500 \cdot 100} \quad (13.13)$$

Таблиця 13.4 – Коефіцієнт активності двовалентних іонів

μ , г-іон/кг	f	μ , г-іон/кг	f	μ , г-іон/кг	f
0,01	0,67	0,06	0,45	0,11	0,36
0,02	0,58	0,07	0,43	0,12	0,35
0,03	0,53	0,08	0,41	0,13	0,34
0,04	0,5	0,09	0,39		
0,05	0,47	0,1	0,38		

Добуток розчинності сульфату кальцію при температурі 25–60 °С приймають $2,4 \cdot 10^{-5}$.

Витрату кислоти, необхідну для обробки води, визначають за формулою:

$$q_k = \frac{Q \cdot D_k}{1000} \quad (13.14)$$

тут Q – загальна кількість води, що додається в систему:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \text{ м}^3/\text{год},$$

D_k – доза кислоти, г/м³.

Фосфатування

Як реагенти при фосфатуванні застосовують гексаметафосфат, тринатрійфосфат і суперфосфат. Граничне значення лужності 7 мг-екв/л.

Фосфатування успішно застосовують, якщо лужність додаткової води не перевищує 3,5–4 мг-екв/л. Інакше потрібно застосувати комбінований спосіб обробки – фосфатування разом з підкисленням.

Дозу технічного продукту (тринатрійфосфату або суперфосфату) для обробки добавочної води в системі можна розрахувати за формулою:

$$D_\phi = (3 + 0,2 \frac{W}{q_{доб}}) \frac{100}{C}, \quad (13.15)$$

де W – об'єм води в системі (у резервуарах градирні, трубопроводах, лотках і газоочисних апаратах), м³;

$q_{доб}$ – кількість води, що додається у систему оборотного водопостачання, м³/год;

C – вміст P₂O₅ у технічному реагенті, %.

Витрату тринатрійфосфату, кг/год, визначають за формулою:

$$G_\phi = \frac{D_\phi \cdot q_{доб}}{1000} \quad (13.16)$$

Необхідну ємкість баку для приготування робочого розчину фосфатів, м³, визначають за формулою:

$$V_p = \frac{0,1D \cdot q \cdot T}{1000 \cdot b}, \quad (13.17)$$

де b – міцність розчину, %;

T – тривалість роботи приготування розчином, год.

Витрата фосфату, г/м³:

$$Q = (d_\phi + \frac{5W}{24q_d}) \frac{100}{C_\phi}, \quad (13.18)$$

де C_ϕ – вміст P_2O_5 в технічному продукті % (для гексаметафосфату 50–52 %, тринатрій фосфату 17–18 %, суперфосфату 16–18 %);

D_ϕ – доза P_2O_5 , приймають в межах 1,5–2,5 мг/л P_2O_5 .

Приклад 13.1. Гранична лужність оборотної води дорівнює 4,5 мг-екв/л. Лужність підживлювальної води 4,2 мг-екв/л. Наскільки необхідно знизити підкисленням лужність води, що додається у систему, якщо втрати на випаровування та з продувкою відповідно становлять 1,4 % і 3 %.

Розв'язання

Знаходимо добавку води у систему P_d та коефіцієнт випаровування:

$$P_d = P_1 + P_3 = 3 + 1,4 = 4,4 \text{ \%};$$

$$K_{\text{вип}} = \frac{P_d}{P_d - P_1} = \frac{4,4}{4,4 - 1,4} = 1,46.$$

За формулою (13.4) знаходимо значення ΔL_d , на яке знизиться лужність підживлювальної води при її підкисненні:

$$\Delta L_d = 4,2 - \frac{4,5}{1,46} = 1,13 \text{ мг-екв/л.}$$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 14

Водопідготовка ТЕЦ і котелень харчових підприємств

Розрахунок установок для H-Na-катіонування

H-Na-катіонування застосовують для одночасного пом'якшення та зниження лужності води. Можливі два варіанти схем:

- паралельне *H-Na*-катіонування;
- послідовне *H-Na*-катіонування.

Співвідношення витрат води, що подають на *H*-катіонітові та *Na*-катіонітові фільтри при пом'якшенні води паралельним *H-Na*-катіонуванням визначають за формулами:

- витрата води, що подається на *H*-катіонітові фільтри, м³/год:

$$q_{кор}^H = q_{кор} \frac{L_{вих} - L_{зм}}{A + L_{вих}}, \quad (14.1)$$

– витрата води, що подається на Na-катіонітові фільтри, м³/год:

$$q_{кор}^{Na} = q_{кор} - q_{кор}^H, \quad (14.2)$$

де $q_{кор}$ – корисна продуктивність H-Na-катіонітової установки (загальна) м³/год;

$q_{кор}^H$ і $q_{кор}^{Na}$ – корисна продуктивність відповідно H-катіонітових і Na-катіонітових фільтрів, м³/год;

$L_{вих}$ – лужність вихідної води, г-екв/м³;

$L_{зм}$ – необхідна лужність пом'якшеної води, г-екв/м³;

A – сумарний вміст у пом'якшеній воді аніонів сильних кислот (сульфатів, хлоридів тощо), г-екв/м³.

Вміст іонів у еквівалентну форму переводять за формулами:

$$C_{SO_4} = \frac{SO_4^{2+}}{48,03}, \quad (14.3)$$

$$C_{Cl} = \frac{Cl^-}{35,46}. \quad (14.4)$$

Визначення кількості H-катіонітових фільтрів (I ступінь)

Об'єм катіоніту H-катіонітових фільтрів визначають за формулою:

$$W_H = \frac{24 \cdot q_{кор}^H \cdot (Ж_{заг} + C_{Na})}{n_p \cdot E_{роб}^H}, \quad (14.5)$$

де 24 – тривалість роботи установки упродовж доби, год;

$q_{кор}^H$ – продуктивність H-катіонітових фільтрів, з урахуванням витрат води на власні потреби установки (10 %), м³/год;

$Ж_{заг}$ – загальна жорсткість води, що поступає на фільтри, ммоль/дм³;

$n = 1-3$ – кількість регенерацій кожного фільтра за добу;

$E_{роб}^H$ – робоча обмінна ємність катіоніту, г-екв/м³, яка приймається під час H-катіонування, г-екв/м³;

C – концентрація у воді натрію, ммоль/дм³.

Робоча обмінна ємність H-катіонітових фільтрів, г-екв/м³:

$$E_{роб}^H = \alpha_H \cdot E_{повн} - 0,5 \cdot q_{тит} \cdot C_k, \quad (14.6)$$

де α_H – коефіцієнт ефективності регенерації H-катіонітових фільтрів, приймають залежно від питомої витрати сірчаної кислоти (табл. 14.1);

$E_{повн}^{кат}$ – повна обмінна ємність катіоніта, г-екв/м³;

$q_{\text{нит}}$ – питома витрата води на відмивання катіоніта, приймають 4–5 м³ на 1 м³ катіоніта;

$C_{\text{к}}$ – загальний вміст у воді катіонів кальцію, магнію, натрію, калію, г-екв/л.

Таблиця 14.1 – Коефіцієнт α_{H}

Питома витрата сірчаної кислоти, г/г-екв	50	100	150	200
Коефіцієнт α_{H}	0,68	0,85	0,91	0,92

Площу Н-катіонітових та Na-катіонітових фільтрів визначають за формулами

$$F_{\text{H}} = \frac{W_{\text{H}}}{H_{\text{H}}}, \quad F_{\text{Na}} = \frac{W_{\text{Na}}}{H_{\text{Na}}}, \text{ м}^2, \quad (14.7)$$

де $H_{\text{Na}}, H_{\text{H}}$ – висота шару катіоніту (2–2,5 м).

За необхідною площею підбирають потрібну кількість і розміри стандартних фільтрів, які випускаються промисловістю, так, щоб сумарна площа фільтрування була рівною або перевищувала необхідну: $\sum f_{\text{H}} \geq F_{\text{H}}$.

Кількість Na- та Н-катіонітових фільтрів в установці має бути не менше двох. При кількості фільтрів на установці менше шести приймають один резервний фільтр, при більшій їх кількості – два резервних.

Швидкості фільтрування фільтрів мають бути в допустимих межах.

Визначення кількості натрій-катіонітових фільтрів

Необхідний об'єм катіоніту Na-катіонітових фільтрів визначають за формулою:

$$W_{\text{Na}} = \frac{24 \cdot q_{\text{кор}}^{\text{Na}} \cdot \mathcal{J}_{\text{заг}}}{n_{\text{р}} \cdot E_{\text{роб}}^{\text{Na}}}, \text{ м}^3. \quad (14.8)$$

де 24 – тривалість роботи установки упродовж доби, год;

$q_{\text{кор}}^{\text{Na}}$ – продуктивність Na-катіонітових фільтрів, з урахуванням витрат води на власні потреби установки (10 %), м³/год;

$\mathcal{J}_{\text{заг}}$ – загальна жорсткість води, що поступає на фільтри, ммоль/дм³;

$n_{\text{р}} = 1-3$ – кількість регенерацій кожного фільтра за добу;

$E_{\text{роб}}^{\text{Na}}$ – робоча обмінна ємність катіоніту, г-екв/м³;

Робочу обмінну ємність Na-катіоніту визначаємо за формулою:

$$E_{\text{роб}}^{\text{Na}} = \alpha_{\text{Na}} \cdot \beta_{\text{Na}} \cdot E_{\text{повн}} - 0,5 \cdot q_{\text{нит}} \cdot \mathcal{J}_{\text{заг}}.$$

Об'єм катіоніту Na-катіонітових фільтрів:

$$W_{Na} = \frac{24 \cdot q_{Na} \cdot \mathcal{K}_{заг}}{n_p \cdot E_{роб}^{Na}}, \text{ м}^3. \quad (14.9)$$

Підбирається фільтр стандартного діаметру. Висота шару засипки приймається $H = 2,0$ м та $H = 2,5$ м.

За необхідною площею підбирають потрібну кількість і розміри стандартних фільтрів, які випускаються промисловістю, так, щоб сумарна площа фільтрування була рівною або перевищувала необхідну:

$$F_{Na} = \frac{W_{Na}}{H_{Na}}.$$

Для остаточного визначення кількості фільтрів визначають швидкості фільтрування в нормальному та форсованому (максимальному) режимах.

Для видалення окису вуглецю з води після Н-катіонування, а також зі змішаної води після Н-Na-катіонування, застосовують дегазатори з кільцями Рашига $25 \text{ мм} \times 25 \text{ мм} \times 3 \text{ мм}$. Висоту шару насадки підбирають залежно від концентрації, мг/л, оксиду вуглецю (IV) у воді, що подається в дегазатор.

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ

2.1 Склад і оформлення розрахунково-графічної роботи

Метою виконання розрахунково-графічної роботи (РГР) є вивчення особливостей промислових підприємств, умов утворення стічних вод, розробка схеми очищення стічних вод для їх повторного використання у виробництві, розрахунок очисних споруд.

У процесі виконання РГР здобувачі закріплюють теоретичні знання, які дозволяють обґрунтувати вибір методу й схеми очищення промислових стічних вод, підібрати набір очисних споруд; опановують навичками роботи з науково-дослідною та довідковою літературою.

Розрахунково-графічна робота складається з таких елементів:

- титульний аркуш;
- завдання на спеціальному бланку;
- зміст;

– основна частина (короткий опис характеристики підприємства, його основних цехів, джерел утворення стічних вод, обґрунтування методу й технологічної схеми очищення);

– розрахункова частина, що містить розрахунок параметрів і схеми очисних споруд;

– список джерел.

Обсяг розрахунково-пояснювальної записки становить 12–15 сторінок друкованого тексту з рисунками і схемами.

Вихідні дані для виконання завдання за варіантами наведені в додатку Г.

Відповідно до завдання необхідно розробити схему та запропонувати споруди для очищення вказаної категорії стічних вод машинобудівного підприємства, виконати розрахунок очисних споруд, описати принцип їх роботи та основні технічні параметри.

Основна частина роботи має включати не менше трьох розділів:

1) теоретичне обґрунтування вибору методу та складу споруд технологічної схеми очищення стічних вод;

2) розрахунок апаратів для очистки стічних вод;

3) розробка технологічної схеми очищення.

2.2 Рекомендації до виконання основних розділів

Для вирішення конкретних завдань стосовно водовідведення та очищення виробничих стічних вод необхідно знати обсяги промстоков, види забруднень, їх концентрацію, динаміку та місця їх утворення, використання, необхідний ступінь очищення.

До машинобудівної галузі відносяться автомобільні, тракторні заводи, заводи комбайнобудування, сільськогосподарських машин, електроапаратури, підшипникові заводи, верстатобудівні, інструментальні тощо.

Основними споживачами води й відповідно джерелами утворення стічних вод на машинобудівних підприємствах є металургійний комплекс, механічні цехи, складально-іспитові цехи, відділення з обробки поверхні металу, гальванічне виробництво й допоміжні виробництва (енергетичне господарство, ремонтні цехи тощо).

Характеристика машинобудівельних підприємств, класифікація стічних вод від основних цехів, основні види забруднень та методи очистки детально висвітлені в літературі [2, с. 355, 356].

У РГР вивчається одна з категорій стічних вод машинобудівної промисловості. Це стічні води, що утворюються в основному в механоскладальному виробництві від спеціальних мийних машин у процесі підготовки (мийки) деталей перед фарбуванням.

Стічні води механічних цехів містять здебільшого дрібнодисперсні завислі речовини, нафтопродукти, які змиваються з поверхні металу, та різні миючі, поверхнево-активні речовини. Гідравлічна крупність завислих речовин коливається у межах 0,1–0,2 мм/с. Становлять ці стічні води приблизно 10–15 % загальної кількості використовуваних вод. Вони близькі за складом до дощових і талих вод, стоків від поливу території.

Стічні води зазначеної категорії після очищення до концентрації механічних домішок 10–15 мг/л, масел – 5–20 мг/л доцільно повертати на технологічні потреби в ті виробництва, де вони були отримані, а також використовувати для підживлення систем оборотного водопостачання і поливу території. При поверненні води для підживлення очищена вода має пройти стабілізаційну обробку.

Вибір оптимальних та ефективних методів і споруд залежить від якісної характеристики промстоків, їхньої кількості, необхідного ступеня очистки, місцевих умов і можливостей.

Для очищення стічних вод машинобудівних підприємств застосовують головним чином механічні методи (проціджування, відстоювання, фільтрування), хімічні (нейтралізація, коагуляція, флокуляція), фізико-хімічні (флотація, електрохімічні методи), а також комбіновані.

Очищення та доочищення стічних вод вказаної категорії, що забруднені механічними домішками і маслами, можна здійснювати за схемою, представленою на рисунку 2.1. При цьому можна обрати варіант використання електрокоагуляції, напірної флотації або реагентної коагуляції.

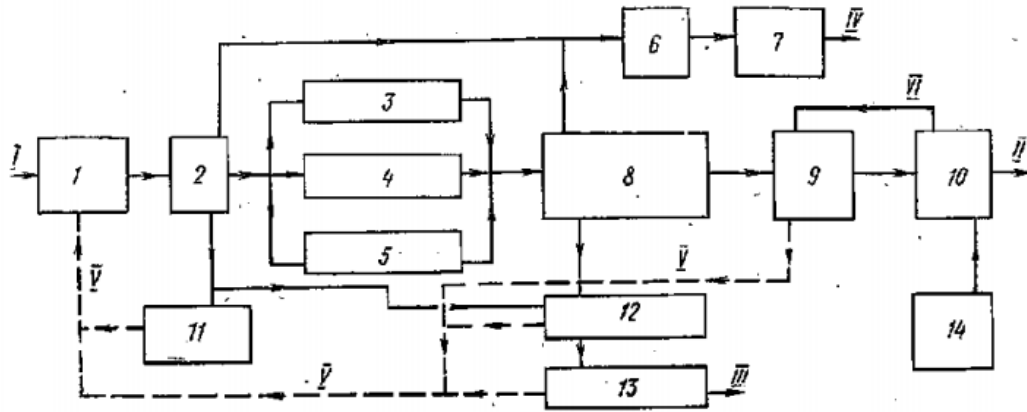


Рисунок 2.1 – Схема очищення стічних вод, забруднених механічними домішками і маслами:

I – стічні води; II – очищена вода; III – осад; IV – масла; V – фільтрат;
VI – регенерація фільтрів;

1 – усереднювач; 2 – піскоуловлювачі; 3 – установка електрокоагуляції;
4 – установка реагентної напірної флотації; 5 – установка реагентної коагуляції; 6 – маслосбірник; 7 – установка зневоднення масел; 8 – відстійники;
9 – фільтри доочищення; 10 – резервуари очищеної води; 11 – піскові майданчики; 12 – ущільнювачі осаду; 13 – установка зневоднення осаду;
14 – установка стабілізаційної обробки води

Для варіанта очищення з використанням методу електрокоагуляції приймають такі розрахункові параметри:

електроди.....	сталеві
щільність струму, А на 1 м ² анодів.....	50–100
напруга електродної системи, В.....	до 12
тривалість перебування стічних вод в електричному полі, с.....	15–30
витрата металу, г на 1 м ³ стічних вод.....	10–20
товщина електродів, мм.....	7–9
відстань між електродами, мм.....	6–8
рН оброблюваних стічних вод.....	5,5–7,5

При застосуванні реагентної напірної флотації використовують сірчаноокислий алюміній дозою 20–30 мг/л за активною речовиною.

При варіанті реагентної коагуляції можна застосовувати сірчаноокислий алюміній дозою 30–60 мг/л та вапняне молоко для підтримання рН оброблюваних стічних вод у межах 7,5–8,4. Тривалість змішування стічних вод з реагентами 10–15 хв.

У процесі теоретичного обґрунтування застосування електрохімічного методу і типу апарату треба визначити особливості технологічного процесу, умови його здійснення. Необхідно показати переваги й недоліки альтернативних методів, що розглядаються здобувачами.

Для такої категорії стічних вод машинобудівного підприємства (стічних вод механічних цехів, забруднених завислими речовинами, маслами й нафтопродуктами) з урахуванням якісного складу цих вод, а також аналізу досвіду досліджень, проектування та експлуатації нових типів очисних споруд, при виконанні розрахунково-графічної роботи здобувачам рекомендується приймати електрофлоотокоагуляційний метод очистки з подальшим відстоюванням і фільтруванням. Горизонтальний відстійник рекомендується обладнати тонкошаровими блоками, а фільтрування здійснювати через шар пінополіуретану з регенерацією завантаження механічним способом.

2.3 Розрахункова частина

У розрахунково-графічній роботі для очистки стічних вод зазначеної категорії рекомендується приймати очисну установку у складі горизонтального відстійника, обладнаного тонкошаровими елементами, і фільтра з інтенсифікацією процесу очищення методом електрофлоатації або електрокоагуляції.

2.3.1 Визначення розрахункової витрати стічних вод

Розрахункову витрату стічних вод можна визначити за формулою:

$$Q = \frac{n \cdot N \cdot k_{год}}{T}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.3)$$

де n – норма водовідведення зазначеного виробництва;

N – продуктивність, од. прод./рік;

$K_{год}$ – коефіцієнт годинної нерівномірності;

T – тривалість роботи за рік, $T = 2032$ год.

2.3.2 Розрахунок установок для електрофлоатації

Розрахунок електродного відділення

Обсяг електродного відділення визначається з можливості розміщення в ньому електродної системи. Наприклад, ширина секції установки A приймається залежно від продуктивності Q : $A = 2$ м, якщо $Q < 90$ м³/год і $A = 2,5$ – 3 м при $Q = 90$ – 180 м³/год.

1. Число электродів, розташовуваних у камері:

$$n = (A - 2a + C) / (\delta + C), \quad (2.4)$$

де $a = 100$ мм – величина зазору між крайніми пластинами й стінками камери;

C – величина зазору між пластинами (15–20 мм);

δ – товщина пластин (6–10 мм).

2. Площа активної поверхні електродів, м²:

$$f_{a.e} = \frac{E \cdot Q}{i}. \quad (2.5)$$

Тут E – питома кількість втрати електричного струму, А·год/м³;

Q – розрахункова витрата стічних вод, м³/год;

i – щільність струму на електродах, А/м² ($i = 50$ – 100 А/м²).

$$E = \frac{C_{заг}}{0,01 \cdot C_{заг} + 15}, \text{ А} \cdot \text{год} / \text{м}^3, \quad (2.6)$$

де $C_{заг}$ – загальна концентрація забруднень у стічній воді, мг/л;

$$C_{заг} = C_{зав.p} + C_{нафтопр} \quad (\text{за вихідними даними}).$$

3. Площа однієї пластини електрода, м²:

$$f_e' = \frac{f_{a.e}}{n_e}. \quad (2.7)$$

Пластини рекомендується прийняти квадратної форми. Тоді довжина пластин дорівнює висоті: $l_e = h_e = \sqrt{f_e'}$, м.

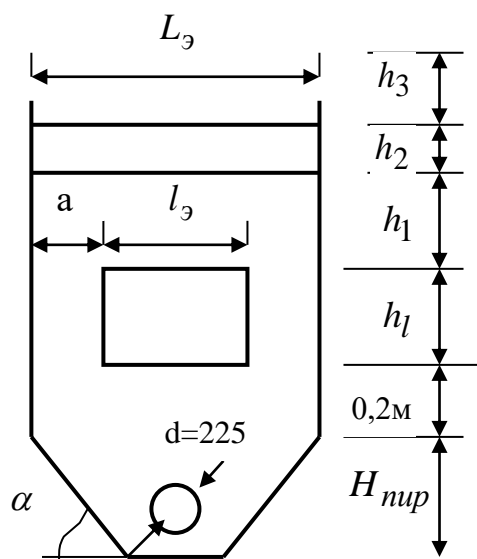


Рисунок 2.2 – Схема електродної камери

4. Довжина електродної камери, м, визначається за формулою:

$$L_e = l_e + 2 \cdot a. \quad (2.8)$$

5. Об'єм електродної камери:

$$W_{e.к.} = A \cdot h_e \cdot L_e, \text{ м}^3. \quad (2.9)$$

6. Об'єм, який займають електроди в камері:

$$W_e' = l_e \cdot h_e \cdot \delta \cdot n_e. \quad (2.10)$$

7. Об'єм проточної частини:

$$W_{np} = W_e - W_e'. \quad (2.11)$$

8. Час перебування стоків в електродній камері, с

$$t = \frac{W_{np}}{Q}. \quad (2.12)$$

Для розподілу води по площі електродного відділення передбачений розподільчий трубопровід, виготовлений із пластмаси, що укладається на дні відділення. При виборі діаметра потрібно враховувати, що швидкість руху води має бути економічною. Для більш рівномірного розподілу рекомендується приймати отвори в розподільчому трубопроводі діаметром $d_{омв} = 15\text{--}20$ мм.

Висота пірамідальної частини електродного відділення

$$H_{nip} = \frac{(L_e - (d_{mp} + 0,2)) \cdot tg\alpha}{2}, \text{ м}, \quad (2.13)$$

де α – кут нахилу стінок камери, $\alpha = 45\text{--}60^\circ$.

Кількість отворів у розподільчій трубі:

$$n_{омв} = \frac{f_{омв}}{f'_{омв}}, \text{ шт.}, \quad (2.14)$$

де $f_{омв}$ – загальна площа отворів, що визначається з умови, що швидкість руху води в отворі становить 1 м/с.

$$f_{омв} = \frac{Q}{v_{омв}}. \quad (2.15)$$

Площа одного отвору, м²:

$$f'_{омв} = \frac{\pi \cdot d_{омв}^2}{4}. \quad (2.16)$$

Крок отворів визначається за формулою:

$$S = \frac{A}{2(n_{омв} - 1)}, \text{ м}. \quad (2.17)$$

Загальна висота електродного відділення, м:

$$H_{e.k.} = H_{\text{пір}} + 0,2 + h_e + h_1 + h_2 + h_3, \quad (2.18)$$

тут $h_1 = 0,3-0,5$ м – висота захисного шару;

$h_2 = 0,1-0,15$ м – шар піни (шламу);

$h_3 = 0,15-0,2$ м – висота запасу.

При здійсненні процесу електрофлотокоагуляції треба визначити кількість металу, що переходить у розчин, а також термін служби електродної системи.

Кількості металу, що переходить у розчин при електрофлотокоагуляції:

$$m = k \cdot \mathcal{E} \cdot E, \text{ г/м}^3, \quad (2.19)$$

де $k = 0,5-0,95$ – коефіцієнт виходу за струмом;

\mathcal{E} – електрохімічний еквівалент, г/(А год), який дорівнює для Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} – відповідно 1,042; 0,695 і 0,336.

Термін служби електродної системи:

$$T = \frac{M \cdot 1000}{m \cdot Q_{\text{сут}}}, \text{ діб}, \quad (2.20)$$

де $M = \gamma \cdot \kappa_e \cdot f_e \cdot \delta \cdot n_e$ – маса електродів, що розчиняється при електролізі, кг

γ – щільність металу електродів, $\gamma = 7,87 \cdot 10^3$ кг/м³;

$\kappa_e = 0,8-0,9$ – коефіцієнт використання матеріалу електродів;

$Q_{\text{доб}}$ – добова витрата стічних вод, м³/добу.

Очисна установка працює 8 год на добу.

2.3.3 Розрахунок відстійника

Для осадження завислих речовин та ефективності видалення утворених пінопродуктів передбачається горизонтальний відстійник, суміщений з електродною камерою.

Для інтенсифікації процесу очистки, зменшення площі, яку займає установка, передбачається встановлення у горизонтальний відстійник тонкошарових елементів.

Технологічний розрахунок відстійника полягає у визначенні параметрів тонкошарових елементів (блоків) та розмірів самого тонкошарового відстійника, що забезпечують необхідний ефект освітлення.

Для забезпечення надійної роботи й стабільності якості проясненої води необхідно дотримуватися ламінарного режиму течії рідини у тонкошарових елементах:

1. Глибина відстійника, м:

$$H = U_0 \cdot T. \quad (2.21)$$

2. Довжина зони відстоювання, м:

$$L_{ел} = v_{\max} \cdot T, \quad (2.22)$$

де T – час відстоювання $T = \frac{H'_{ел}}{\cos \alpha \cdot U_0}$, с. (2.23)

Тут α – кут нахилу тонкошарових елементів, дорівнює від 30° до 75° ;

U_0 – гідравлічна крупність забруднень, мм/с :

$$U_0 = 0,121 + 0,179 \cdot C_{\text{обш}}^2 \cdot 10^{-6}. \quad (2.24)$$

3. Максимальна швидкість у тонкошарових елементах відстійника, мм/с

$$v_{\max} = \frac{Re_{кр} \cdot \nu \cdot 1000}{4R}. \quad (2.25)$$

де $Re_{кр}$ – критичне значення числа Рейнольдса при русі рідини в елементах тонкошарового відстійника.

Тонкошарові відстійники розраховують на ламінарний рух рідин в елементах, $Re_{кр} = 500-800$; ν – кінематична в'язкість стічних вод, m^2/s :

$$\nu = (25,04 - 5 \ln t) \cdot 10^{-7}, \quad (2.26)$$

де t – температура стічних вод, $^\circ C$;

R – гідравлічний радіус елемента, м:

$$R = \frac{\omega_{ел}}{\chi_{ел}} = \frac{A \cdot H_{ел}}{2 \cdot (A + H_{ел})}. \quad (2.27)$$

де $\omega_{ел}$ – площа поперечного перерізу елемента, m^2 ;

A – ширина установки;

$H_{ел} = 25-100$ мм;

χ – змочений периметр.

При виконанні розрахунково-графічної роботи здобувачам рекомендується приймати тонкошарові елементи із протитечійним напрямом руху рідини, тобто напрямом руху рідини протилежний стосовно напрямку руху осаду.

4. Перевірка умови стабільності потоку за критерієм Фруда:

$$\frac{v_{max}^2}{g \cdot R} = Fr_{кр} \geq 10^{-5}. \quad (2.28)$$

5. Питоме навантаження на тонкошаровий елемент:

$$q = \frac{v_{max} \cdot 3,6}{K} \cdot A \cdot H_{ел}, \text{ м}^3/\text{год на 1 елемент}, \quad (2.29)$$

де K – коефіцієнт, що показує, у скільки разів максимальна швидкість більша за середню:

$$K = 1,167 \cdot C_{заг}^{0,062}. \quad (2.30)$$

6. Кількість тонкошарових елементів:

$$n_{ел} = \frac{Q}{q}, \text{ шт.} \quad (2.31)$$

7. Горизонтальна відстань між пластинами:

$$S = \frac{H_{ел}}{\cos \alpha}. \quad (2.32)$$

8. Довжина тонкошарового блоку, м:

$$L_{\text{бл}} = n_{ел} \cdot (S + \delta) + L_{ел} \cdot \cos \alpha, \quad (2.33)$$

де δ – товщина стінки елемента, рівна 3–4 мм.

9. Висота блоку, м

$$H_{\text{бл}} = L_{ел} \cdot \sin \alpha. \quad (2.34)$$

Матеріал елементів – склопластик.

10. Об'єм осаду, що утвориться у відстійнику за добу:

$$W_{ос} = \frac{T \cdot (C_1 - C_2) \cdot Q}{(100 - P) \cdot \gamma \cdot 10^6} \cdot 100, \text{ м}^3, \quad (2.35)$$

де T – тривалість накопичення осаду, $T = 8$ год;

C_1 – концентрація завислих речовин на вході в установку, мг/л;

C_2 – концентрація завислих речовин на виході з відстійника (15–20 мг/л);

P – вологість осаду, що дорівнює 98–98,5 %;

γ – об'ємна маса осаду, що дорівнює 2,65 т/м³.

11. Об'єм осадової частини визначається за залежністю, м³:

$$W'_{ос} = \frac{(\delta + S) \cdot n_{ел} + 0,5}{2} \cdot h_{ос} \cdot A, \quad (2.36)$$

де $h_{ос}$ – висота осадового приямка:

$$h_{ос} = \frac{(\delta + S) \cdot n_{ел} + 0,5}{2}, \text{ м.} \quad (2.37)$$

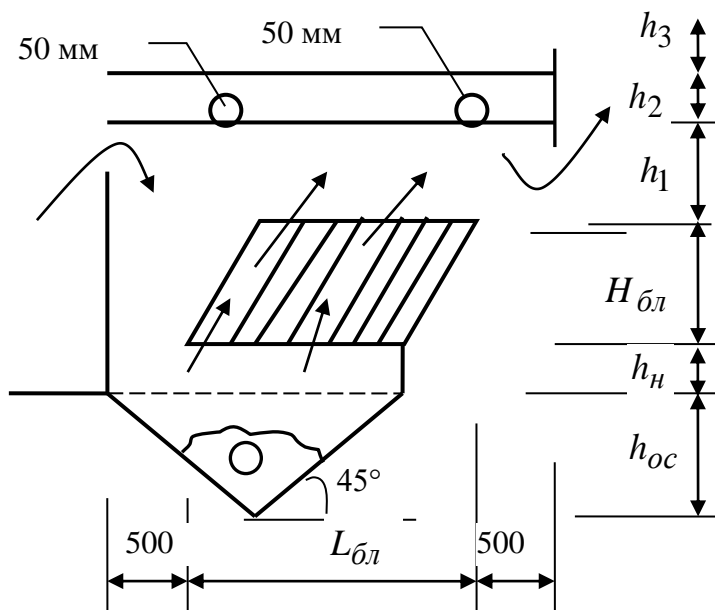


Рисунок 2.3 – Схема відстійного відділення

12. Періодичність скидання осаду:

$$N_{oc} = \frac{W_{oc}}{W_{oc}'} \quad (2.38)$$

13. Загальна довжина відстійної камери:

$$L_{відст.к} = L_{бл} + 0,5 + 0,5, \text{ м.} \quad (2.39)$$

14. Загальна висота відстійника:

$$H_{відст} = h_{oc} + h_n + H_{бл} + h_1 + h_2 + h_3, \text{ м,} \quad (2.40)$$

де h_n – відстань між осадовим прямоком і тонкошаровим блоком, $h_n = 0,5$ м.

15. Загальна кількість уловлених нафтопродуктів у вигляді піни:

$$W_n = \frac{T \cdot Q \cdot (C_n^{en} - C_n^{ex})}{0,95 \cdot (100 - P_n) \cdot 10^4}, \quad (2.41)$$

де Q – витрата установки, $\text{м}^3/\text{год}$;

C_n^{en} ; C_n^{ex} – концентрація нафтопродуктів у вихідній та очищеній воді;

$C_n^{ex} = 20\text{--}30$ мг/л;

P_n – вологість нафтопіни, 90–92 %.

Нафтопродукти, що виділяються у вигляді піни, виводяться з установки за допомогою двох труб, які розміщені у верхній частині й мають діаметр 50 мм. На трубах передбачені щілинні отвори шириною 10–15 мм.

Зібрана нафтопіна надходить до бункера, що конструктивно входить до складу установки.

Об'єм бункера

$$W_{\bar{o}}^H = l_{\bar{o}} \cdot h_{\bar{o}} \cdot 0,5. \quad (2.42)$$

Довжину бункера визначають за формулою

$$l_{\bar{o}} = L_{\bar{o}л} + 0,5. \quad (2.43)$$

Висота бункера приймається $h_{\bar{o}} = 1,5$ м.

Термін зберігання піни в бункері

$$T_H = \frac{W_{\bar{o}}^H}{W_H}, \text{ діб.} \quad (2.44)$$

Уловлені нафтопродукти утилізують в котельні заводу. Уловлений осад направляють у збірний резервуар, що розраховується на 30-добове зберігання осаду, після чого вивозять на утилізацію на підприємствах будівельної індустрії.

2.3.4 Фільтрування проясненої води

Для можливості використання стічних вод у системі оборотного водопостачання студентам рекомендується приймати фільтрувальні установки з використанням пінополіуретанового завантаження.

Швидкість завантаження приймають у межах 5–10 м/год.

Площу завантаження визначають за формулою:

$$F_{\phi} = \frac{Q}{v}, \text{ м}^2. \quad (2.45)$$

Розміри фільтрувальної камери в плані приймаються з умови блокування елементів очищення в одну конструкцію, тоді ширина камери $B_{\phi} = A$.

$$\text{Довжина камери, м,} \quad L_{\phi} = \frac{F_{\phi}}{A}. \quad (2.46)$$

Пінополіуретан завантажують у знімну касету з металевою сіткою. Товщина шару завантаження становить 0,5 м. Регенерацію завантаження здійснюють механічним способом, тобто віджимом на установці, що регенерує.

Маса забруднень, що затримується фільтром за годину

$$M_z = ((C_{нафт.}^{en} - C_{нафт.}^{ex}) + (C_{зав.р.}^{en} - C_{зав.р.}^{ex})) \cdot Q \cdot 10^{-3}, \quad (2.47)$$

де $C_{нафт.}^{en}; C_{нафт.}^{ex}$ – концентрація нафтопродуктів у воді, що надходить на фільтри, та в очищеній воді, мг/л;

$C_{зав.р.}^{en}; C_{зав.р.}^{ex}$ – концентрація завислих речовин на вході й виході з фільтра, 5–7 мг/л.

Маса фільтрувального завантаження, кг:

$$M_{ф.з.} = W_{ф.з.} \cdot \rho_{ф.з.}, \quad (2.48)$$

де $W_{ф.з.}$ – об'єм фільтрувального завантаження, м³;

$\rho_{ф.з.}$ – щільність фільтрувального завантаження, $\rho_{ф.з.} = 50$ кг/м³;

Об'єм фільтрувального завантаження визначають за формулою:

$$W_{ф.з.} = F_{ф.} \cdot 0,5. \quad (2.49)$$

Маса вловлених забруднень за весь фільтроцикл

$$M'_3 = M_{ф.з.} \cdot G, \quad (2.50)$$

де G – брудоемкість, $G = 1,5$ кг/кг.

Тривалість фільтрування фільтрувального завантаження

$$T = \frac{M'_3}{M_3}. \quad (2.51)$$

Висновки

Наведена методика розрахунку може бути також використана в дипломному й реальному проектуванні пристроїв для електрохімічного очищення води, що містять забруднення природного та техногенного походження.

У висновках індивідуального завдання здобувачі повинні відобразити:

- досягнення мети та поставлених завдань;
- результати теоретичного обґрунтування та вибору методу електрохімічного очищення, типу електроапарата;
- особливості системи водовідведення різних категорій стічних вод;
- характеристику якості води за основними показниками до (після) очищення та вимоги до очищеної води;
- можливість повторного використання очищених стічних вод у технічному водопостачанні;
- основні технологічні параметри процесу очищення;
- дані про габарити апарата, питомі витрати електроенергії та металу, строк використання електродної системи.

2.4 Список джерел до виконання розрахунково-графічної роботи

1. Айрапетян Т. С. Водне господарство промислових підприємств : навч. посіб. / Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 280 с.
2. Гіроль М. М. Технології водовідведення промислових підприємств: навч. посіб. / М. М. Гіроль, А. М. Гіроль, А. М. Гіроль. – Рівне : НУВГП, 2013. – 625 с.
3. Андоньев С. М. Особенности промышленного водоснабжения / С. М. Андоньев, В. М. Жильцов, Г. М. Левин и др. / под ред. С. М. Андоньева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Київ : Будівельник, 1981. – 246 с.
4. ДБН В.2.5-74: 2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 01-01-2014. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 172 с.
5. 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.
6. Долина Л. Ф. Проектирование и расчет сооружений и установок для механической очистки производственных сточных вод : учеб. пособ. – Днепропетровск: Континент, 2004. – 93 с.
7. Долина Л. Ф. Проектирование и расчет сооружений и установок для физико-химической очистки производственных сточных вод : учеб. пособ. – Днепропетровск : Континент, 2004. – 127 с.

З ЗМІСТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИСЦИПЛІНИ, КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

ЗМ 1 ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ВОДИ ДЛЯ ПОТРЕБ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Тема 1 Особливості використання води на промислових підприємствах

1. Загальні поняття про споживачів та системи водопостачання.
2. Характеристика природних вод як джерела водопостачання. Показники якості води.
3. Вимоги до якості води, які ставлять різні споживачі.
4. Водопідготовка на промислових підприємствах, основні завдання та методи підготовки води.

Контрольні запитання

1. На які потреби використовують воду у промисловості?
2. Охарактеризуйте основні групи виробничо-технічних споживачів води.
3. Класифікації природних вод, що використовуються для характеристики їх складу.
4. Які показники використовують для оцінки якості природних вод?
5. Поняття жорсткість води. Види жорсткості.
6. Які вимоги ставляться до води, що використовують для охолодження?
7. Які вимоги ставляться до води для живлення парових котлів високого тиску?
8. Які причини нормування вмісту іонів кальцію і магнію у водах теплоенергетичних установок?
9. Основні методи водопідготовки на підприємствах.

Тема 2 Попереднє очищення води

1. Коагуляція і прояснення води. Основне обладнання попередньої обробки води.
2. Фільтрування води.
3. Хімічна обробка води. Реагентне пом'якшення води.
4. Знекремнення води магnezіальними реагентами.
5. Схеми установок для пом'якшення та знекремнення води методом осідання.

Контрольні запитання

1. Для чого застосовують коагуляцію при очищенні води?
2. Які фактори, що впливають на процес коагуляції?
3. З яких основних етапів складається процес водопідготовки?
4. Охарактеризуйте основні методи усунення жорсткості води.
5. Напишіть основні хімічні реакції процесу вапнування води.
6. Основні технологічні процеси й споруди, що використовують при підготовці води.

Тема 3 Обробка води методом іонного обміну

1. Технологія іонного обміну.
2. Катіонообмінний метод пом'якшення води.
3. Основні типи іонообмінних апаратів.

Контрольні запитання

1. У чому полягає сутність катіонообмінного методу пом'якшення води?
2. Переваги й недоліки процесу Na-катіонування при його організації в один і два ступені.
3. Наведіть схему Na-катіонітового пом'якшення води.
4. Що таке повна й робоча обмінна ємкість катіоніту?
5. Якими фізичними та хімічними властивостями визначається якість іонітів?
6. Як здійснюється H-катіонітове пом'якшення води.
7. У чому полягають відмінності паралельноточної й протиточної технології іонного обміну й конструкції фільтрів?

Тема 4 Спеціальні методи підготовки води для промислового водопостачання

1. Знезалізнення та деманганація води.
2. Видалення з води розчинених газів. Типи дегазаторів.

Контрольні запитання

1. Які методи використовують для знезалізнення води?
2. Які типи дегазаторів вам відомі? Поясніть принцип їх роботи.
3. Які реагенти використовують для хімічного зв'язування розчинених у воді O_2 і CO_2 ?

4. Які фактори впливають на розчинність вуглекислого газу у воді?
5. Поясніть суть фізичних методів видалення вуглекислоти з води.
6. Запропонуйте тип дегазатора для обробки великої кількості води з високим вмістом вільного оксиду вуглецю (IV).
7. У чому полягає сутність процесу термічної деаерації?

ЗМ 2 ОСНОВНІ МЕТОДИ ТА СПОРУДИ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД

Тема 5 Загальні відомості з очищення промислових стічних вод

1. Методи і схеми очищення.
2. Усереднення концентрації забруднень і витрати стічних вод. Конструкції усереднювачів.

Контрольні запитання

1. Навіщо потрібно усереднювати концентрації забруднень та витрати стічних вод?
2. Які типи конструкцій усереднювачів застосовують?
3. Як працюють багатокоридорні усереднювачі?
4. У яких випадках застосовують усереднювач з механічним перемішуванням? Як при цьому забезпечується усереднення?

Тема 6 Механічна очистка промислових стічних вод

1. Відстоювання стічних вод, типи відстійних споруд, їх конструктивні особливості.
2. Відкриті гідроциклони, флокулятори.
3. Фільтрування стічних вод.

Контрольні запитання

1. Які споруди можуть входити до схеми механічної очистки виробничих стічних вод?
2. Переваги й недоліки вертикальних і горизонтальних відстійників.
3. Типи конструкцій усереднювачів.
4. Відстоювання стічних вод у тонкому шарі.
5. Призначення та принцип дії відкритих і напірних гідроциклонів.
6. Конструктивні особливості і принцип роботи флокулятора.

7. Чим обумовлено створення спеціальних конструкцій відстійників для очищення виробничих стічних вод?

Тема 7 Фізико-хімічні методи очистки промислових стічних вод

1. Коагуляція та флокуляція.
2. Очистка методом флотації, види флотації.

Контрольні запитання

1. Які процеси відносяться до фізико-хімічних методів очистки промислових стічних вод?
2. Сутність процесу коагуляції домішок води.
3. Від чого залежить ефективність води методом коагуляції?
4. Які коагулянти застосовують у процесах очистки води? У чому переваги гідроксихлориду алюмінію порівняно із сульфатом алюмінію?
5. Скласти рівняння гідролізу солей алюмінію.
6. Поясніть сутність процесу флотації.
7. Які способи диспергування повітря вам відомі?
8. Види флотації
9. Від чого залежить ефективність процесу флотації? Переваги флотації.
10. Наведіть схему напірної флотації.

Тема 8 Хімічні та електрохімічні методи очищення

1. Нейтралізація.
2. Очистка методами електрокоагуляції та електрофлокоагуляції.

Контрольні запитання

1. Які є способи нейтралізації?
2. Які реагенти застосовують для нейтралізації стічних вод?
3. Наведіть рівняння хімічної реакції нейтралізації стічних вод, що містять кислоти.
4. Які споруди входять до складу установок для нейтралізації виробничих стічних вод реагентним методом?
5. У яких випадках застосовується фільтраційний спосіб нейтралізації стічних вод?
6. У чому полягає сутність процесу електрофлотації? Які процеси протікають на електродах?

7. У чому полягає сутність процесу електрокоагуляції.
8. Які фактори впливають на процес розчинення анодів?

ЗМ З ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ ДЕЯКИХ ВОДОЄМКИХ ПІДПРИЄМСТВ

Тема 9 Зворотні системи промислового водопостачання

1. Умови багаторазового використання води в системах виробничого водопостачання. Баланси води та солей в оборотних циклах водопостачання.
2. Стабілізація іонного складу води в системах зворотного водопостачання. Обробка води в системах оборотного водопостачання

Контрольні запитання

1. Що таке система оборотного водопостачання і в чому її переваги перед прямою системою водокористування?
2. Як визначають кількість підживлювальної води в системі оборотного водопостачання?
3. Для чого необхідна продувка в системах зворотного водопостачання?
4. Як здійснюють стабілізацію зворотної води в замкнених системах без продувки?
5. Які методи застосовують для корегування мінерального складу води у зворотних системах? Чи достатньо тільки реагентного пом'якшення води?
6. Як визначають іонний склад підживлювальної води при замкненому зворотному водопостачанні?
7. Що характеризує коефіцієнт упарювання? Наведіть формулу для його розрахунку.

Тема 10 Підготовка води на підприємствах теплоенергетики

1. Основні споживачі води на підприємствах теплоенергетики.
2. Системи охолодження конденсаторів.
3. Значення водопідготовки для систем водопостачання підприємств теплоенергетики.
4. Хімічна водопідготовка для потреб паросилового господарства.
5. Методи знесолення. Іонообмінний метод знесолення води.

Контрольні запитання

1. Основні споживачі води на підприємствах теплоенергетики.

2. Прямоточні та оборотні системи охолодження конденсаторів.
3. Які прийоми застосовують для забезпечення необхідного хімічного складу охолоджувальної води в оборотних системах?
4. Основні завдання водопідготовки.
5. Основні етапи хімічної підготовки води для живлення парових котлів.
6. Вимоги до якості води для живлення парових котлів різних конструкцій і різного тиску.
7. Основні технологічні процеси й споруди, які використовують при підготовці води на ТЕС.

Тема 11 Водопостачання та водовідведення підприємств харчової промисловості

1. Джерела утворення стічних вод. Основні види забруднень.
2. Загальна характеристика методів очищення.
3. Локальна очистка стічних вод харчової промисловості.

Контрольні запитання

1. Надайте характеристику фізико-хімічного складу забруднень стічних вод м'ясної та молочної промисловості.
2. Які технологічні прийоми застосовують для очищення стічних вод м'ясо-молочної промисловості?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 01–01–2014. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 172 с.
2. 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.
3. Водне господарство промислових підприємств : навч. посіб. / Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 280 с.
4. Тугай А. М. Водопостачання : підручник / А. М. Тугай, Орлов В. О. – Київ : Знання, 2009. – 735 с.
5. Орлов В. О. Водопостачання промислових підприємств : навч. посіб. / В. О. Орлов, Л. Л. Литвиненко, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2014. – 278 с.
6. Орлова А. М. Водопідготовка: інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення / А. М. Орлова, В. О. Орлов. – Рівне : НУВГП, 2009. – 182 с.
7. Айрапетян Т. С. Водопідготовка на підприємствах теплоенергетики з використанням Na-катіонітових фільтрів : монографія / Т. С. Айрапетян, І. М. Чуб; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; перекл. з рос. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 151 с.
8. Іванченко Л. В. Хімія і технологія води : навч. посіб. / Л. В. Іванченко, В. Я. Кожухар, В. В. Брем ; Одес. нац. політехн. ун-т. – Одеса : Екологія, 2017. – 208 с.
9. Поржезінський Ю. Г. Основи проектування водопідготовки ТЕЦ і котелень харчових підприємств : навч. посіб. / Ю. Г. Поржезінський. – Київ : НУХТ, 2008. – 206 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Діаметри та площі фільтрування стандартних фільтрів

Діаметр фільтра, d_{ϕ} , мм	700	1 000	1 500	2 000	2 600	3 000	3 400
Площа фільтрування, F_{ϕ} , м ²	0,39	0,76	1,72	3,1	5,2	6,95	9,1

Таблиця А.2 – Технологічні дані для розрахунків механічних фільтрів

Параметр	Завантаження фільтра		
	кварцовий пісок	антрацит	кварцовий пісок і антрацит
Діаметр фільтрувального матеріалу, мм			
антрацит	–	0,6–1,4	0,7–1,4
кварцовий пісок	0,5–1,2	–	0,5–1,2
Висота фільтрувального шару, м			
антрацит	–	1,0	0,5–0,6
кварцовий пісок	1,0	–	0,5–0,6
Насипна маса фільтрувального матеріалу, т/м ³			
антрацит	–	0,8	0,8
кварцовий пісок	1,6	–	1,6
Швидкість фільтрування, м/год			
нормальний режим	5	5	10
форсований режим	7,5	7,5	12
Інтенсивність розпушувального промивання, л/(с·м ²)	10–12	10–12	14–16*
Тривалість розпушувального промивання, хв	20	20	7–6*

* Більшим значенням інтенсивності відповідає менша тривалість промивання.

** Для одношарових фільтрів, завантажених кварцовим піском, рекомендують застосовувати водо-повітряне промивання в такому режимі: продування повітрям з інтенсивністю 15–20 л/(с·м²) протягом 1–2 хв, потім спільне водно-повітряне промивання з інтенсивністю подачі повітря 15–20 л/(с·м²) і витратою води 3–4 л/(с·м²) протягом 4–5 хв і подальша подача води з інтенсивністю 6–8 л/(с·м²) протягом 4–5 хв.

ДОДАТОК Б

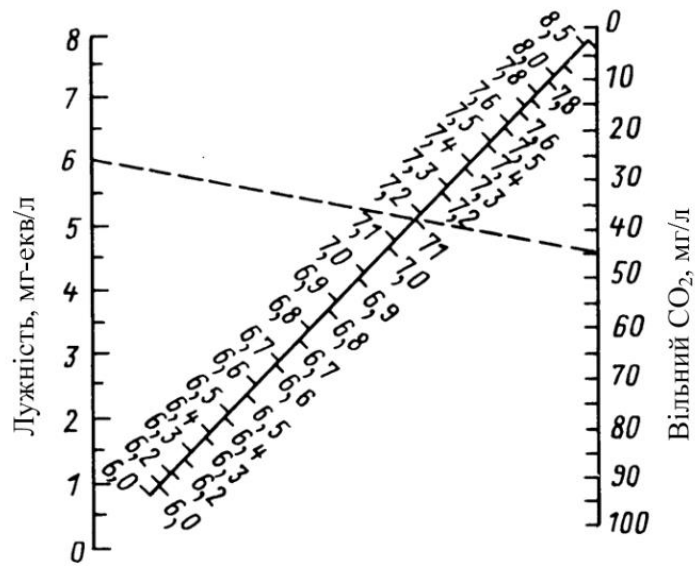


Рисунок Б.1 – Номограма для визначення вмісту у воді CO_2 залежно від значення рН і лужності води

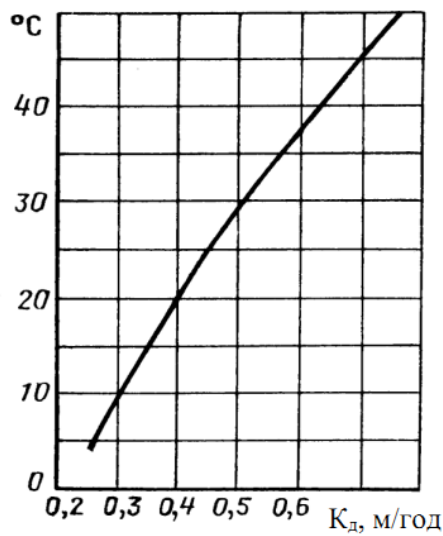


Рисунок Б.2 – Залежність коефіцієнта десорбції карбону (IV) оксиду від температури

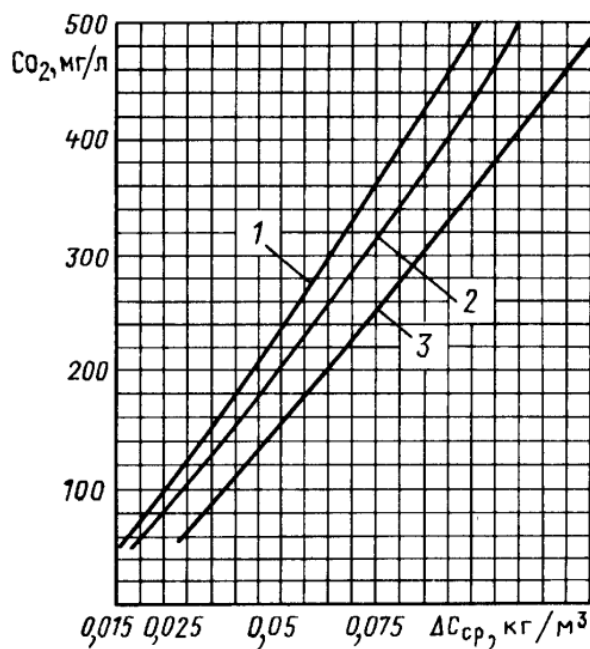


Рисунок Б.3 – Залежність $\Delta C_{ср}$ від $CO_2^{нач}$ за різних значень $CO_2^{кін}$

1 – $C_{CO_2}^{кін} = 3$ мг/л; 2 – $C_{CO_2}^{кін} = 5$ мг/л; 3 – $C_{CO_2}^{кін} = 10$ мг/л.

ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Значення коефіцієнта $K_{вин}$ при охолодженні води у градирнях та бризкальних басейнах

Температура повітря за сухим термометром, °С	0	10	20	30	40
$K_{вин}$	0,001	0,001 2	0,001 4	0,001 5	0,001 6

Таблиця В.2 – Значення коефіцієнта $K_{вин}$ при охолодженні води у ставках-охолоджувачах

Природна температура води у водоймі, °С	0	10	20	30
$K_{вин}$	0,000 7	0,000 9	0,001 1	0,001 3

Таблиця В.3 – Втрати води з краплинним винесенням вітром у процесі охолодження

Тип охолоджуючих пристроїв	P ₂ , %
Бризкальні басейни з площею зрошування	
< 400 м ²	1,5–3,5
≥ 400 м ²	1,0–2,5
Відкриті градирні	1–3
Баштові градирні з площею зрошування, м ²	
До 150	0,5–1,0
Більше 150	0,5
Більше 150 (з краплеуловлювачами)	0,05
Вентиляторні градирні з краплеуловлювачами	0,2–0,5

ДОДАТОК Г

Таблиця Г.1 – Вихідні дані для виконання РГР за варіантами

№ з/п	Параметри	Варіант														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Продуктивність цеху, тис. од./рік	4,5	6,0	8,0	4,7	5,2	4,9	5,8	6,1	4,6	5,0	7,0	7,7	4,8	5,5	6,5
2	Норма водовідведення цеху, м ³ /од. прод.	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
3	Коефіцієнт годинної нерівномірності	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
4	Якісний склад стічної води:															
	– завислі речовини, мг/л;	450	510	600	470	630	565	490	460	500	610	585	600	430	505	470
	– нафтопродукти, мг/л;	300	285	310	275	300	270	310	275	280	300	270	280	290	270	310
	– загальний солевміст, мг/л;	1000	1500	1320	1430	1600	1210	1300	1170	1300	1410	1020	1370	1420	1110	1250
	– рН;	7,0	7,5	8,0	7,3	8	7,5	7,1	7,4	8,0	7,3	7,5	7,2	7,3	7,3	7,1
	– температура, °С	21	22	21	27	27	21	22	22	27	27	21	21	22	21	22

Продовження таблиці Г.1

№ з/п	Параметри	Варіант														
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Продуктивність цеху, тис. од./рік	7,7	6,0	8,0	4,7	5,4	4,6	5,1	5,51	7,6	5,0	6,0	5,7	5,2	4,9	5,8
2	Норма водовідведення цеху, м ³ /од. прод.	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
3	Коефіцієнт годинної нерівномірності	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
4	Якісний склад стічної води:															
	– завислі речовини, мг/л;	480	510	570	500	530	565	460	520	590	620	470	450	490	520	580
	– нафтопродукти, мг/л;	300	285	310	275	300	270	310	275	280	300	270	300	290	310	280
	– загальний солевміст, мг/л;	1270	1400	1380	1450	1300	1510	1200	1470	1500	1210	1020	1430	1330	1280	1320
	– рН;	7,1	7,4	7,0	7,3	8,0	7,6	7,8	7,4	8,0	7,0	7,2	7,5	7,2	7,5	7,3
	– температура, °С	21	22	21	21	21	27	22	27	21	22	21	27	22	21	22

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до проведення практичних занять, самостійного вивчення
та виконання розрахунково-графічної роботи
з навчальної дисципліни

**«ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ТА ОЧИЩЕННЯ ВОДИ НА
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ»**

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія
та водні технології)*

Укладачі: **ЕПОЯН** Степан Михайлович,
АЙРАПЕТЯН Тамара Степанівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*
Редактор *М. О. Гаман*
Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2023, поз. 60М

Підп. до друку 20.08.2024. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 4,5.

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