

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

З ДИСЦИПЛІНИ

ОСОБЛИВОСТІ ВОДОПОСТАЧАННЯ І
ВОДОВІДВЕДЕННЯ
РІЗНИХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

*(для студентів 5-6 курсів денної та заочної форм навчання
спеціальності 7.092601 (7.06010108) «Водопостачання та водовідведення»)*

Харків – ХНАМГ – 2012

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Особливості водопостачання і водовідведення різних промислових підприємств» (для студентів 5-6 курсів денної та заочної форм навчання спеціальності 7.092601 (7.06010108) «Водопостачання та водовідведення») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Т. С. Айрапетян, С. Ю. Нікулін. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 46 с.

Укладачі: Т. С. Айрапетян, С. Ю. Нікулін

Рецензент: зав. кафедрою, проф. С. С. Душкін

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод,
протокол № 1 від 30.08.2010р.

ЗМІСТ

	Стор.
ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	4
1. ВИБІР СИСТЕМИ І СХЕМИ ВИРОБНИЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ	5
2. РОЗРАХУНОК ВОДОСПОЖИВАННЯ. СКЛАДАННЯ БАЛАНСОВОЇ СХЕМИ	6
2.1. Визначення розрахункових витрат	6
2.2. Втрати води в системі	7
3. ВОДНО-ХІМІЧНИЙ РЕЖИМ ОБОРОТНИХ СИСТЕМ	8
3.1. Приклади розв'язання задач	10
3.2. Задачі для контрольної роботи № 1	12
4. ОХОЛОДЖУВАЧІ ОБОРОТНОЇ ВОДИ	13
4.1. Вибір типу охолоджувача	13
4.2. Розрахунок вентиляторних градирень	15
5. ОБРОБКА ВОДИ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ	16
5.1. Приклади розв'язання задач	22
5.2. Задачі для контрольної роботи № 2	28
6. РОЗРАХУНОК СПОРУД ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ВІД МЕХАНІЧНИХ ДОМІШОК	29
6.1. Горизонтальні відстійники	29
6.2. Радіальні відстійники	30
6.3. Відкриті безнапірні гідроциклони і флокулятори	30
6.4. Напірні фільтри	32
7. ВИБІР МЕТОДА ЗМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ ТА СКЛАДУ СПОРУД. РОЗРАХУНОК СПОРУД ДЛЯ ЗМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ	33
7.1. Розрахунок споруд з пом'якшення води реагентним методом	35
7.2. Катіонітне пом'якшення води. Розрахунок натрій-катіонітових фільтрів	36
7.3. Розрахунок реагентного господарства	41
ДОДАТОК	42
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	45

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Водне господарство промислових підприємств - це комплексна система, що включає водопостачання і каналізацію, при цьому очистка стічних вод розглядається як підготовка їх до повторного використання. Воно включає в себе 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.

Предметом дисципліни «Особливості водопостачання і водовідведення різних промислових підприємств» є вивчення водного господарства промислових підприємств, а також отримання знань з теорії і практики створення оборотних і замкнених систем водопостачання, які дозволяють скоротити або повністю виключити скид стічних вод і забруднення водних об'єктів.

Метою вивчення дисципліни є підготовка фахівця, який володітиме знаннями, пов'язаними з вирішенням питань промислового водопостачання та водовідведення, розробкою систем і схем промислового водопостачання, що забезпечуватимуть охорону водних джерел від виснаження та забруднення й завдають мінімальну екологічну шкоду навколишньому природному середовищу.

Дана дисципліна є однією з тих, що завершують підготовку інженера за фахом «Водопостачання і водовідведення».

Метою проведення практичних занять є придбання студентами навиків з розрахунку систем виробничого водопостачання, що як за схемами, так і за складом споруд відрізняються від централізованих систем водопостачання населених місць.

У даних методичних вказівках наведено дані для розробки і проектування систем промислового водопостачання, приклади розрахунків споруд з очищення виробничих стічних вод, охолодження й стабілізаційної обробки оборотної води.

1. ВИБІР СИСТЕМИ І СХЕМИ ВИРОБНИЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Для розробки схем систем прямого і оборотного водопостачання необхідно детально вивчити завдання і вирішити такі питання:

- якої категорії і для яких цілей використовується вода в конкретному цеху
- як можна об'єднати виробниче водопостачання окремих цехів у централізовану систему;
- чи можливе послідовне використання води з одного цеху в іншому або створення оборотного циклу;
- яку частину води потрібно очищати на каналізаційних спорудах перед їх скидом у водойму.

Принцип схеми системи прямого водопостачання (СПВ) полягає в тому, що вода з джерела подається на підприємство, де вона використовується в різних технологічних процесах. Після цього відпрацьована вода скидається у водойму відповідно до санітарних вимог випуску стічних вод.

«Умовно чисті» води можуть скидатися без очистки, а забруднені стічні води направляються на каналізаційні очисні споруди, з яких очищені стічні води потім скидаються у водойму.

Принцип схеми системи оборотного водопостачання (СОВ) полягає в тому, що вода, яка нагрівається в технологічних процесах, не скидається у водойму, а направляється на охолодження і потім знову подається на виробництво. При цьому частина води в оборотному циклі втрачається і потрібно передбачати поповнення цих втрат за рахунок додавання свіжої води. Забруднені стічні води надходять на очисні споруди і після очистки скидаються у водойму.

2. РОЗРАХУНОК ВОДОСПОЖИВАННЯ. СКЛАДАННЯ БАЛАНСОВОЇ СХЕМИ

Водне господарство промислових підприємств забезпечує подачу води споживачам і відведення стічних вод від них, взаємозв'язок систем водопостачання і водовідведення окремих виробництв підприємства або заводу, захист водного басейну від забруднення і утилізацію відходів, які містяться у стічних водах [1-3].

При розробці схеми водопостачання складають розгорнену схему виробничого водопостачання заводу, яка включає всіх споживачів (або їх групи), на якій указують середньогодинні витрати води, безповоротні втрати, витрату свіжої води, а також комплекс водопровідно-каналізаційних і очисних споруд.

2.1 Визначення розрахункових витрат

Витрати і втрати води в оборотних циклах водопостачання і необхідну витрату свіжої води, яку необхідно додавати, розраховують на основі заданої річної продуктивності цехів, тривалості їх роботи протягом року, а також норм водоспоживання. Розрахунки виконують для всіх основних циклів підприємства чи заводу. Отримані значення витрат є основою для складання балансової схеми водоспоживання.

Розрахункову витрату оборотної води в системі водопостачання кожного виробництва визначають за формулою (чистий цикл)

$$Q_p = \frac{n_e \cdot N \cdot K_{год}}{T} \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.1)$$

де n_e – норма водоспоживання (кількість води на одиницю продукції), $\text{м}^3/\text{т}$;

N – річна продуктивність заводу (цехи), $\text{т}/\text{год}$;

$K_{год}$ – коефіцієнт годинної нерівномірності;

T – кількість годин роботи виробництва за рік, год .

2.2. Втрати води в системі

Втрати води в оборотному циклі:

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \quad (2.2)$$

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

P_3 – величина продувки, %.

Втрати води в охолоджувачі залежать від типу охолоджувача, кліматичних умов, температур води на вході й виході з цеху і категорії водоспоживача.

У процесі охолодження втрати води складаються з втрат на випаровування і краплинне винесення вітром.

Втрати води на випаровування в градирнях, %:

$$P_1 = 0,16 \times \Delta t, \quad (2.3)$$

де x – частка теплоти, що віддається охолоджуючою водою, за рахунок її випаровування в градирні (влітку – 1,0, взимку – 0,5, весною і восени – 0,75);

Δt – зниження температури в градирні.

Втрати води з краплинним винесенням вітром залежать від типу охолоджувача (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – 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
Вентилятори градирні з краплеуловлювачами	0,2-0,5

Позначимо кількість води, що знаходиться в обороті $Q_{об}$, м³/год, тоді:

Кількість води, що втрачається в результаті випаровування під час охолодження, м³/год:

$$q_1 = \frac{P_1 \cdot Q_{об}}{100}, \quad (2.4)$$

Кількість води, що виводиться з системи з продувкою, м³/год:

$$q_{пр} = \frac{P_3 \cdot Q_{об}}{100}. \quad (2.5)$$

Кількість води, що додається у систему, м³/год:

$$q_d = \frac{P_d \cdot Q_{об}}{100}. \quad (2.6)$$

3. ВОДНО-ХІМІЧНИЙ РЕЖИМ ОБОРОТНИХ СИСТЕМ

Основними параметрами водно-хімічного режиму оборотного циклу є продувка, добавка свіжої води в систему і коефіцієнт випаровування:

$$K_k = \frac{C_{об}}{C_d} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3}, \quad (3.1)$$

де K_k – коефіцієнт концентрування (випаровування), який показує, у скільки разів концентрація розчинених речовин у циркуляційній воді більше ніж у підживлюючій воді;

C_c , 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;

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

$$P_3 = \frac{C_n \cdot P_1}{C_{об} - C_n} - P_2, \quad (3.2)$$

де C_d – концентрація солей жорсткості в підживлюючій воді, мг-екв/л;

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

або

$$P_3 = \frac{P_1 \cdot Ж_{ДОБ}^K}{Ж_{ГРАН}^K - Ж_{ДОБ}^K} - P_2. \quad (3.3)$$

Продувка системи ефективна тільки в тому випадку, якщо карбонатна жорсткість доданої води значно нижче за карбонатну жорсткість води у системі. Інакше необхідна настільки велика витрата підживлюючої води, що додавання її буде просто неекономічним, тому вигідніше буде застосувати хімічну обробку води.

Головна вимога до водно-хімічного режиму систем оборотного водопостачання полягає в тому, що в системі повинні 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 має місце співвідношення

$$L_{\text{ц}} = K_{\text{к}} \cdot L_{\text{д}}, \quad (3.4)$$

де $L_{\text{ц}}$, $L_{\text{д}}$ — лужність відповідно циркуляційної і додаткової води, мг-екв/л.

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

$$\Delta L = K_{\text{у}} \cdot L_{\text{д}} - L_{\text{ц}}. \quad (3.5)$$

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

$$C_{\text{ц}} = C_{\text{н}} + \frac{q_{\text{д}} \cdot t}{V} C_{\text{д}}, \quad (3.6)$$

де $C_{\text{н}}$ — початкова концентрація тих же речовин у воді, що заповнює систему (до включення охолоджувача в оборотний цикл);

$q_{\text{д}}$ — кількість води, що додається в систему для компенсації втрати води на випаровування, $\text{м}^3/\text{год}$;

V — об'єм води в системі, м^3 ;

t – час роботи системи без продувки, год.

Якщо прийняти, що $C_H = C_D$, то формула (3.6) набуває простішого вигляду

$$C_{Ц} = \left(1 + \frac{q_D \cdot t}{V}\right) C_D, \text{ мг/л.} \quad (3.7)$$

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

$$C_{Ц} = K_K \cdot C_D, \text{ звідси} \quad (3.8)$$

$$K_K = \frac{C_{Ц}}{C_D}. \quad (3.9)$$

$$K_K = 1 + \frac{q_D \cdot t}{V} \text{ або } K_K = 1 + \frac{P_1 \cdot Q_{об}}{V} t. \quad (3.10)$$

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

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

3.1 ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Приклад 1. Визначити розмір продувки системи оборотного охолодження, що стабілізує циркуляційну воду, і витрату підживлюючої води за наступних умов її роботи: карбонатна жорсткість $J_k=2,2$ мг-екв/л; $t=42^\circ\text{C}$, $\Delta t=12^\circ\text{C}$, втрати води з краплинним винесенням вітром $P_2=0,5$ %.

Вирішення:

Втрати води на випаровування $P_{вип}$ визначаємо за формулою (2.3)

для осінньо-весняного періоду:

$$P_1 = 0,16 \cdot 0,75 \cdot 12 = 1,44 \text{ \%}.$$

Продувку системи знаходимо за формулою (3.3)

$$P_3 = \frac{1,44 \cdot 2,2}{4,0 - 2,2} - 0,5 = 1,26 \text{ \%},$$

Тоді загальна витрата підживлюючої води буде дорівнювати

$$P_D = P_1 + P_2 + P_3 = 1,44 + 0,5 + 1,26 = 3,2 \text{ \%};$$

для літнього періоду:

$$P_1 = 0,16 \cdot 1,0 \cdot 12 = 1,92 \%,$$

$$P_3 = \frac{1,92 \cdot 2,2}{4,0 - 2,2} - 0,5 = 1,85 \%,$$

$$P_d = 1,92 + 0,5 + 1,85 = 4,27 \%.$$

Приклад 2. Яку кількість води необхідно виводити з оборотного циклу й скільки свіжої води слід у нього додавати, щоб підтримувати коефіцієнт випаровування на рівні 1,5? Витрата оборотної води складає $50 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{год}$, втрата води на випаровування дорівнює 1,5%.

Вирішення:

З формули для визначення коефіцієнту концентрування добре розчинних солей або коефіцієнту випаровування через водний баланс знайдемо добавку свіжої (підживлюючої) води P_d , що додається в оборотну систему:

$$K_{\text{вип}} = \frac{P_1 + P_3}{P_3} = \frac{P_d}{P_d - 1}, \text{ звідки } P_d = \frac{K_{\text{вип}}}{K_{\text{вип}} - 1} \cdot P_1 = \frac{1,5}{1,5 - 1} \cdot 1,5 = 4,5 \%.$$

$$\text{Тоді } q_d = \frac{P_d \cdot Q_{\text{об}}}{100} = \frac{4,5 \cdot 50 \cdot 10^3}{100} = 2250 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Далі знаходимо кількість води, що необхідно виводити з оборотного циклу, тобто продувку системи (P_3):

$$P_3 = 4,5 - 1,5 = 3 \%.$$

$$\text{Тоді } q_3 = \frac{3 \cdot 50 \cdot 10^3}{100} = 1500 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Приклад 3. Визначити параметри водно-хімічного режиму оборотного циклу, якщо лужність оборотної води дорівнює 4,2 мг-екв/л, лужність добавочної води 3,7 мг-екв/л, витрата оборотної води $Q_{\text{об}} = 6 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{год}$, перепад температур нагрітої та охолодженої води складає $\Delta t = 8^\circ\text{C}$, продувка $P_3 = 3\%$.

Вирішення

Перевіримо співвідношення (3.4), яке показує чи утворюються в системі карбонатні відкладення. Для нашого випадку $K_k \cdot L_d = 1,35 \cdot 3,7 = 5$, отже маємо $L_{\text{ц}} < K_k \cdot L_d$.

Таким чином в системі відбувається розпад $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і утворення карбонатних відкладень в кількості $\Delta L = 5 - 4,2 = 0,8 \text{ мг-екв/л}$. Для запобігання утворенню карбонатних відкладень можна застосовувати два способи:

- а) відповідну обробку води, що додається;
 б) збільшити добавку свіжої води в систему.

В останньому випадку, якщо вказане значення $L_{Ц} = 4,2$ мг-екв/л є стабільним параметром, слід було б працювати з коефіцієнтом випаровування або концентрування добре розчинних солей $K_K = \frac{4,2}{3,7} = 1,13$.

Знайдемо добавку свіжої води в систему P_d :

$$P_d = \frac{K_{вип}}{K_{вип} - 1} \cdot P_1 = \frac{1,135}{0,136} \cdot 1 = 8,4\%$$

тобто в систему треба було б додавати свіжої води в кількості:

$$Q_d = 0,084 \cdot 6 \cdot 10^3 = 500 \text{ м}^3/\text{год},$$

що може бути економічно не вигідним і недоцільним.

Тоді залишається перший спосіб — спеціальна обробка підживлюючої води.

3.2 ЗАДАЧІ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ № 1

Задача 1. Визначити основні параметри водно-хімічного режиму оборотного циклу (коефіцієнт випаровування і добавку свіжої води). Перевірити чи будуть в системі утворюватися карбонатні відкладення. Знайти концентрацію добре розчинних солей в оборотній воді залежно від вмісту цих солей у підживлюючій воді.

Таблиця 1 – Вихідні дані для виконання контрольної роботи за варіантами

Вихідні дані	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Лужність оборотної (циркуляційної) води $L_{Ц}$, мг-екв/л	4,2	4,5	3,9	4,1	4,6
Витрата оборотної води, $Q_{об}$, м ³ /ГОД	$6 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^3$	$6,5 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$
Лужність підживлюючої води, L_d , мг-екв/л	3,7	4,0	3,5	3,6	4,1
Перепад температур нагрітої та охолодженої води Δt , °С	8	10	12	9	6
Втрати води з продувкою, P_3 , %	3,0	2,5	1,8	3,2	2,3
Концентрація добре розчинних солей у підживлюючій воді $C_{доб}$, мг/л	550	570	610	450	490

Задача 2. Об'єм води в басейні оборотного циклу електростанції дорівнює V , а кількість води в обороті $Q_{об}$. Через скільки годин роботи оборотного циклу з моменту його пуску початкова концентрація хлоридів в оборотній воді збільшиться у n разів ($C_{ц} = n C_{нач}$) за умови якщо $C_{нач} = C_{д}$, і система працює без продувки?

Таблиця 2 – Вихідні дані для виконання контрольної роботи за варіантами

Параметри	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Об'єм води в басейні оборотного циклу, V , m^3	$3,8 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$
Кількість води в обороті $Q_{об}$, $m^3/год.$	$2 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^4$
Втрати води на випаровування P_1 , %	0,02	0,025	0,02	0,008	0,02
Збільшення концентрації розчинених в оборотній воді речовин n	2,2	1,2	1,5	2,0	1,3

4. ОХОЛОДЖУВАЧІ ОБОРОТНОЇ ВОДИ

4.1 Вибір типу охолоджувача

Вибір типу охолоджувача здійснюють на підставі техніко-економічного порівняння варіантів. Тип охолоджувача приймають з урахування розрахункової витрати води, режиму роботи, умов розміщення на промисловому майданчику, розрахункової температури охолодженої води, перепаду температур води в системі, глибини охолодження, технологічних вимог до стабільного ефекту охолодження, особливостей експлуатації, хімічного складу води і її втрат на випаровування і винос вітром. При виборі охолоджувача слід враховувати також вимоги природоохоронних органів до роботи охолоджувача, як можливого джерела негативного впливу на стан навколишнього середовища (винос краплинної вологи, викид шкідливих речовин, шум).

Рекомендована область застосування (табл. 4.1) різних типів охолоджувачів води визначається їх якісними і кількісними характеристиками: гідравлічним

навантаженням, тепловим навантаженням, шириною охолодження (перепадом температур) і глибиною охолодження (різницею температури охолодженої води і температури повітря за змоченим периметром), а також іншими факторами.

Вибір типу зрошувача проводять залежно від якості охолоджуваної води. За наявності в оборотній воді жирів, смол і нафтопродуктів застосовують градирні з краплинним зрошувачем, за наявності завислих речовин, які створюють відкладення, що не змиваються водою, – бризкальні градирні. Найкращим типом зрошувача є плівковий, оскільки він має найбільшу поверхню на одиницю об'єму градирні і низький аеродинамічний опір. Проте такі градирні більш матеріаломісткі. Плівкові зрошувачі застосовують тільки у випадках нестачі території для розміщення градирень.

Орієнтовне гідравлічне навантаження (відношення витрати охолоджуваної води до площі градирні в плані), $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, приймають при зрошувачі:

- плівкового типу – 8-12; краплинного типу – 6-10; бризкальному – 5-6.

За умовами надійності, зручності й економічності експлуатації рекомендується від двох до дванадцяти секцій або градирень в одному оборотному циклі водопостачання. Якщо за технологічними розрахунками число секцій виходить за ці межі, слід вибрати інший типорозмір градирні.

Таблиця 4.1 - Рекомендовані області застосування охолоджувачів

<i>Охолоджувач</i>	Область застосування охолоджувача води		
	Питоме теплове навантаження, тис. ккал/м ² /год	Перепад температур води, °С	Різниця температури охолодженої води та температури атмосферного повітря за змоченим термометром, °С
Вентиляторні градирні	80-100 і вище	3-20	4-5
Баштові градирні	60-100	5-15	8-10
Бризкальні басейни	5-20	5-10	10-12
Водосховища-охолоджувачі	0,2-0,4	5-10	6-8
Радіаторні (сухі) градирні	-	5-10	25-30
Відкриті та бризкальні	7-15	5-10	10-12

Примітка: Показники в таблиці надані для води, що надходить на охолоджувач з температурою менше 40°С.

4.2 Розрахунок вентиляторних градирень

Вихідними даними для розрахунку вентиляторних градирень є:

1. Гідравлічне навантаження q_{\max} , м³/Год – максимальна годинна витрата води, що надходить у градирні.

2. Температура води на вході t_1 й виході t_2 з градирні, задається технологіями підприємства на підставі теплотехнічного розрахунку охолоджуваного устаткування.

Розрахунок градирень полягає у визначенні площі зрошувального пристрою і кількості градирень або їх секцій (якщо градирні секційні), які забезпечують охолодження заданої витрати води від температури на вході t_1 до температури на виході з градирні t_2 при заданих параметрах атмосферного повітря за сухим термометром θ , вологості повітря φ і температури за вологим термометром τ .

Параметри атмосферного повітря змінюються як протягом доби, так і в межах року. Розрахунок градирень здійснюють на найменш сприятливий літній період за середньодобовими температурами повітря за сухим і вологим термометрами за багаторічними спостереженнями при забезпеченості параметрів атмосферного повітря 1-10 %. Значення параметрів атмосферного повітря (температур θ і τ і вологості φ) для деяких міст наведено в табл. 4 (дод. 1).

Розрахунок площі зрошування і кількості вентиляторів градирень виконують за допомогою графіків і таблиць, складених за дослідно-виробничими даними, і теоретичними залежностями.

Площу зрошування вентиляторів градирень зі зрошувачем бризкального типу або краплинним зрошувачем визначають за формулою

$$F_{op} = \frac{Q \cdot (t_1 - t_2) \sqrt{t_1 - t_2} \cdot 10^3}{K (V_g \cdot \rho)^{0,625} \cdot (t_1 - \tau)^{1,95}}, \quad (4.1)$$

де Q – витрата охолоджуваної води, м³/Год;

$t_1 - t_2$ - температура відповідно охолоджуваної і охолодженої води °С;

K – коефіцієнт, що залежить від типу зрошувача, температури повітря за вологим термометром, ширини зони охолодження і тиску води перед соплами, визначається за табл. 2 (дод. 1);

V_g - швидкість руху повітря через зрошувач, м/с;

ρ - щільність зовнішнього повітря залежно від його температури за сухим термометром і його відносною вологістю, кг/м³;

τ - температура повітря за вологим термометром °С.

Швидкість руху повітря в градирні складає близько 2 м/с. Наприклад, в градирнях площею 16 м² ця швидкість становить 2,1 м/с; 64 м² – 2,17 м/с; 144 м² – 2,12 м/с; 192 м² – 1,9 м/с; 400 м² – 1,86 м/с; 380 м² – 1,97 м/с; 1200 м² – 2,3 м/с.

Щільність повітря при вологості 40-100 % приблизно приймають залежно від температури повітря за сухим термометром при $\theta=20^\circ\text{C}$ $\rho=1,17-1,18$ кг/м³; $\theta=22^\circ\text{C}$ $\rho=1,16-1,17$ кг/м³; $\theta=24^\circ\text{C}$ $\rho=1,15-1,16$ кг/м³; $\theta=26^\circ\text{C}$ $\rho=1,14-1,15$ кг/м³; $\theta=80^\circ\text{C}$ $\rho=1,13-1,14$ кг/м³.

Вказану формулу можна використовувати при ширині зони охолодження $t_1 - t_2 = 3^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}$, висоті зони охолодження $t_2 - \tau = 3^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C}$, температурі повітря за вологим термометром $\tau=15-22^\circ\text{C}$, відносній вологості повітря $\varphi=30-70\%$.

5. ОБРОБКА ВОДИ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

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

$$L_d \cdot K_K \geq 3, \quad (5.1)$$

де L_d - лужність підживлюючої води, мг-екв/л;

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

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

$$P_3 = \frac{Ж_{\text{доо}} \cdot P_1}{Ж_{\text{об}} - Ж_{\text{доо}}} - P_2, \quad (5.3)$$

де $Ж_{\text{доо}}$ - 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), вуглекислою, 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 підживлюючої води на деяке значення $\Delta L_{\text{д}}$ 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:

$$L_{\text{д}} = L_{\text{зал}} + \Delta L_{\text{д}}. \quad (5.4)$$

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

$$\text{Отже } \Delta L_{\text{д}} = L_{\text{д}} - \frac{L'_{\text{об}}}{K_{\text{в}}}, \quad (5.5)$$

де $L'_{\text{ц}}$ – гранична лужність оборотної (циркуляційної) води.

$$L'_{\text{об}} = \frac{A[(100 - P_{\text{д}})(\text{CO}_2)_{\text{ц}} + P_{\text{д}} \cdot ((\text{CO}_2)_{\text{д}} + 44L_{\text{д}})] + 100b}{100 + 44P_3A}, \quad (5.6)$$

де A, b – коефіцієнти, які приймають за табл. 5.1.

$(\text{CO}_2)_{\text{ц}}$ і $(\text{CO}_2)_{\text{д}}$ – концентрації CO_2 відповідно в оборотній воді і воді, що додається (підживлюючій воді), мг/л.

Таблиця 5.1 – Коефіцієнти А і В

Температура оборотної води, К	А	В			
		Окисність води, що додається мг/л O ₂			
		5	10	20	30
303	0,26	3,2	3,8	4,3	4,6
313	0,17	2,5	3,0	3,4	3,8
323	0,10	2,1	2,6	3,0	3,2

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

$$D_k = e \left(L_{\text{доо}} - \frac{L_{\text{об}}}{K_k} \right) \frac{100}{C_k}, \quad (5.7)$$

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.

Лужність оборотної води, мг-екв/л: (5.8)

$$L_{\text{л}} = 0,1N \sqrt{4,84N^2 (P - P_1)^2 + (100 - P)(CO_2)_{\text{охол}} + P(CO_2)_{\text{доб}} + 44PL_{\text{доо}} - 0,22N^2 (P - P_1)},$$

де $P = P_1 + P_2 + P_3$ – добавка води у систему;

$$N = \frac{\psi}{\sqrt{K_k (Ca^{2+})_{\text{л}}}}; \quad (5.9)$$

де ψ - коефіцієнт, що визначається залежно від загального солевмісту оборотної води та температури охолодженої води (табл. 5.2);

$(CO_2)_{\text{охол}}$ – концентрація вуглекислоти в оборотній воді після охолоджувача, мг/л, що визначається залежно від лужності підживлюючої води і коефіцієнту концентрування води в системі (табл.5.3).

Загальний солевміст оборотної води:

$$S_{\text{об}} = S_{\text{доо}} K_k. \quad (5.10)$$

Таблиця 5.2 - Визначення коефіцієнта ψ

Температура охлажденної води, t_2 °C	Солевміст охолодженої води, $S_{об}$, мг/л														
	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
5	8,29	8,96	9,49	9,93	10,32	11,11	12,10	12,65	13,29	13,74	14,28	14,70	15,13	15,47	15,89
10	8,09	8,75	9,26	9,69	10,07	10,84	11,81	12,34	12,97	13,41	13,93	14,35	14,76	15,10	15,50
15	7,82	8,47	8,96	9,38	9,75	10,49	11,42	11,94	12,55	12,97	13,48	13,89	14,29	14,61	15,00
20	7,53	8,14	8,62	9,02	9,37	10,09	10,99	11,49	12,07	12,48	12,98	13,35	13,74	14,05	14,43
25	7,18	7,76	8,22	8,60	8,94	9,62	10,48	10,96	11,51	11,90	12,37	12,74	13,10	13,40	13,76
30	6,83	7,39	7,82	8,18	8,50	9,15	9,97	10,42	10,95	11,32	11,77	12,12	12,47	12,75	13,09
35	6,38	6,90	7,31	7,64	7,95	8,55	9,31	9,74	10,23	10,58	10,99	11,32	11,65	11,91	12,23
40	5,91	6,39	6,76	7,08	7,92	8,62	9,02	9,47	9,79	10,18	10,18	10,48	10,78	11,03	11,32

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:

$$f^2 \cdot C_{Ca} \cdot C'_{SO_4} \cdot K_y^2 \leq PP_{CaSO_4}, \quad (5.11)$$

де f - коефіцієнт активності двохвалентних іонів (табл.6.4), що визначається залежно від іонної сили розчину оборотної води.

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

$$\mu = \frac{K_y}{2} [(C'_{Cl^-} + C_{HCO_3^-} + C_{Na^+}) + 4(C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}} + C'_{SO_4^-})], \quad (5.12)$$

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

C'_{Cl^-} , C'_{SO_4} - концентрації хлоридних та сульфатних іонів в підкисленій підживлюючій воді, г-іон/кг.

При підкисленні сірчаною кислотою:

$$C'_{SO_4} = C_{SO_4 \text{ дод}} + \frac{D_k \cdot C_k}{98000 \cdot 100}, \quad C'_{Cl} = C_{Cl \text{ доб}}. \quad (5.13)$$

При підкисленні соляною кислотою:

$$C'_{SO_4} = C_{SO_4 \text{ дод}}, \quad C'_{Cl} = C_{Cl \text{ дод}} + \frac{D_k \cdot C_k}{36500 \cdot 100} \quad (5.14)$$

Таблиця 5.3 - Концентрація $(\text{CO}_2)_{\text{охол}}$ в оборотній воді, охолодженій в градирнях

Лужність підживлюючої води $L_{д,}$, мг-екв/кг	Концентрація $(\text{CO}_2)_{\text{охол}}$, мг/кг, при коефіцієнті випаровування				
	1,2	1,5	2	2,5	3
1	-	0,6	0,6	0,5	0,5
2	2,2	2,1	2,1	2	2
3	3,6	2,8	2,5	2,3	2,2
4	5,3	4,6	3,8	3,5	3,4
5	9	6,4	5,1	4,5	4,3
6	16,3	9	7,6	6	5,4

Таблиця 5.4 - Коефіцієнт активності двохвалентних 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°C, приймають $2,4 \cdot 10^{-5}$.

Витрату кислоти, необхідну для обробки води визначають за формулою

$$q_k = \frac{Q \cdot D_k}{1000} \quad (5.15)$$

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 слід застосувати комбінований спосіб обробки – фосфатування разом з підкисленням.

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

$$D_\phi = \left(3 + 0,2 \frac{E}{q_{\text{доб}}}\right) \frac{100}{C}, \quad (5.16)$$

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

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

C – вміст P_2O_5 у технічному реагенті, %.

Витрату тринатрійфосфату, кг/год, визначають за формулою

$$G_{\phi} = \frac{D_{\phi} \cdot q_{доб}}{1000}. \quad (5.17)$$

Необхідну ємкість баку для приготування робочого розчину фосфатів, m^3 визначають за формулою

$$V_p = \frac{0,1D \cdot q \cdot T}{1000 \cdot b}, \quad (5.18)$$

де b – міцність розчину, %;

T – тривалість роботи приготовленим розчином, год.

Витрата фосфату, $г/м^3$:

$$Q = (d_{\phi} + \frac{5W}{24q_d}) \frac{100}{C_{\phi}}, \quad (5.19)$$

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 .

5.1 ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

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

Вирішення

Знаходимо добавку води у систему P_d та коефіцієнт випаровування

$$P_d = P_1 + P_3 = 3 + 1,4 = 4,4\%$$

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

За формулою (5.5) знаходимо значення ΔL_d , на яке знизиться лужність підживлюючої води при її підкисленні:

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

Приклад 6. Для охолодження конденсаторів турбін ТЕЦ передбачається оборотне водопостачання з градирнями. Температура води після конденсаторів турбін T_1 в літньому режимі складає 13-17°C, в температура води після охолоджувача $T_2 = 5^0\text{C}$. Річна кількість годин роботи ТЕЦ $T=3920$ год. На технічне водопостачання ТЕЦ передбачається річкова вода після проходження трьох послідовно працюючих ставків-освітлювачів.

Режим роботи ТЕЦ	Витрата охолоджуючої води, м ³ /год.	Безповоротні втрати					
		випаровування		винос вітром		продувка	
		м ³ /ч	%	м ³ /ч	%	м ³ /год	%
Літній	112750	1750	1,55	565	0,5	115	0,1

Склад води:

Жорсткість $J_{\text{заг}}=7,3$ мг-екв/л;

Лужність $L_{\text{доб}}=6$ мг-екв/л;

$\text{Ca}^{2+}_{\text{доб}} = 5$ мг – екв/л= $2,5 \cdot 10^{-3}$ г-іон/кг;

$\text{Mg}^{2+}_{\text{доб}}=2,3$ мг-екв/л= $1,155 \cdot 10^{-3}$ г-іон/кг;

$\text{Na}^{+}_{\text{доб}}=6,59$ мг-екв/л= $6,595 \cdot 10^{-3}$ г-іон/кг;

$\text{HCO}_3^{-}_{\text{доб}}=6$ мг-екв/л= $6 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ г-іон/кг;

$\text{Cl}^{-}_{\text{доб}}=3,95$ мг-екв/л= $3,95 \cdot 10^{-3}$ г-іон/кг;

$\text{SO}_4^{2-}_{\text{доб}}=3,9$ мг-екв/л= $1,955 \cdot 10^{-3}$ г-іон/кг;

$\text{CO}_2^{-}_{\text{доб}} =12,9$ мг/кг;

Солевміст $S=989$ мг/кг.

Визначити необхідність обробки охолоджуючої води з метою запобігання випадінню карбонатних відкладень, підтвердити прийнятій відсоток продувки при обробці води методом підкислення, визначити витрату сірчаної кислоти на обробку.

Вирішення

1. Визначення необхідності обробки охолоджуючої води з метою запобігання випадінню карбонатних відкладень.

Обробку води слід передбачати за умови (5.1), якщо $L_D K_{\text{вип}} > 3$

$$K_{\text{вип}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} = \frac{1,55 + 0,5 + 0,1}{0,5 + 0,1} = 3,6.$$

Отже маємо $6 \cdot 3,6 = 21,6 > 3$.

Це підтверджує необхідність обробки води, що додається.

Безповоротні втрати води в системі складають $P = 1,55 + 0,5 + 0,1 = 2,15\%$.

Солевміст оборотної води визначаємо за формулою (5.10)

$S_{\text{об}} = 989 \cdot 3,6 = 3600 \text{ мг / кг}$. За табл. 5.2 знаходимо $\psi = 10,68$.

$$N = \frac{10,68}{\sqrt{3,6 \cdot 5}} = 2,5.$$

Концентрацію вуглекислоти в оборотній воді після охолоджувача визначаємо за табл. 5.3 $\text{CO}_{2\text{охол}} = 5,3 \text{ мг/кг}$.

Далі за формулою (6.9) знаходимо лужність оборотної води

$$L_{\text{об}} = 0,1 \cdot 1,33 \sqrt{4,84 \cdot 2,5^2 (2,15 - 1,55)^2 + (100 - 2,15) \cdot 5,3 + 2,15 \cdot 12,9 + 44 \cdot 2,15 \cdot 6 - 0,22 \cdot 2,5^2 (2,15 - 1,55)} = 4,2$$

2. Підтвердження прийнятого відсотка продувки при обробці води, методом підкислення.

Прийнята обробка охолоджуючої води сірчаною кислотою. Це рішення перевіряється на невідповідність в осад сульфату кальцію у разі продувки системи в літньому режимі при $P_3 = 0,1\%$. Випадіння сульфату кальцію може відбутися, якщо коефіцієнт випаровування $K_{\text{вип}}$ досягне величини, при якій відбудеться неприпустиме збільшення концентрації сульфатів.

Перевіряємо співвідношення (5.11), тобто чи буде в системі випадіння сульфату кальцію

$$0,48^2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,952 \cdot 10^{-3} \cdot 3,6^2 = 1,46 \cdot 10^{-5} < 2,4 \cdot 10^{-5}.$$

Отже сульфат кальцію не випадає в системі оборотного водопостачання.

За табл. 5.3 знаходимо $f = 0,48$.

$$\mu = \frac{3,6}{2} \cdot 10^{-3} [(3,95 + 6 + 6,59) + (2,5 + 1,15 + 4,65)] = 0,045 \cdot \text{г-іон/кг.}$$

За формулою (5.13) одержуємо

$$C'_{\text{Cl}} = 3,95 \cdot 10^{-3} \text{ г-іон/кг}; C'_{\text{SO}_4} = 1,95 + \frac{257 \cdot 92}{98000 \cdot 100} = 1,952 \cdot 10^{-3} \text{ г-іон/кг.}$$

Доза сірчаної кислоти з розрахунку на підживлюючу воду:

$$D_k = 49 \cdot \left(6 - \frac{4,2}{3,6}\right) \cdot \frac{100}{92} = 257 \text{ г/м}^3.$$

Цим розрахунком прийнята продувка системи, яка дорівнює 0,1% ($Q_{\text{пр}} = 115 \text{ м}^3/\text{год}$), підтверджує застосування методу підкислення за відсутності випадання сульфату кальцію.

Якщо не передбачати продувку, то приблизні розрахунки покажуть, що співвідношення (5.11) не дотримуватиметься, тобто відбуватиметься випадання сульфату кальцію в системі. Це зумовило необхідність продувки системи в літньому режимі.

3. Визначення витрати сірчаної кислоти, що потрібна для обробки охолоджуючої води

Годинна витрата кислоти (5.15):

$$q_k = \frac{Q_d \cdot D_k}{1000} = \frac{2430 \cdot 257}{1000} = 624,5 \text{ кг/год.}$$

Загальна кількість додаткової води в системі:

$$Q_d = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1750 + 565 + 115 = 2430 \text{ кг/год.}$$

Річна витрата кислоти:

$$Q_k = \frac{q_k \cdot T}{1000} = \frac{624,5 \cdot 3920}{1000} = 2448 \text{ т.}$$

Приклад 7. Виробничий об'єкт має оборотне водопостачання з витратою $15 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{год}$. Підживлююча вода має лужність 4,2 мг-екв/л, концентрація CO_2 у воді

дорівнює 10 мг/л. Температура води складає 303 К. Розрахувати режим фосфатування циркуляційної води для літнього періоду при охолодженні оборотної води в градирнях, концентрація CO₂ в циркуляційній воді після охолоджувача дорівнює 5 мг/л, температура 10 К.

Вирішення:

$$P_1 = 0,16 \times \Delta t = 1,6\%,$$

$$P_2 = 0,6 \text{ - для баштових градирень.}$$

Для економії приймаємо $P_3 = 0,6\%$, тоді коефіцієнт випаровування $K_{\text{вип}} = 2,3$.

Граничне значення лужності $L_{\text{ц}} = 7$ мг-екв/л.

За табл. 5.3 при концентрації $(\text{CO}_2)_{\text{охол}} = 5$ мг/кг і $K_{\text{вип}} = 2,3$ лужність підживлюючої води $L_{\text{д}} = 3$ мг-екв/л, за вихідними даними вода, що додається має лужність $L_{\text{д}} = 4,2$ мг-екв/л. Отже одного підкислення недостатньо. Тому:

1) можна збільшити продувку до необхідного значення.

Для визначення продувки знаходимо значення

$$K_{\text{вип}} = \frac{7,0}{4,2} = 1,67.$$

$$K_{\text{к}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3}$$

або у спрощеному вигляді $K_{\text{к}} = 1 + \frac{P_1}{P_2 + P_3}$, звідси продувка

$$P_3 = \frac{P_1 - (K_{\text{вип}} - 1) \cdot P_2}{K_{\text{вип}} - 1} \tag{5.20}$$

$$P_3 = 1,8\%.$$

Таким чином продувка дорівнюватиме $P_3 = 1,8 + 0,6 = 2,4\%$ або 360 м³/год;

- 2) застосувати тільки підкислення;
- 3) фосфатування разом з підкисленням.

Необхідно знизити лужність підживлюючої води на величину $\Delta L = 4,2 - 3 = 1,2$ мг-екв/л. Тоді коефіцієнт випаровування циркуляційної води дорівнюватиме

$$K_{\text{вип}} = \frac{L_{\text{гран}}}{L_{\text{д}}} = \frac{7}{3} = 2,4.$$

Кількість продувки при обробці води фосфатами для попередження утворення щільних сольових відкладень за формулою (5.20):

$$P_3 = 0,64\%.$$

Отже продувка $P_3 = 0,6 + 0,64 = 1,24\%$ або $185 \text{ м}^3/\text{год}$.

Витрата 75% - сірчаної кислоти складе

$$1,2 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 2,86 \cdot 10^{-2} \cdot 4910^{-6} \cdot 720 = 18 \text{ т/міс}.$$

Приклад 8. Розрахувати установку для фосфатування підживлюючої води в кількості $q_{\text{доб}} = 100 \text{ м}^3/\text{год}$. Оборотну воду охолоджують на секційній вентиляторній градирні, об'єм води у системі $W = 5000 \text{ м}^3$.

Вирішення:

Для фосфатування підживлюючої води приймаємо тринатрійфосфат, який містить P_2O_5 у кількості $C = 18\%$.

Необхідну дозу тринатрійфосфату визначаємо за формулою (5.16)

$$D = \left(3 + 0,2 \frac{5000}{200}\right) \frac{100}{18} = 45 \text{ г/м}^3.$$

Витрату тринатрійфосфату розраховуємо за формулою (5.17)

$$G_{\phi} = \frac{45 \cdot 200}{1000} = 9 \text{ кг/год}.$$

Робочий розчин тринатрійфосфату готуємо 2% міцністю. Тоді для роботи впродовж $T = 4$ год ємкість робочого баку визначаємо за формулою (5.18)

$$V_p = 0,1 \frac{9 \cdot 4}{2} = 2 \text{ м}^3.$$

Приймаємо для розчинних бака круглої форми діаметром $1,45 \text{ м}$ і висотою $1,35 \text{ м}$, об'ємом $2,2 \text{ м}^3$, днище конічне.

Ємкість розчинного баку тринатрійфосфату приймаємо

$$V_p' = 0,9V_p = 0,9 \cdot 2,2 = 1,98 \text{ м}^3.$$

5. 2 ЗАДАЧІ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ № 2

Задача 1. Оборотна система охолодження конденсаторів парових турбін електростанції підживлюється водою, якість якої наведено у табл. 3 Система працює з коефіцієнтом випаровування $K_{\text{вип}}$. Для попередження випадіння солей жорсткості передбачається обробка води сірчаною кислотою. Підкисленням досягається зниження лужності підживлюючої води на деяке значення Δl Визначити чи буде при цьому у системі випадати гіпс (CaSO_4)?

Таблиця 3 - Вихідні дані для виконання контрольної роботи № 3 за варіантами

Параметри	Варіант				
	1	2	3	4	5
Склад підживлюючої води:					
Ca^{2+} , мг-екв/л	10,0	8,0	9,0	8,0	7,0
Mg^{2+} , мг-екв/л	2,5	2,0	2,0	1,8	2,5
Na^+ ,	3,0	3,0	4,0	5,0	3,0
SO_4^{2-} , мг-екв/л	8,0	7,0	6,0	10,0	8,0
HCO_3^- , мг-екв/л	5,0	4,0	4,0	3,0	2,5
Cl^- , мг-екв/л	7,0	7,0	8,0	6,0	5,0
CO_2 , мг/л	12,9	12,0	12,5	11,9	10,0
Солевміст, мг/кг	1200	1000	900	2900	2500
Кількість води в обороті $Q_{\text{об}}$, м ³ /год	$100 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$	$80 \cdot 10^3$	$70 \cdot 10^3$	$50 \cdot 10^3$
Коефіцієнт випаровування	1,7	1,9	2,1	2,4	2,2
Температура оборотної води, °С	25	25	27	30	27
Δl , мг-екв/л	3,0	2,7	4,2	2,5	3,4

6. РОЗРАХУНОК СПОРУД ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ВІД МЕХАНІЧНИХ ДОМІШОК

Використання очищених стічних вод в системах оборотного водопостачання є центральним питанням загальної проблеми переведення промислових підприємств на замкнений режим роботи без скиду стічних вод.

Від механічних домішок стічні води найчастіше очищують відстоюванням. Залежно від кількості стічних вод, що очищуються, характеру зависі й засобу обробки осаду, що виділяється зі стічних вод, обирають тип відстійників або інших споруд.

Розрахунок очисних споруд полягає у визначенні розмірів і кількості споруд залежно від витрати води в оборотному циклі з урахуванням втрат води й кількості підживлюючої води.

6.1 Горизонтальні відстійники

Площу зони осадження, m^2 , приймають залежно від питомого гідравлічного навантаження:

$$F = \frac{Q}{q_{уд}}. \quad (6.1)$$

Довжина відстійника:

$$L = V_{cp} \cdot t, \quad (6.2)$$

де V_{cp} - середня швидкість руху води, м/с. У проточній частині відстійника приймають рівною 5-10 мм/с;

t-час перебування води у відстійнику, с.

$$t = \frac{H}{U_0}, \quad (6.3)$$

де H- глибина проточної частини відстійника, приймають 1,5-4 м (при відношенні довжини до глибини 8-20);

U_0 - гідравлічна крупність частинок зважених речовин у стічній воді, мм/с.

Ширина відстійника, м

$$B = \frac{Q}{V_{cp} \cdot H}. \quad (6.4)$$

Ширину однієї секції приймають рівною 3-6 м, в окремих випадках – до 9 м залежно від способу видалення осаду.

6.2 Радіальні відстійники

Найбільшого розповсюдження при очищенні стічних вод металургійних виробництв набули відстійники діаметром 30 м з камерою флокуляції.

Площа зони осадження радіальних відстійників, м²:

$$F = \frac{Q}{q_{yd}}. \quad (6.5)$$

Площа зони осадження одного відстійника, м²:

$$F_1 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}, \quad (6.6)$$

де D- діаметр відстійника, 30 м;

d – діаметр камери флокуляції, 10 м.

Число відстійників:

$$n = \frac{F}{F_1}. \quad (6.7)$$

6.3 Відкриті безнапірні гідроциклони і флокулятори

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

Найбільшого поширення в чорній металургії одержали гідроциклони діаметром 6 м.

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

Питоме гідравлічне навантаження для відкритих гідроциклонів визначають за формулою

$$q = 3,6 \cdot U_0, \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (6.8)$$

де U_0 - гідравлічна крупність, мм/с.

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

Ефект роботи гідроциклона 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 складає 5-6 $\text{м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$, а із застосуванням коагулянтів – 10-12 $\text{м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{год}$.

Площа одного гідроциклона:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}. \quad (6.9)$$

Продуктивність одного апарату, $\text{м}^3 / \text{год}$:

$$Q_1 = q \cdot F. \quad (6.10)$$

Кількість споруд:

$$n = \frac{Q}{Q_1}. \quad (6.11)$$

Порядок розрахунку флокуляторів наступний:

1) визначають витрату води на один апарат, $\text{м}^3 / \text{год}$:

$$Q_1 = q_{\text{нм}} \cdot S_{\phi}, \quad (6.12)$$

де $q_{\text{нм}}$ - питоме гідравлічне навантаження на один апарат, $\text{м}^3 / \text{год}$;

S_{ϕ} - площа флокулятора, м^2 , $S_{\phi} = 113 \text{ м}^2$.

2) визначають кількість апаратів, шт.

$$n = \frac{Q}{Q_1} \quad (6.13)$$

де Q - загальна витрата стічних вод, що поступають на очищення, м³/год.

3) Коаксіально до корпусу флокулятора встановлена перфорована перегородка, яка утворює камеру флокуляції. Об'єм камери флокуляції, м²:

$$W_k = \frac{\pi}{4} (D_\phi^2 - D_k^2) \cdot H, \quad (6.14)$$

де D_ϕ - діаметр флокулятора, м ($D_\phi=12$ м);

D_k - діаметр камери, м ($D_k=10,6$ м);

H – висота флокулятора, м ($H=10$ м).

3) Об'єм зони відставання, м³:

$$W_{відст} = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} \cdot H. \quad (6.15)$$

Для підведення води в апарат є 8-12 патрубків, які розташовані тангенціально в два-три яруси.

6.4 Напірні фільтри

Кількість напірних фільтрів визначають залежно від робочої площі фільтрування одного апарату.

Загальна площа фільтрування визначається залежністю, м²

$$F_\phi = \frac{\alpha \cdot Q}{V_\phi}, \quad (6.16)$$

де α - коефіцієнт, що враховує витрату освітленої води на власні потреби, приймається залежно від кількості промивок, $\alpha=1,03—1,1$;

Q – витрата води, яка підлягає фільтруванню, м³/год;

V_ϕ - швидкість фільтрування при нормальному режимі роботи, м/год.

Витрата води на промивку фільтру, м³/год

$$q_{\phi} = \frac{F_{\phi} \cdot q_{np} \cdot t \cdot n}{24}, \quad (6.17)$$

де q_{np} - інтенсивність промивки фільтра, л/(с·м²), для піщаного завантаження і для завантаження з мармурової крихти – 15 л/(с·м²), для роздрібнюваного антрациту – 10 л/(с·м²);

t – тривалість промивки $t = 30$ хв.;

n – число промивок в добу ($n=1-2$).

7. ВИБІР МЕТОДА ПОМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ ТА СКЛАДУ СПОРУД. РОЗРАХУНОК СПОРУД ДЛЯ ПОМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ

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

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

При проектуванні споруд для зм'якшення води повинні бути вирішені наступні завдання:

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

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

Рекомендації щодо вибору найбільш поширених методів пом'якшення, а також складу споруд наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Технології пом'якшення води

Технологія	Якість вихідної води	Якість фільтрату	
		Загальна жорсткість, мг-екв/л	Загальна лужність, мг-екв/л
Реагентні методи			
1. Вапнування	Необхідно прояснення води	на 0,4-0,8 мг-екв/л більше некарбонатної жорсткості вихідної води	0,8-1,2
2. Вапняно-содове пом'якшення	Необхідно прояснення води	0,5-1,0	0,8-1,2
Катіонування			
3. Одноступеневе Na-катіонування	Каламутність – до 5-8 мг/л, кольоровість – до 30°	0,05-0,1	Не змінюється
4. Двохступеневе Na-катіонування	Каламутність – до 5-8 мг/л, кольоровість – до 30°	0,01	Не змінюється
5. Паралельне H-катіонування, видалення CO ₂	Каламутність – до 5-8 мг/л, кольоровість – до 30°, сумарний вміст хлоридів та сульфатів – до 4 мг-екв/л, натрію – 2 мг-екв/л.	0,1	0,4
6. Послідовне H- Na-катіонування	Каламутність – до 5-8 мг/л, кольоровість – до 30°	0,01	0,7
7. H-катіонування з «голодною» регенерацією, буферні катіонітові фільтри, видалення CO ₂	Каламутність – до 5-8 мг/л, кольоровість – до 30°	На 0,7-1,5 мг-екв/л більше некарбонатної жорсткості вихідної води	0,7-1,5

7.1 Розрахунок споруд для пом'якшення води реагентним методом

У технології реагентного пом'якшення води використовують апарати для приготування й дозування реагентів, змішувачі, освітлювачі, фільтри та установки для стабілізаційної обробки води.

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

$$q_{\text{пом}} = 100(J_{\text{о.вих}} - J_{\text{о}}) / (J_{\text{о.вих}} - J_{\text{пом}}), \quad (7.1)$$

де $J_{\text{о.вих}}$ - загальна жорсткість вихідної води, мг-екв/л;

$J_{\text{о}}$ - загальна жорсткість води, що подається в мережу, мг-екв/л;

$J_{\text{пом}}$ - жорсткість пом'якшеної води, мг-екв/л.

Для видалення завислих речовин, що утворюються при реагентному пом'якшенні води застосовують освітлювачі із завислим осадом спеціальної конструкції з подальшим фільтруванням через одно- або двохшарове завантаження з піску чи подрібненого антрациту крупністю зерен 0,5-1,25 (коефіцієнт неоднорідності – 2-2,2). Висота шару завантаження 0,8-1 м, швидкість фільтрування – до 6 м/год.

За умови, якщо $\frac{Ca^{2+}}{20} > J_k$, вміст магнію у вихідній воді не більше 15 мг/л і перманганатна окисність не більше 10 мг О/л для пом'якшення води застосовують вихрові реактори. Для розрахунку вихрових реакторів приймають: швидкість входу в реактор 0,8-1 м/с, кут конусності 15-20°, швидкість висхідного руху води на рівні водовідвідних пристроїв 4-6 мм/с. В якості контактної маси для завантаження вихрових реакторів застосовують мелений вапняк, розмелену крупку карбонату кальцію, що утворилася у вихрових реакторах або мармурову крихту крупністю зерен 0,2-0,3 мм та кількості 10 кг на 1 м³ об'єму реактора. У випадку обробки води у вихрових реакторах коагулянт не додають.

7.2 Катіонітне пом'якшення води. Розрахунок натрій-катіонітових фільтрів

Вибір методу катіонування визначається в кожному конкретному випадку хімічним складом води, умовами роботи системи й техніко-економічним порівнянням варіантів. При зм'якшенні води методом іонного обміну можуть застосовуватися *Na*-катіонування, *H*- і *H-Na*-катіонування. Процес *Na*-катіонування може бути як одноступінчастим, так і двоступінчастим.

Розрахунок здійснюють у наступній послідовності: вибір схеми підготовки води, вибір марки катіоніта, визначення питомої витрати реагенту на регенерацію, робочої обмінної ємкості, швидкості фільтрування, необхідної площі фільтрування.

Одноступеневе Na-катіонування

Дану схему застосовують для неглибокого пом'якшення води. Залишкова жорсткість фільтрату дорівнює 0,05-0,1 мг-екв/л. Швидкість фільтрування приймають залежно від жорсткості вихідної води. Висота шару катіоніта $H=2-2,5$ м, втрати напору складають 4-7 м.

Робоча обмінна ємкість катіоніта, г-екв/м³:

$$E_{роб}^{кат} = \alpha_{Na} \cdot \beta_{Na} \cdot E_{повн}^{кат} - 0,5 \cdot q_{num} \cdot Ж_o^{вих}, \quad (7.2)$$

де α_{Na} - коефіцієнт ефективності регенерації, що враховує неповноту регенерації катіоні і приймається залежно від питомої витрати солі (табл.7.1);

β_{Na} - коефіцієнт, що враховує зниження обмінної ємкості катіоніту за Ca^{2+} і Mg^{2+} внаслідок часткового затримування катіонів Na^+ і залежить від концентрації натрію у вихідній воді $C_{Na}=(Na^+)/23$ г-екв/м³ (табл.7.2);

$E_{повн}^{кат}$ - повна обмінна ємкість катіоніта, г-екв/м³, що визначається за паспортними даними, а при їх відсутності приймають для сульфовугілля крупністю 0,5-1,1 мм – 500 г-екв/м³, для катіоні та КУ-2 крупністю 0,8-1,2 мм – 1500-1700 г-екв/ м³;

q_{num} - питома витрата води на відмивання катіоніта, м³/м³ катіоніта, приймають для сульфовугілля – 4 і для КУ-2 – 6.

Таблиця 7.2 – коефіцієнт α_{Na}

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

Таблиця 7.3 – коефіцієнт β_{Na}

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

Об'єм катіоніта фільтрів I ступеня визначають за формулою

$$W_k = \frac{24 \cdot Q_{кат.ф.I} \cdot Ж_0^{вих}}{n_p \cdot E_{роб}^{кат}}, \text{ м}^3, \quad (7.3)$$

де $Q_{кат.ф.I}$ - витрата води, що надходить на натрій-катіонування, м³/год;

$Ж_0^{вих}$ - загальна жорсткість вихідної води, г-екв/м³;

$E_{роб}^{кат}$ - робоча обмінна ємкість катіоніта, г-екв/м³;

n_p - число регенерацій кожного фільтра за добу, приймають від 1 до 3.

Загальна площа фільтрів дорівнює:

$$F_{кат.ф.I} = \frac{W_k}{H_k}, \text{ м}^2, \quad (7.4)$$

де H_k – висота робочого шару катіоніта, м.

Двохступеневе Na-катіонування

При розрахунку натрій-катіонітових фільтрів II ступеня:

1. Загальна жорсткість вихідної води дорівнює жорсткості води після I ступеня.
2. Висоту шару катіоніта приймають 1-1,5 м.
3. Швидкість фільтрування – до 40 м/год.
4. Втрати напору – 13-14 м.
5. Питома витрата повареної солі на регенерацію – 300-400 г/г-екв.
6. Концентрація регенераційного розчину – 8-12%.
7. Робоча ємкість поглинання катіоніта – 250-300 г-екв/м³
8. Основні дані для розрахунку фільтрів наведено у табл. 7.4

Таблиця 7.4 – Технологічні дані для розрахунку *Na*-катіонітових фільтрів

Показники	Фільтр I ступеня	Фільтр II ступеня
Висота шару катіоніта, м.....	2 - 2,5	1,5
Крупність зерен катіоніта, мм.....	0,5 - 1,1	0,5 - 1,1
Швидкість фільтрування, м/год, нормальна (форсована), при жорсткості, мг-екв/л:		
до 5.....	25 (35)	
до 10.....	15 (25)	40 (50)
до 15.....	10 (20)	-
Втрати напору на фільтрах, м (у дужках - при завантаженні дрібного катіоніта з крупністю зерен 0,3-0,8 мм), при швидкості фільтрування, м/год:		
10.....	5 (6)	-
20.....	5 (7)	-
30.....	6 (9)	-
40.....	7 (11)	13
60.....	9 (14)	14
Розпушуюче промивання, катіоніта:		
інтенсивність, л/(м ² ·с)	4 (3)	4 (3)
тривалість, хв.....	30 (15)	30 (15)
Питома витрата повареної солі на регенерацію сульфовугілля, г/г-екв, при двоступінчастому <i>Na</i> -катіонуванні й жорсткості оброблюваної води, мг-екв/л:		
до 5.....	100 - 200	300 - 400
до 10.....	120 - 200	-
до 15.....	170 - 250	-
до 20.....	200 - 300	-
Концентрація регенераційного розчину, %.....	2	3
Швидкість пропуску регенераційного розчину, м/год.....	5 - 8	8 - 12
Робоча обмінна ємкість сульфовугілля, г-екв/м ³	3 - 4	3 - 5
Відмивання катіоніту від продуктів регенерації:		
швидкість пропуску відмивної води через катіоніт, м/год..	По	250 - 300
питома витрата відмивної води, м ³ /м ³ , при завантаженні фільтра:	розрахунках	
сульфовугіллям.....	6 - 8	6 - 8
катіонітом КУ-2.....	4	6
катіонітом КУ-2.....	6	8
Загальна тривалість регенерації фільтра, год, при завантаженні фільтра:		
сульфовугіллям.....	2	2,5 - 3,5
катіонітом КУ-2.....	3 - 4,5	3,5 - 5,0

H-Na-катіонування

Застосовують для одночасного пом'якшення та зниження лужності води.

Можливі два варіанта схем:

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

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

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

$$q_{кор}^H = q_{кор} \frac{L_o - L_{пом}}{A + L_o}, \quad (7.5)$$

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

$$q_{кор}^{Na} = q_{кор} - q_{кор}^H, \quad (7.6)$$

де $q_{кор}$ - корисна продуктивність Н- Na - катіонітової установки, м³/год;

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

L_o - лужність вихідної води, г-екв/м³;

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

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

Об'єм катіоніта Н-катіонітових фільтрів визначають за формулою

$$W_H = \frac{24 \cdot q_H \cdot (\mathcal{J}_0 + C_{Na})}{n_p \cdot E_{роб}^H}, \text{ м}^3. \quad (7.7)$$

Об'єм катіоніта Na-катіонітових фільтрів:

$$W_{Na} = \frac{24 \cdot q_{Na} \cdot \mathcal{J}_0}{n_p \cdot E_{роб}^{Na}}, \text{ м}^3, \quad (7.8)$$

де n – число регенерацій кожного фільтра за добу, приймають 1-3;

$E_{роб}^H$ - робоча обмінна ємкість Н-катіоніта, г-екв/м³;

$E_{роб}^{Na}$ - робоча обмінна ємкість Na-катіоніта, г-екв/м³;

C_{Na} - концентрація у воді натрію.

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

$$E_{роб}^{кат} = \alpha_H \cdot E_{повн}^{кат} - 0,5 \cdot q_{пит} \cdot C_k, \quad (7.9)$$

де α_H - коефіцієнт ефективності регенерації H-катіонітових фільтрів, приймають залежно від питомої витрати сірчаної кислоти (табл.7.5);

$E_{повн}^{кат}$ - корисна обмінна ємкість катіоніта, г-екв/м³;

$q_{пит}$ - питома витрата води на відмивання катіоніта, приймають 4-5 м³ на 1 /м³ катіоніта;

C_k – загальний вміст у воді катіонів кальцію, магнію, натрію, калію, г-екв/л.

Таблиця 7.5 – 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 фільтрів визначають за формулами

$$F_H = \frac{W_H}{H_H}, \quad F_{Na} = \frac{W_{Na}}{H_{Na}}, \text{ м}^2, \quad (7.10)$$

де H_{Na}, H_H – висота шару катіоніта, м.

7.3. Розрахунок реагентного господарства

Дози реагентів визначають за співвідношеннями, що наведено у табл. 7.4.

Метод	Реагент	Доза, мг/л	Умови застосування
вапнування	вапно	$D_B = 28\left(\frac{CO_2}{22} + Ж_к + \frac{D_к}{e_к} + 0,5\right)$	$\frac{Ca^{2+}}{20} > Ж_к$
		$D_B = 28\left(\frac{CO_2}{22} + 2Ж_к - \frac{Ca^{2+}}{20} + \frac{D_к}{e_к} + 1\right)$	$\frac{Ca^{2+}}{20} < Ж_к$
вапняно-содовий	Вапно, сода	$D_B = 28\left(\frac{CO_2}{22} + \frac{HCO_3^-}{61} + \frac{Mg^{2+}}{12} + \frac{D_к}{e_к} + 0,5\right) \frac{100}{C_B},$ $D_C = 53\left(\frac{Ca^{2+}}{20} + \frac{Mg^{2+}}{12} - \frac{HCO_3^-}{61} + \frac{D_к}{e_к} + 1\right) \frac{100}{C_C},$ або $D_C = 53\left(Ж_{нк} + \frac{D_к}{e_к} + 1\right) \frac{100}{C_C}$	

У таблиці прийняті наступні позначення:

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

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

$e_к$ – еквівалентна маса активної речовини коагулянту, г/г-екв (для $FeCl_3$ – 54, для $FeSO_4$ – 76);

C_B – вміст активної речовини CaO у технічному вапні, %;

C_C – вміст Na_2CO_3 в технічній соді, %.

Об'єм бака для приготування вапняного молока визначають за формулою

$$W = \frac{q \cdot n \cdot D_B}{10000 \cdot b_B \cdot \gamma_B},$$

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).

ДОДАТОК

Таблиця 1 – Коефіцієнти $K_{\text{вип}}$ для градирень

Температура повітря за сухим термометром, °С	0	10	20	30	40
$K_{\text{вип}}$	0,001	0,0012	0,0014	0,0015	0,0016

Таблиця 2 – Значення коефіцієнта К для вентиляторних градирень с крапельним зрошувачем або зрошувачем бризкального типу

Напір води перед соплом, м	Температура повітря за вологим термометром, τ °С							
	15	16	17	18	19	20	21	22
$\Delta t = 5^\circ\text{C}$								
4,5	442/395	461/408	485/422	506/436	528/450	549/466	570/485	592/505
3,5	420/380	441/392	461/406	481/419	502/433	522/448	543/467	563/486
2	388/358	407/369	426/381	445/493	464/407	483/422	502/439	521/458
$\Delta t = 10^\circ\text{C}$								
4,5	404/367	423/374	442/386	461/398	480/410	499/425	518/441	537/458
3,5	384/347	403/338	421/379	438/394	457/410	475/410	493/425	511/442
2	355/325	372/355	389/347	504/358	422/371	439/386	456/399	473/418
$\Delta t = 15^\circ\text{C}$								
4,5	363/324	380/335	397/346	414/357	432/370	450/384	457/398	484/417
3,5	344/311	361/321	377/332	394/343	411/355	428/369	448/383	461/402
2	316/291	322/301	348/311	364/322	379/333	395/346	410/360	426/379
$\Delta t = 20^\circ\text{C}$								
4,5	317/283	334/293	351/305	368/317	386/330	404/343	421	348/370
3,5	298/258	315/275	331/287	348/299	365/312	382/327	398	415/358
2	270/245	286/256	302/268	318/280	333/293	349/397	364	380/338

Таблиця 3 - Параметри атмосферного повітря

Пункти спостереження	Забезпеченість параметрів атмосферного повітря, %								
	1			5			10		
	θ	φ	τ	θ	φ	τ	θ	φ	τ
Астрахань	30,4	52	23,2	28,8	55	22,4	27,8	56	21,6
Горький	26,8	48	19,6	24,0	52	17,8	22,7	56	17,3
Іркутськ	22,0	63	17,6	20,5	68	16,9	19,7	71	16,5
Казань	26,8	43	18,7	24,6	51	18,2	23,4	55	17,8
Краснодар	28,0	55	21,6	26,5	57	20,6	25,5	59	20,1
Красноярськ	24,4	55	18,6	22,5	61	17,8	21,4	64	17,2
Ленінград	26,0	56	20,1	23,2	60	18,3	21,7	63	17,4
Луганськ	30,1	30	18,8	27,0	37	17,8	25,7	44	18,0
Москва	27,0	55	20,8	24,5	57	19,0	22,9	59	17,9
Новосибірськ	25,4	54	19,3	23,3	59	18,2	22,0	63	17,6
Омськ	27,4	44	19,4	24,1	50	17,6	22,5	55	17,0
Свердловськ	25,8	49	18,8	23,2	57	17,8	21,5	62	17,0
Ташкент	31,2	37	21,0	29,4	38	19,8	28,6	40	19,6
Тула	25,5	56	19,6	23,1	60	18,2	21,6	63	17,3
Уфа	27,6	44	19,5	25,3	48	18,3	23,8	53	17,8
Харків	28,5	38	19,2	26,4	45	18,8	24,9	52	18,6

Таблиця 4 - Типи вентиляторних градирень

Площа секції, м ²	Розмір однієї секції, м ²	Вид зрошувача	Висота зрошувача, м	Тип вентилятора	Подача повітря вентилятором	Номер проекту
16	4 × 4	плівковий	3,81	2ВГ-25	140	901-6-56
		краплинний	3,86		110	
		бризкальний	2,50		140	
16	4 × 4	плівковий	3,42	2ВГ-25	140	901-6-59
		краплинний	3,60		110	
		бризкальний	3,40		135	
24	4 × 6	бризкальний	1,76	3ВГ-25	180	901-6-67.83
64	8 × 8	плівковий	3,36	ИВГ-50	585	901-6-51
		краплинний	3,48		490	
		бризкальний	3,00		570	
64	8 × 8	плівковий	3,68	ИВГ-50	580	901-6-29
		краплинний	3,68		465	
		бризкальний	3,80		550	
144	12 × 12	плівковий	3,36	2ВГ-70	1290	901-6-48
192	12 × 16	бризкальний	2,00	2ВГ-70	1425	901-6-62
192	12 × 16	краплинний	3,67	2ВГ-70	1130	901-6-61
192	12 × 16	краплинний	3,80	2ВГ-70	1240	901-6-43
		бризкальний	3,60		1400	

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Водне господарство промислових підприємств: навч. посібник / Т.С. Айрапетян – Х.: ХНАМГ, 2010.– 280 с.
2. Айрапетян Т.С. Конспект лекцій з дисципліни “Особливості водопостачання і водовідведення різних промислових підприємств”. - Харків: ХДАМГ, 2007 – 70 с.
3. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Под ред. В.Н. Самохина. Изд 2-е. М.: Стройиздат, 1981.-639с.
4. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.- М.:Стройиздат, 1985.
5. Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02-84) / ВНИИ ВОДГЕО - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989 - 190с.
6. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности. - М.: Стройиздат, 1977
7. Кучеренко Д.И., Гладков В.А. Обратное водоснабжение (системы водяного охлаждения).- М.: Стройиздат, 1980.
8. Вахлер Б.Л. Водоснабжение и водоотведение на металлургических предприятиях. Справочник.- М.: Металлургия, 1977.
9. Защита водоемов от загрязнения сточными водами предприятий черной металлургии / Г.М. Левин, Г.С. Пантелют, И.А. Ванштейн, Ю.М. Супрун. – М.: Металлургия, 1978. - 216с.
10. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. - М.: Стройиздат, 1982
11. 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. - К.: Будівельник, 1981. – 246 с.
- 12 Аксенов В.И. Водное хозяйство промышленных предприятий: Справ. пособие – М.: Теплотехник, 2005. – 640с.
- 13 Иванов В.Г. Водоснабжение промышленных предприятий: Учеб. пособ. - СПб: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – 537с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки
до практичних занять
з дисципліни

«Особливості водопостачання та водовідведення різних промислових підприємств»

(для студентів 5-6 курсів денної і заочної форм навчання спеціальності
7.092601 (7.06010108) «Водопостачання та водовідведення»)

Укладачі: **АЙРАПЕТЯН ТАМАРА СТЕПАНІВНА,
НІКУЛІН СЕРГІЙ ЮХИМОВИЧ**

Редактор *М. З. Аляб'єв*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2011, поз. 114М

Підп. до друку 26.03.2011р.	Формат 60×84/16
Друк на ризографі.	Ум. друк. арк. 2,0
Зам. №	Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12.05.2011р.