

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
ТА САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

«ОСОБЛИВОСТІ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ»

(для студентів 5-6 курсів денної і заочної форм навчання спеціальності

7.06010302 «Раціональне використання і охорона водних ресурсів»)

Харків
ХНУМГ
2014

Методичні вказівки до практичних занять та самостійного вивчення дисципліни «Особливості промислового водопостачання» (для студентів 5-6 курсів денної і заочної форм навчання спеціальності 7.06010302 – «Раціональне використання і охорона водних ресурсів») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: Т. С. Айрапетян – Х.: ХНУМГ, 2014. – 38 с.

Укладач: Т. С. Айрапетян

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

Рекомендовано кафедрою водопостачання,
водовідведення і очищення вод,
протокол № 10 від 15.04.2013 р.

ЗМІСТ

	Стор.
ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	4
<i>ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ</i>	4
1. ВИБІР СИСТЕМИ І СХЕМИ ВИРОБНИЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ	4
2. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИТРАТ ВОДОСПОЖИВАННЯ	5
3. БАЛАНСИ ВОДИ ТА СОЛЕЙ В ОБОРОТНИХ ЦИКЛАХ	5
3.1 Втрати води в системі. Стабілізація мінерального складу оборотної води	5
3.2 Визначення коефіцієнта концентрування через водний та сольовий баланси	7
Приклади розв'язання задач	8
4. ОХОЛОДЖУВАЧІ ОБОРОТНОЇ ВОДИ	11
4.1 Вибір типу охолоджувача	11
4.2 Розрахунок вентиляторних градирень	12
5. ОБРОБКА ВОДИ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ	13
Приклади розв'язання задач	17
6. ЗМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ	21
6.1 Вибір методу зм'якшення води та складу споруд	21
6.2 Розрахунок споруд для зм'якшення води реагентним методом	23
6.3. Катіонітне зм'якшення води	28
7. ВИДАЛЕННЯ З ВОДИ ВІЛЬНОЇ ВУГЛЕКИСЛОТИ. РОЗРАХУНОК ПЛІВКОВОГО ДЕГАЗАТОРА	28
<i>ЗМІСТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИСЦИПЛІНИ, КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ</i>	29
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	35
ДОДАТКИ	36

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 промислового водопостачання» 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 сучасного промислового водопостачання, розробкою систем і технологічних схем промислового водопостачання, що забезпечуватимуть охорону водних джерел від виснаження та забруднення й гарантуючих мінімальну екологічну шкоду навколишньому природному середовищу.

Внаслідок вивчення дисципліни студент повинен 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.

Студент повинен вміти: робити розрахунки охолоджуючих споруд, споруд покращення якості води для технологічних потреб промислових підприємств різних галузей промисловості, проводити техніко-економічні розрахунки при виборі типу охолоджуючих споруд, виду системи промислового водопостачання та методів підготовки води.

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.

ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

1. ВИБІР СИСТЕМИ І СХЕМИ ВИРОБНИЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Для розробки схем систем прямоточного 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 централизовану 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 прямиоточного 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. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИТРАТ ВОДОСПОЖИВАННЯ

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)

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

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

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

$K_{\text{год}}$ – коефіцієнт годинної нерівномірності;

T – кількість годин роботи виробництва за рік, год.

3. БАЛАНСИ ВОДИ І СОЛЕЙ В ОБОРОТНИХ ЦИКЛАХ

3.1 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 (P_1) та через краплинне винесення вітром (P_2). В результаті випаровування втрачається в середньому 0,15% охолоджуючої води при зниженні її температури на 1° , виноситься повітрям в градирнях 0,2—0,3% охолоджуючої води.

Втрати води на випаровування в градирнях, %:

$$P_1 = K_{\text{вип}} \cdot \Delta t \cdot 100, \quad (3.1)$$

де $K_{\text{вип}}$ – коефіцієнт, що враховує долю тепловіддачі випаровуванням в загальній тепловіддачі (табл. 1.1, дод.1);

Δt – перепад температур води, який визначається як різниця температури води, яка надходить до охолоджувача і температури охолодженої води, °С.

Втрати води в оборотному циклі:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (3.2)$$

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.

Втрати води з краплинним винесенням вітром залежать від типу охолоджувача (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - 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

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

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

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

$$q_1 = \frac{P_1 \cdot Q_{\text{об}}}{100}, \quad (3.3)$$

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

$$q_{\text{пр}} = \frac{P_3 \cdot Q_{\text{об}}}{100}. \quad (3.4)$$

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

$$q_{\text{д}} = \frac{P_{\text{д}} \cdot Q_{\text{об}}}{100}. \quad (3.5)$$

Вважається в результаті випаровування частини води в охолоджувачі розчинені солі води, що випарилися (повністю або частково) залишаються в оборотній воді, підвищуючи їх концентрацію.

Найбільш поширеним методом стабілізації охолоджуючої води є продувка систем водяного охолодження, тобто відведення частини оборотної води з заміною її свіжою. Під час продувки відбувається загальне зниження концентрації всіх до-

мішок, у тому числі хлоридів і сульфатів, що в частості, сприяє послабленню процесів корозії в оборотній системі охолодження. Але зазвичай стабілізація охолоджуючої води суміщає комплекс заходів, що включають як продувку системи, так і обробку води хімічними реагентами (підкислення, рекарбонізацію, фосфатування).

3.2 Визначення коефіцієнта концентрування через водний та сольовий баланси

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

а) за випаровуванням води:

$$K_{\text{вип}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} = \frac{P_{\text{д}}}{P_{\text{д}} - P_1} \quad (3.6)$$

б) за концентруванням солей:

$$K_{\text{к}} = \frac{C_{\text{об}}}{C_{\text{д}}} \quad \text{або} \quad K_{\text{Cl}} = \frac{Cl_{\text{об}}^-}{Cl_{\text{д}}^-} \quad (3.7)$$

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); $C_{\text{об}}$, $C_{\text{д}}$ — 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; $Cl_{\text{об}}^-$, $Cl_{\text{д}}^-$ — концентрації іонів хлору відповідно в оборотній і підживлюючій воді. $K_{\text{к}}$ - коефіцієнт концентрування (випаровування) показує у скільки разів концентрація розчинених речовин у циркуляційній воді більше ніж у підживлюючій воді;

Оскільки основним призначенням продувки є підтримання карбонатної жорсткості оборотної води нижче гранично допустимої, значення цієї продувки можна визначити з рівняння водно-сольового балансу.

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

$$\mathcal{J}_{\text{ГРАН}}^{\text{к}}(P_2 + P_3) = \mathcal{J}_{\text{д}}^{\text{к}}(P_1 + P_2 + P_3),$$

звідки $P_3 = \frac{\mathcal{J}_{\text{д}}^{\text{к}} \cdot P_1}{\mathcal{J}_{\text{ГРАН}}^{\text{к}} - \mathcal{J}_{\text{д}}^{\text{к}}} - P_2$, або

$$P_3 = \frac{C_{\text{д}} \cdot P_1}{C_{\text{об}} - C_{\text{д}}} - P_2, \quad (3.8)$$

де: $C_{\text{д}}$ — концентрація солей жорсткості в підживлюючій воді, мг-екв/л; $C_{\text{об}}$ — максимально допустима концентрація солей жорсткості в циркуляційній (оборотній) воді, мг-екв/л;

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 розкладання 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

$$L_{\text{Ц}} = K_{\text{К}} \cdot L_{\text{Д}}, \quad (3.9)$$

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

$$\Delta L = K_{\text{У}} \cdot L_{\text{Д}} - L_{\text{Ц}}. \quad (3.10)$$

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

$$C_{\text{Ц}} = K_{\text{К}} \cdot C_{\text{Д}}, \text{ звідси} \quad (3.11)$$

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

$$C_{\text{Ц}} = C_{\text{Н}} + \frac{q_{\text{Д}} \cdot t}{V} C_{\text{Д}}, \quad (3.12)$$

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 $C_{\text{Н}} = C_{\text{Д}}$, то формула (3.12) набуває простішого вигляду

$$C_{\text{Ц}} = \left(1 + \frac{q_{\text{Д}} \cdot t}{V} \right) C_{\text{Д}}, \text{ мг/л.} \quad (3.13)$$

$$K_{\text{К}} = 1 + \frac{q_{\text{Д}} \cdot t}{V} \text{ або } K_{\text{К}} = 1 + \frac{P_1 \cdot Q_{\text{об}}}{V} t. \quad (3.14)$$

де $Q_{\text{об}}$ — кількість води, що знаходиться в обороті, $\text{м}^3/\text{год}$;

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

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 підживлюючої води 2,2 мг-екв/л, гранична карбонатна жорсткість 4 мг-екв/л; перепад температур $\Delta t = 12^\circ\text{C}$, втрати води з краплинним винесенням вітром $P_2 = 0,5\%$.

Вирішення:

Втрати води на випаровування $P_{\text{вип}}$ визначаємо за формулою (3.1) для осінньо-весняного періоду:

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

Продувку системи знаходимо за формулою (3.8)

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

Тоді загальна витрата підживлюючої води буде дорівнювати
 $P_d = P_1 + P_2 + P_3 = 1,44 + 0,5 + 1,26 = 3,2 \%$;

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 (3.9), яке показує чи утворюються в системі карбонатні відкладення. Для нашого випадку $K_k \cdot L_d = 1,35 \cdot 3,7 = 5$, отже маємо $L_u < K_k \cdot L_d$.

Таким чином в системі відбувається розпад $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і утворення карбонатних відкладень в кількості $\Delta L = 5 - 4,2 = 0,8$ 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 $L_u = 4,2$ 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 Р_д:

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

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

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

що може бути економічно не вигідним і недоцільним.

Тоді залишається перший спосіб — спеціальна обробка підживлюючої води.

ЗАДАЧІ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ № 1

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

Задача 2.

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

Вихідні дані для виконання контрольної роботи за варіантами

Задача 1

Вихідні дані	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Лужність оборотної (циркуляційної) води $L_{\text{ц}}$, мг-екв/л	4,2	4,5	3,9	4,1	4,6
Витрата оборотної води, $Q_{\text{об}}$, 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, $L_{\text{д}}$, мг-екв/л	3,7	4,0	3,5	3,6	4,1
Перепад температур нагрітої та охолодженої води Δt , °C	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 $C_{\text{доб}}$, мг/л	550	570	610	450	490

Задача 2

Параметри	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Об'єм води в басейні оборотного циклу, V , м 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 $Q_{\text{об}}$, м 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

Охолоджувач	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 можуть змінюватися як протягом доби, так і на протязі всього 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 (додаток. 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:

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

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, визначають за табл. 2 (додаток. 1);

V_{θ} - 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 2,21 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:

$$P_3 = \frac{Ж_{\text{доод}} \cdot P_1}{Ж_{\text{об}} - Ж_{\text{доод}}} - P_2, \quad (5.2)$$

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), 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 ΔL_d і збільшення концентрації розчиненої вуглекислоти в циркуляційній воді. Обидва ці процеси сприяють стабілізації лужності води в оборотному циклі L'_c .

Загальна лужність води, що додається:

$$L_d = L_{\text{зал}} + \Delta L_d. \quad (5.3)$$

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

$$\text{Отже } \Delta L_d = L_d - \frac{L'_c}{K_y}, \quad (5.4)$$

де L'_c – гранична лужність оборотної (циркуляційної) води.

$$L'_c = \frac{A[(100 - P_d)(\text{CO}_2)_c + P_d \cdot ((\text{CO}_2)_d + 44L_d)] + 100b}{100 + 44P_3A}, \quad (5.5)$$

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

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

Таблиця 5.1 – Коефіцієнти А і b

Температура оборотної води, К	А	b			
		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

$$D_k = e \left(L_{\text{доо}} - \frac{L_{\text{об}}}{K_k} \right) \frac{100}{C_k}, \quad (5.6)$$

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.

$$\text{Лужність оборотної води, мг-екв/л:} \quad (5.7)$$

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

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

$$N = \frac{\psi}{\sqrt{K_k (Ca^{2+})_d}}; \quad (5.8)$$

де ψ – коефіцієнт, що визначається залежно від загального солемісту 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 солеміст оборотної води:

$$S_{\text{об}} = S_{\text{доо}} K_k. \quad (5.9)$$

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:

$$f^2 \cdot C_{Ca} \cdot C'_{SO_4} \cdot K_y^2 \leq PP_{CaSO_4}, \quad (5.10)$$

де f – коефіцієнт активності двохвалентних іонів (табл. 5.4), що визначається залежно від іонної сили розчину оборотної води.

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

$$\mu = \frac{K_y}{2} [(C'_{Cl^-} + C_{HCO_3^-} + C_{Na^+}) + 4(C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}} + C'_{SO_4^{2-}})], \quad (5.11)$$

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

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

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

При підкисленні сірчаною кислотою:

$$C'_{SO_4} = C_{SO_4 \text{ дод}} + \frac{D_k \cdot C_k}{98000 \cdot 100}, \quad C'_{Cl} = C_{Cl \text{ дод}} \quad (5.12)$$

При підкисленні соляною кислотою:

$$C'_{SO_4} = C_{SO_4 \text{ дод}}, \quad C'_{Cl} = C_{Cl \text{ дод}} + \frac{D_k \cdot C_k}{36500 \cdot 100} \quad (5.13)$$

Таблиця 5.3 - Концентрація $(CO_2)_{\text{охол}}$ в оборотній воді, охолодженій в градирнях

Лужність підживлюючої води L_d , мг-екв/кг	Концентрація $(CO_2)_{\text{охол}}$, 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

$$q_k = \frac{Q \cdot D_k}{1000} \quad (5.14)$$

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 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

$$D_\phi = \left(3 + 0,2 \frac{E}{q_{\text{доб}}}\right) \frac{100}{C}, \quad (5.15)$$

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 P₂O₅ у технічному реагенті, %.

Витрату тринатрійфосфату, кг/год, визначають за формулою

$$G_{\phi} = \frac{D_{\phi} \cdot q_{\text{доб}}}{1000} \quad (5.16)$$

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

$$V_p = \frac{0,1D \cdot q \cdot T}{1000 \cdot b} \quad (5.17)$$

де b – міцність розчину, %;

T – тривалість роботи приготування розчином, год.

Витрата фосфату, г/м³:

$$Q = \left(d_{\phi} + \frac{5W}{24q_d} \right) \frac{100}{C_{\phi}} \quad (5.18)$$

де C_{ϕ} – вміст P₂O₅ в технічному продукті % (для гексаметафосфату 50-52%, тринатрій фосфату 17-18%, суперфосфату 16-18%);

D_{ϕ} – доза P₂O₅, приймають в межах 1,5-2,5 мг/л P₂O₅.

ПРИКЛАДИ РОЗВ’ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Приклад 5. Гранична 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

$$P_d = P_1 + P_3 = 3 + 1,4 = 4,4\% \quad K_{\text{вип}} = \frac{P_d}{P_d - P_1} = \frac{4,4}{4,4 - 1,4} = 1,46$$

За формулою (5.4) 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 $T_2 = 5^{\circ}\text{C}$. 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 $= 6 \cdot 10^{-3}$ 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 прийнятий 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 $L_{\text{д}} K_{\text{вин}} > 3$

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

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 (5.9)

$S_{\text{об}} = 989 \cdot 3,6 = 3600 \text{ мг / кг}$. 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 $\text{CO}_{2\text{охол}} = 5,3$ мг/кг.

Далі за формулою (5.7) 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 невинпадіння в осад сульфату кальцію у разі продувки системи в літньому режимі при $P_3 = 0,1\%$. Винпадіння сульфату кальцію може відбутися, якщо коефіцієнт випаровування $K_{\text{вин}}$ досягне величини, при якій відбудеться неприпустиме збільшення концентрації сульфатів.

Перевіряємо співвідношення (5.10), 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. 5.4 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 (5.12) 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 (5.10) 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 CO_2 в циркуляційній воді після охолоджувача дорівнює 5 мг/л, температура 10 К.

Вирішення:

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

$P_2 = 0,6$ - 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 $L_d = 3$ мг-екв/л, за вихідними даними вода, що додається має лужність $L_d = 4,2$ мг-екв/л. Отже одного підкислення недостатньо. Тому:

1) можна збільшити продувку до необхідного значення.

$$\text{Для визначення продувки знаходимо значення } K_{\text{вин}} = \frac{7,0}{4,2} = 1,67.$$

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

$$P_3 = \frac{P_1 - (K_{\text{вип}} - 1) \cdot P_2}{K_{\text{вип}} - 1} \quad (5.19)$$

$$P_3 = 1,8\%$$

Таким чином продувка дорівнюватиме $P_3 = 1,8 + 0,6 = 2,4\%$ або $360 \text{ м}^3/\text{год}$;

- 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 (5.19):

$$P_3 = 0,64\%$$

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 (5.15)

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

Витрату тринатрійфосфату розраховуємо за формулою (5.16)

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

Робочий розчин тринатрійфосфату готуємо 2% міцністю. Тоді для роботи впродовж $T = 4$ год ємкість робочого баку визначаємо за формулою (5.17)

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

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

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

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 ΔI Визначити чи буде при цьому у системі випадати гіпс (CaSO_4)?

Таблиця 3 - Вихідні дані для виконання контрольної роботи № 2 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, °C	25	25	27	30	27
ΔI , мг-екв/л	3,0	2,7	4,2	2,5	3,4

6. ЗМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ

6.1 Вибір методу зм'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.

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 зм'якшення води повинні бути вирішені наступні завдання:

1. Вибір методу зм'якшення та складу споруд.
2. Розрахунок споруд зі зм'якшення.
3. Розрахунок реагентного господарства.

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

Рекомендації щодо вибору методів зм'якшення наведено в табл. 6.1.

Для часткового усунення карбонатної жорсткості застосовують зм'якшення води вапнуванням. Одночасно з вапнуванням води здійснюють і її коагулювання з використанням у більшості випадків залізного купоросу $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Дозу вапна, в мг/л, визначають для двох розрахункових випадків у залежності від співвідношення концентрації у воді іонів Ca^{2+} і карбонатної жорсткості (табл. 6.2)

Дозу коагулянту, мг/л, визначають за формулою:

$$D_k = 3\sqrt[3]{C}, \quad (6.1)$$

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

Таблиця 6.1 – Методи зм'якшення води

Технологія	Якість вихідної води	Якість фільтрату	
		Загальна жорсткість, мг-екв/л	Загальна лужність, мг-екв/л
<i>Реагентні методи</i>			
1. Вапнування	Необхідне прояснення води	на 0,4-0,8 мг-екв/л більше некарбонатної жорсткості вихідної води	0,8-1,2
2. Вапняно-содове зм'якшення	Необхідне прояснення води	0,5-1,0	0,8-1,2
<i>Катіонування</i>			
3. Одноступеневе Na-катіонування	Каламутність до 5-8 мг/л, кольоровість до 30 град.	0,05-0,1	не змінюється
4. Двохступеневе Na-катіонування	Каламутність до 5-8 мг/л, кольоровість до 30 град.	0,01	не змінюється
5. Паралельне H-катіонування, видалення CO ₂	Каламутність до 5-8 мг/л, кольоровість до 30 град., сумарний вміст хлоридів та сульфатів до 4 мг-екв/л, натрію до 2 мг-екв/л.	0,1	0,4
6. Послідовне H- Na-катіонування	Каламутність до 5-8 мг/л, кольоровість до 30 град.	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 град.	на 0,7-1,5 мг-екв/л більше некарбонатної жорсткості вихідної води	0,7-1,5

$$C = M_{вих} + 50 \left(\frac{(CO_2)}{22} + 2J_k \right) + 29 \frac{(Mg^{2+})}{12} + D_a \left(\frac{100 - m}{100} \right), \quad (6.2)$$

де $M_{вих}$ – вміст завислих речовин у вихідній воді, мг/л; m – вміст CaO у технічному вапні, %;

Для зниження некарбонатної жорсткості поряд з карбонатною застосовують вапняно-содовий метод зм'якшення води. Дози вапна й соди, мг/л, у цьому випадку визначають за співвідношеннями наведеними в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 - 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 прийняті наступні 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 FeCl₃ – 54, для FeSO₄ – 67);

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

$$W = \frac{q \cdot n \cdot D_B}{10000 \cdot b_B \cdot \gamma_B}, \quad (6.3)$$

де q – витрата води, м³/год; n – час, на який готується вапняне молоко; b_B – концентрація вапняного молока (не більша за 5%); γ_B – об'ємна вага вапняного молока (1 т/м³).

6.2 Розрахунок споруд для зм'якшення води реагентним методом

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

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

$$q_{зм} = 100(Ж_{заг}^{вих} - Ж_{заг}) / (Ж_{заг}^{вих} - Ж_{зм}), \quad (6.4)$$

де $Ж_{заг}^{вих}$ – загальна жорсткість вихідної води, мг-екв/л;

$Ж_{заг}$ – загальна жорсткість води, що подається в мережу, мг-екв/л;

$Ж_{зм}$ – жорсткість зм'якшеної води, мг-екв/л.

Для видалення завислих речовин, що утворюються при реагентному зм'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 $\frac{Ca^{2+}}{20} > Ж_k$, вміст магнію у вихідній воді не більший за 15 мг/л

і перманганатна окисність не більше за 10 мг О₂/л, для зм'якшення води застосовують вихрові реактори. Для розрахунку вихрових реакторів приймають: швидкість входу в реактор 0,8-1 м/с, кут конуса 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 і кількості 10 кг на 1 м³ об'єму реактора. У випадку обробки води у вихрових реакторах коагулянт не додають.

Порядок розрахунку установки реагентного зм'якшення води

1. За вихідними даними й вимогами споживачів до зм'якшеної води обирають метод реагентного зм'якшення води.
2. Визначають дози вапна, соди, т/добу,
3. Визначають кількість реагентів (вапна, соди, хлорного заліза) за формулами

$$G_B = \frac{Q \cdot D_s}{P_s \cdot 10^6} \quad (6.5)$$

$$G_c = \frac{Q \cdot D_c}{P_c \cdot 10^6} \quad (6.6)$$

$$G_{\text{коаг}} = \frac{Q \cdot D_k}{P_k \cdot 10^6}, \quad (6.7)$$

де $P_{\text{в}}$ - 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 з завислим шаром осаду або вихрового реактора.
7. Розраховують швидкі фільтри.

6.3. Катіонітне зм'якшення води

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.

6.3.1. Одноступеневе Na-катіонування

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

Вихідні дані для розрахунку установок одноступеневого Na-катіонування:

- корисна продуктивність установки $q_{\text{кор.}}$, м³/год ;
- жорсткість вихідної води $J_{\text{вих.}}$, мг-екв/л;
- лужність вихідної води $L_{\text{вих}} = J_{\text{карб. вих.}}$, мг-екв/л;
- допустима жорсткість зм'якшеної води $J_{\text{зм.}}$, мг-екв/л.

При визначенні загального об'єму фільтруючого матеріалу приймають:

- марку катіоніта – сульфовугілля КУ-2;
- число регенерацій за добу $n_p=1-3$;
- питома витрата солі на регенерацію $q_c=150-200$ г/г-екв.

Робоча обмінна ємкість катіоніта, г-екв/м³:

$$E_{\text{роб}}^{\text{Na}} = \alpha_{\text{Na}} \cdot \beta_{\text{Na}} \cdot E_{\text{повн}} - 0,5 \cdot q_{\text{нит}} \cdot J_{\text{заг.}}, \quad (6.8)$$

де $J_{\text{заг.}}$ – загальна жорсткість вихідної води, г-екв/м³; α_{Na} – коефіцієнт ефективності регенерації, що враховує неповноту регенерації катіонітів, приймають залежно від питомої витрати солі (табл. 6.3); β_{Na} – коефіцієнт, що враховує зниження обмінної ємкості катіоніту за Ca²⁺ і Mg²⁺ унаслідок часткового затримання катіонів Na⁺ і залежить від концентрації натрію у вихідній воді $C_{\text{Na}} = (\text{Na}^+)/23$ г-екв/м³ (табл. 6.4); $E_{\text{повн}}$ – повна обмінна ємкість катіоніта, г-екв/м³, визначається за паспортними даними, а за їх відсутності для сульфовугілля крупністю 0,5-1,1 мм приймають 500-550 г-екв/м³, для катіоніта КУ-2 крупністю 0,8-1,2 мм приймають 1500-1700 г-екв/м³;

$q_{\text{нит}}$ – питома витрата води на відмивання катіоніта, м³/м³ катіоніта, приймають для сульфовугілля – 4 і для КУ-2 – 6; $J_{\text{заг}}$ – загальна жорсткість вихідної води, г-екв/м³;

Таблиця 6.3 – коефіцієнт α_{Na}

Питома витрата солі на регенерацію катіоніта, 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 6.4 – коефіцієнт β_{Na}

$C_{Na}/J_0^{\text{вих}}$	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

Об'єм катіоніта фільтрів I ступеня визначають за формулою:

$$W_k = \frac{24 \cdot Q_{\text{кат.ф.1}} \cdot J_0^{\text{вих}}}{n_p \cdot E_{\text{роб}}^{\text{кат}}}, \text{ м}^3, \quad (6.9)$$

де $Q_{\text{кат.ф.1}}$ – витрата води, що надходить на натрій-катіонування, м³/год; $J_0^{\text{вих}}$ – загальна жорсткість вихідної води, г-екв/м³; $E_{\text{роб}}^{\text{кат}}$ – робоча обмінна ємкість катіоніта, г-екв/м³; n_p – число регенерацій кожного фільтра за добу, приймають від 1 до 3.

Загальна площа фільтрів I ступені:

$$F_{\text{кат.ф.1}} = \frac{W_k}{H_k}, \text{ м}^2, \quad (6.10)$$

де H_k – висота шару катіоніта, приймають 2-2,5м (більшу висоту завантаження приймають при жорсткості більшій за 10 г-екв/м³).

Приклад. Продуктивність установки $Q_{\text{доб.}}=4450$ м³/добу або 185 м³/год. Вміст завислих речовин у зм'якшеній воді не більший за 5-8 мг/л, кольоровість не більша за 30 град. Загальна жорсткість вихідної води $J_{\text{заг.}}=6$ мг-екв/л, карбонатна жорсткість 1,9 мг-екв/л, допустима жорсткість зм'якшеної води 0,2 мг-екв/л. Вміст іонів Na⁺ у вихідній воді становить 15 мг/л.

Вирішення:

Приймаємо установку одноступеневого натрій-катіонування. Розрахунок здійснюють на корисну продуктивність, оскільки для власних потреб використовують прояснену, але не зм'якшену воду.

Повну обмінну ємкість катіоніта приймаємо для сульфовугілля крупністю 0,5-1,1 мм 550 г-екв/м³. Робочу обмінну ємкість катіоніта визначаємо за формулою (6.8).

Для розрахунку робочої обмінної ємкості катіоніта спочатку визначаємо коефіцієнти α_{Na} і β_{Na} , що входять до формули (6.8):

При питомій витраті солі 200 г/г-екв (рекомендована 150-200 г/г-екв при зм'якшенні за одноступеневою схемою) коефіцієнт $\alpha_{Na} = 0,81$.

Оскільки у вихідній воді вміщується 15 мг/л Na⁺, то в перерахунку на мг-екв/л величина концентрації Na⁺ дорівнюватиме

$$C_{Na} = \frac{Na}{23} = \frac{15}{23} = 0,65 \text{ мг-екв/л.}$$

При співвідношенні $\frac{C_{Na}}{Ж_{заг}^{вих}} = \frac{0,65}{6} = 0,108$ коефіцієнт $\beta_{Na} = 0,83$

Тоді $E_{роб}^{Na} = 0,81 \cdot 0,83 \cdot 550 - 0,5 \cdot 4 \cdot 6 = 358$ г-екв/м³.

Необхідний об'єм сульфовугілля за формулою (6.9) $W = \frac{4450 \cdot 6}{2 \cdot 358} = 36$ м³.

Висоту катіонітового завантаження приймаємо 2,5 м.

Допустима розрахункова швидкість фільтрування через Na-катіонітовий фільтр повинна бути в межах 10-25 м/год залежно від загальної жорсткості води.

6.3.2 Двохступеневе Na-катіонування

Натрій катіонітовий метод зм'якшення води за двохступеневою схемою застосовують для глибокого зм'якшення води, коли необхідно знизити жорсткість води до 0,01 мг-екв/л. Застосування такої схеми доцільне при жорсткості вихідної води більшій за 10 мг-екв/л. При розрахунку фільтрів II ступеня жорсткість вихідної води приймають 0,1 мг-екв/л.

При двохступеновому Na-катіонуванні вода, що зм'якшується проходить послідовно через Na-катіонітові фільтри I, а потім II ступеня. На фільтрах I ступеня жорсткість вихідної води знижується на 70-90%. Ці фільтри регенерують при зниженій витраті солі (125-150 г/г-екв поглинених катіонів), а фільтри II ступеня – підвищеній (300-400 /г-екв поглинених катіонів), що дозволяє отримати глибоко зм'якшений фільтрат.

Швидкість фільтрування залежно від жорсткості вихідної води для фільтрів I ступеня становить від 5 до 25 м/год, а для II ступеня – до 60 м/год.

При розрахунку Na-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. Питому витрату повареної солі на регенерацію фільтрів I ступеня приймають 120-150 г/г-екв поглинених катіонів, для регенерації фільтрів II ступеня – 300-400 г/г-екв.
6. Концентрація регенераційного розчину 8-12%.
7. Робоча ємкість поглинання катіоніта 250-300 г-екв/м³

Необхідні для розрахунку технологічні параметри Na-катіонітових фільтрів наведені в табл. 2.1 (додаток 2)

Фільтри II ступеня відмивають (після регенерації) зм'якшеною водою, що отримують після фільтрів I ступеня. Тому для фільтрів II ступеня величина робочої обмінної здатності Na-катіоніта буде більш високою.

7.3.3 H-Na-катіонування

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

– паралельне H-Na-катіонування;

– послідовне *H-Na*-катіонування.

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

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

$$q_{кор}^H = q_{кор} \frac{L_{вих} - L_{зм}}{A + L_{вих}}, \quad (6.11)$$

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

$$q_{кор}^{Na} = q_{кор} - q_{кор}^H, \quad (6.12)$$

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

Вміст іонів у еквівалентну форму переводять за формулами

$$C_{SO_4} = \frac{SO_4^{2+}}{48,03}, \quad (6.13)$$

$$C_{Cl} = \frac{Cl^-}{35,46}. \quad (6.14)$$

Об'єм катіоніта *H*-катіонітових фільтрів визначають за формулою:

$$W_H = \frac{24 \cdot q_H \cdot (Ж_{заг} + C_{Na})}{n_p \cdot E_{роб}^H}, \quad (6.15)$$

Об'єм катіоніта *Na*-катіонітових фільтрів:

$$W_{Na} = \frac{24 \cdot q_{Na} \cdot Ж_{заг}}{n_p \cdot E_{роб}^{Na}}, \quad (6.16)$$

де n – число регенерацій кожного фільтра за добу, приймають 1-3; $E_{роб}^H$ – робоча обмінна ємкість *H*-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:

$$E_{роб}^H = \alpha_H \cdot E_{повн} - 0,5 \cdot q_{нит} \cdot C_k, \quad (6.17)$$

де α_H – коефіцієнт ефективності регенерації *H*-катіонітових фільтрів, приймають залежно від питомої витрати сірчаної кислоти (табл. 6.6); $E_{повн}^{кат}$ – повна обмінна ємкість катіоніта, г-екв/м³, визначається за рекомендаціями п. 6.3.1; $q_{нит}$ – 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.

Робоча обмінна ємкість *Na*-катіонітових фільтрів, г-екв/м³, розраховується за формулою (6.8).

Площу фільтрів визначають за формулами:

$$F_H = \frac{W_H}{H_H}, \quad F_{Na} = \frac{W_{Na}}{H_{Na}}, \quad (6.18)$$

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

Таблиця 6.6 – 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

7. ВИДАЛЕННЯ З ВОДИ ВІЛЬНОЇ ВУГЛЕКИСЛОТИ

При *H-Na*-катіонітовому зм'якшенні, іонітовому знесоленні води виникає необхідність видалення вільної вуглекислоти з метою найбільш повного й ефективного протікання процесу очистки. Крім того, вуглекислота відноситься до числа корозійно-активних газів по відношенню до бетону й металу та чинить безпосередній вплив на показник стабільності води.

Для видалення з води вуглекислого газу застосовують дегазатори (плівкові, з примусовою або природною вентиляцією, барботажні, пінні й вакуумні).

Найбільшого поширення отримали плівкові дегазатори з насадкою з кілець Рашига і хордовою дерев'яною насадкою (при $Q < 150 \text{ м}^3/\text{год}$ і $\text{CO}_2 < 150 \text{ мг/л}$).

Дегазатор являє собою колону, заповнену насадкою (дерев'яною, керамічними кільцями Рашига) для подрібнення потоку води, що подається зверху на плівки, які стікають, що збільшує поверхню контакту води й повітря. Повітря, що нагнічується вентилятором, рухається в насадці назустріч потоку води і потім разом з CO_2 , який виділився, виводиться через верхній патрубок. Витрату повітря приймають 20 м^3 на 1 м^3 води.

Розрахунок дегазатора полягає у визначенні геометричних розмірів поверхні насадки і необхідного напору, що розвиває вентилятор. Необхідні для розрахунку дані наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Технологічні параметри для розрахунку плівкового дегазатора

Показники	Кислотоупорна керамічна насадка	Дерев'яна хордова насадка
Розмір насадки	Кільця Рашига 25×25×3	Бруски
Висота шару насадки, м, залежно від вмісту вуглекислоти, що подається в дегазатор (CO_2) _{св.} , г/м ³		
50	3,0	4,0
100	4,0	5,2
150	4,7	6,0
200	5,1	6,5
250	5,5	6,8
300	5,7	7,0
Щільність зрошення, м ³ /год, на 1 м ² площі дегазатора	60	40
Подача повітря вентилятором, м ³ на 1 м ³ води	15	15
Втрати напору, мм вод. ст., на 1 м висоти шару насадки	30	10

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

Для насадки з кілець Рашига щільність зрошення приймають $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$,

звідки
$$f_d = \frac{Q_d}{60}, \quad (7.1)$$

де Q_d – продуктивність дегазатора, $\text{м}^3/\text{год}$.

Діаметр дегазатора, визначають за формулою

$$D = \sqrt{\frac{4f}{\pi}} \quad (7.2)$$

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

$$F_n = \frac{G}{k_m \cdot \Delta C_{сер}} \quad (7.3)$$

Вміст вільної вуглекислоти $(\text{CO}_2)_{\text{вільн.}}$, $\text{г}/\text{м}^3$, у воді, що подається в дегазатор, визначають за формулою: $(\text{CO}_2)_{\text{вільн.}} = (\text{CO}_2)_{\text{вих.}} + 44 \cdot L_{\text{вих.}}$, (7.4)
де $(\text{CO}_2)_{\text{вих.}}$ – вміст вільної вуглекислоти у вихідній воді, $\text{г}/\text{м}^3$; $L_{\text{вих.}}$ – лужність вихідної води, $\text{мг-екв}/\text{л}$ ($\text{г-екв}/\text{м}^3$).

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

ЗМ 1.1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ З ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Тема 1. ЗАСТОСУВАННЯ ВОДИ В ПРОМИСЛОВОСТІ

1. Особливості систем виробничого водопостачання.
2. Джерела водопостачання.
3. Типи водоспоживання.
4. Витрати води на промислових підприємствах.
5. Вимоги споживачів до якості води.

Контрольні запитання

1. Системи водопостачання промислових підприємств.
2. Види споживання води у виробництві.
3. Норми водопостачання.
4. Які вимоги ставляться до якості охолоджуючої води?
5. Які вимоги пред'являють до якості води, що використовується у оборотних системах технічного водопостачання.
6. Вимоги до якості води для живлення котлів різної конструкції та різного тиску.

Тема 2. СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Основні схеми виробничого водопостачання.
2. Раціональні системи водокористування на промислових підприємствах.
3. Критерії ефективності використання води у виробництві.

Контрольні запитання

1. Існуючі схеми використання води на промислових підприємствах.
2. Послідовно-оборотні системи водопостачання. Їх переваги перед прямо-точними системами.

3. Ускладнення в роботі діючих систем водопостачання та водовідведення промислових підприємств.
4. Чим відрізняються замкнені системи водопостачання від оборотних?
5. У чому полягає сутність раціонального використання води?
6. Сформулюйте основні тенденції раціонального водокористування на сучасному етапі.

Тема 3. БАЛАНСИ ВОДИ Й СОЛЕЙ В ОБОРОТНИХ ЦИКЛАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Втрати води в оборотних системах. Водний баланс оборотних систем.
2. Поняття коефіцієнта концентрування солей (K_k) або коефіцієнта упарювання. Визначення K_k на підставі водного балансу системи.
3. Визначення коефіцієнта концентрування через сольовий баланс системи.
4. Водно-хімічний режим оборотних систем.

Контрольні запитання

1. Поняття продувки й підживлення систем оборотного водопостачання.
2. Рівняння водно-сольового балансу.
3. Використання коефіцієнта концентрування добре розчинних солей для розрахунків водно-хімічного режиму роботи систем оборотного водопостачання.

Рекомендована література:

1. Водне господарство промислових підприємств: навч. посібник / Т. С. Айрапетян – Х.: ХНАМГ, 2010.– 280 с.
2. Аксенов В. И. Водное хозяйство промышленных предприятий: Справ. пособие – М.: Теплотехник, 2005. – 640с.
3. Иванов В. Г. Водоснабжение промышленных предприятий: Учеб. пособ. - СПб: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – 537с.
4. Алферова Л. А., Нечаев А. П. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов.– М.: Стройиздат, 1984.– 272 с.
5. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води. – К.: Вища школа, 2005. – 671 с.

ЗМ 1.2 ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ

Тема 4. СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ

1. Класифікація систем охолодження.
2. Система водяного охолодження. Принцип і схеми.
3. Випарне охолодження, принцип і схеми.
4. Техніко-економічні показники систем охолодження.

Контрольні запитання

1. Надайте класифікацію систем охолодження води.
2. Сутність системи водяного охолодження та умови застосування.
3. Переваги охолодження гарячою водою в порівнянні з низькотемпературним охолодженням.
4. У чому полягає сутність випарного охолодження води?
5. У чому полягають переваги випарного охолодження в порівнянні з водяним.

Тема 5. ОХОЛОДЖЕННЯ ОБОРОТНОЇ ВОДИ

1. Процеси охолодження в охолоджувачах.
2. Класифікація споруд для охолодження води.
3. Якісні і кількісні характеристики роботи охолоджувачів.

Контрольні запитання

1. Наведіть класифікацію споруд, що застосовують для охолодження води.
2. За рахунок яких процесів відбувається охолодження води повітрям?
3. Як відбувається охолодження води у відкритих системах.
4. Що характеризують теплове і гідравлічне навантаження.
5. Які показники характеризують якісну сторону охолодження води.

Тема 6. ОХОЛОДЖУВАЧІ ВОДИ

1. Водосховища-охолоджувачі.
2. Бризкальні басейни.
3. Класифікація градирень, їх конструкції.
4. Умови застосування охолоджувачів.

Контрольні запитання

1. Водосховища-охолоджувачі. Типи, умови використання.
2. Класифікація водосховищ-охолоджувачів. Схеми циркуляції води в водосховищах-охолоджувачах.
3. Застосування водосховищ-охолоджувачів і бризкальних басейнів для охолодження води. Переваги й недоліки.
4. Типи градирень.
5. Водорозподільні, зрошувальні та інші пристосування градирень.
6. Принципи розрахунку градирень (відкритих, баштових, вентиляторних).

Тема 7. ОБРОБКА ВОДИ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Причини та види заростання труб і теплообмінних апаратів.
2. Поняття стабільності води, рівняння вуглекислотної рівноваги.
3. Методи обробки води для попередження карбонатних відкладень, корозії труб і теплообмінних апаратів.

Контрольні запитання

1. Основні причини заростання трубопроводів оборотних систем охолодження.
2. Сольовий режим добре розчинних солей в оборотній воді.
3. Визначення стабільності води.
4. Назвіть основні методи запобігання щільним сольовим відкладенням у оборотних системах водопостачання.
5. Обробка води для запобігання карбонатних відкладень методами підкислення і рекарбонізації.
6. Фосфатування, фосфатування з кислотною обробкою.
7. Які методи запобігання сольовим відкладенням застосовують у системах водопостачання газоочисток конверторних цехів?
8. Корозія труб і обладнання в системах оборотного охолодження. Параметри, що впливають на інтенсивність корозії.

Рекомендована література:

1. Водне господарство промислових підприємств: навч. посібник / Т. С. Айрапетян – Х.: ХНАМГ, 2010.– 280 с.
2. Аксенов В. И. Водное хозяйство промышленных предприятий: Справ. пособие – М.: Теплотехник, 2005. – 640с.
3. Иванов В. Г. Водоснабжение промышленных предприятий: Учеб. пособ. - СПб: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – 537с.
4. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води. – К.: Вища школа, 2005. – 671 с.

ЗМ 1.3 СПЕЦІАЛЬНА ОБРОБКА ВОДИ ДЛЯ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Тема 8. МЕТОДИ ПІДГОТОВКИ ВОДИ ДЛЯ ПОТРЕБ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Основні методи й процеси підготовки води.
2. Попередня очистка (обробка) води у прояснювачах.
3. Фільтрування води. Класифікація фільтрів.
4. Прояснювальні (швидкі) фільтри. Конструкції і принцип роботи безнапірних і напірних фільтрів.

Контрольні запитання

1. Основні технологічні процеси й споруди, що використовують при підготовці води.
2. Від чого залежить вибір способу обробки води?
3. Завдання попередньої очистки води.
4. Конструкція і принцип роботи безнапірних швидких кварцових і пінополістирольних фільтрів напірних фільтрів.

Тема 9. ЗМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ

1. Класифікація методів зм'якшення води, сутність процесу
2. Зм'якшення води реагентними методами
3. Зм'якшення води катіонуванням
4. Na–катіонування, H–, Na–H катіонування

Контрольні запитання

1. Основні методи зм'якшення води.
2. Зм'якшення води вапнуванням.
3. У чому полягає сутність катіонообмінного методу зм'якшення води?
4. Які основні типи катіонообмінних матеріалів?
5. Сутність катіонообмінного процесу зм'якшення води.
6. Які є типи катіонообмінних фільтрів?
7. Назвіть переваги й недоліки процесу Na –катіонування за одноступінчастою схемою і при його організації у дві ступені.
8. Опишіть схему Na - катіонітового зм'якшення води.
9. Що таке повна й робоча обмінна ємність катіоніта?
10. Опишіть H- катіонітове зм'якшення води.
11. Опишіть H – Na –катіонування води.

12. Чим відрізняється паралельноточна від протиточної технології іонного обміну й конструкції фільтрів?

Тема 10. ЗНЕСОЛЕННЯ, ЗНЕКРЕМНЕННЯ ВОДИ

1. Часткове й повне знесолення води. Схеми установок для іонітового знесолення води.
2. Знекремнення води, основні методи, схема установки.
3. Повне знесолення і знекремнення води.
4. Випарні установки для знесолення води.

Контрольні запитання

1. У чому полягає сутність технології іонообмінної підготовки води?
2. Як здійснюється процес регенерації іонітів?
3. Які є способи утилізації регенераційних розчинів?
4. Поясніть принцип дії іонітових фільтрів і фільтрів змішаної дії? Де їх застосовують?
5. У чому полягає сутність реагентного методу знекремнення води?
6. Опишіть установку для реагентного знекремнення води.
7. Який вплив температури та інших показників на процес знекремнення води?
8. Що таке знесолення і опріснення води?
9. Сутність іонообмінного способу знесолення води?
10. Опишіть установку для іонітового знесолення води.
11. Опишіть аніоніти, їх типи, хімізм процесу.
12. У чому суть випарного способу знесолення води?
13. Опишіть одноступеневу випарну установку.

Тема 11. ВИДАЛЕННЯ З ВОДИ РОЗЧИНЕНИХ ГАЗІВ

1. Основи процесу дегазації.
2. Фізичні методи видалення газів з води, типи дегазаторів.
3. Хімічні методи видалення розчинених газів.
4. Видалення з води вільної вуглекислоти (декарбонізація води).
5. Термічна деаерація води.

Контрольні запитання

1. З якою метою організовують очистку води від розчинених газів?
2. Принципи очистки води від розчинених газів і типи дегазаторів.
3. Які реагенти використовують для хімічного зв'язування розчинених у воді O_2 і CO_2 ?
4. Фізичні методи дегазації. Конструкції дегазаторів. Принцип розрахунку.

Тема 12. ОСОБЛИВОСТІ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ РІЗНИХ ГАЛУЗЕЙ

1. Особливості водопостачання підприємств теплоенергетики.
2. Водопостачання підприємств чорної металургії.

Контрольні запитання

1. Основні споживачі води на ТЕС.
2. Наведіть схему конденсаційної електростанції.

3. Системи охолодження конденсаторів парових турбін.
4. Основні етапи хімічної підготовки води для живлення парових котлів.
5. Які вимоги ставляться до якості води, що використовують у оборотних системах технічного водопостачання?
6. Вимоги до якості води для живлення котлів різних конструкцій і різного тиску.
7. Основні технологічні процеси й споруди, які використовують при підготовці води на ТЕС.
8. Системи охолодження доменних печей.
9. Які види стічних вод утворюються в доменному виробництві?
10. Як здійснюють очистку газів доменних печей?
11. Водопостачання сталеплавильного виробництва. Вимоги до якості води.
12. Водопостачання і очистка стічних вод прокатних станів.

Рекомендована основна література:

1. Водне господарство промислових підприємств: навч. посібник / Т. С. Айрапетян – Х.: ХНАМГ, 2010.– 280 с.
2. Аксенов В. И. Водное хозяйство промышленных предприятий: Справ. пособие – М.: Теплотехник, 2005. – 640с.
3. Иванов В. Г. Водоснабжение промышленных предприятий: Учеб. пособ. - СПб: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – 537с.
4. Рациональное использование и защита водных ресурсов в черной металлургии/ Красавцев Г. Н., Ильичев Ю. И., Кашуба А. И. - М.: Металлургия, 1989.– 288 с.

Додаткова література:

1. 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.
2. Кучеренко Д. И., Гладков В. А. Обратное водоснабжение (системы водяного охлаждения).– М.: Стройиздат, 1980.–168с.
3. Стерман Л. С., Покровский В. Н. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС. - М.: Энергоатомиздат, 1991. – 327 с.
4. Тепловые и атомные электрические станции / Л. С.Стерман, В. М.Лавыгин, С. Г.Тишин. – 2-е изд., перераб. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 408 с.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Айрапетян Т. С. Водне господарство промислових підприємств: навч. посібник. – 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.: Будивельник, 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.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1

Таблиця 1.1 - Коефіцієнти $K_{вин}$ для градирень

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

Таблиця 1.2 - 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 1.3 - 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 1.4 - 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	

Таблиця 2.1 – 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:	По	250 - 300
швидкість пропуску відмивної води через катіоніт, м/год..	розрахунках	
питома витрата відмивної води, м ³ /м ³ , при завантаженні фільтра:	6 - 8	6 - 8
сульфовугіллям.....	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

Навчальне видання

Методичні вказівки

до практичних занять та самостійного вивчення дисципліни
«ОСОБЛИВОСТІ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ»

(для студентів 5-6 курсів денної і заочної форм навчання
спеціальності 7.06010302 – «Раціональне використання і охорона водних
ресурсів»).

Укладач: **Айрапетян** Тамара Степанівна

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Н. В. Зражевська*

План 2013, поз. 81М

Підп. до друку 08.05.2013

Друк на ризографі.

Зам. №

Формат 60x84/16

Ум. друк. арк. 2,0

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011 р.