

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до практичних занять, виконання розрахунково-графічної
роботи та самостійного вивчення
з навчальної дисципліни
«ЗВОРОТНІ ТА БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИ ВОДОКОРИСТУВАННЯ
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»

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

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2022

Методичні рекомендації до практичних занять, виконання розрахунково-графічної роботи та самостійного вивчення з навчальної дисципліни «Зворотні та безстічні системи водокористування промислових підприємств» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : С. М. Епоян, Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 74 с.

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

Рецензент

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

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 01.09.2021

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ.....	5
1.1 Баланси води і солей в системах зворотного водопостачання.....	5
1.2 Обробка води в системах зворотного водопостачання	11
1.3 Розрахунок споруд для очищення виробничих стічних вод	18
1.4 Розрахунок охолоджувачів зворотної води	23
1.5 Стабілізація іонного складу води у зворотних і повністю замкнених системах (системах без продувки).....	26
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ	34
2.1 Структура й оформлення розрахунково-графічного завдання	34
2.2 Рекомендації до виконання основних розділів розрахунково-графічного завдання.....	34
2.3 Вибір системи і схеми виробничого водопостачання.....	36
2.4 Розрахунок водоспоживання основних виробництв металургійного заводу. Складання балансової схеми водоспоживання.....	37
2.5 Проектування систем зворотного водопостачання окремих цехів металургійного заводу.....	42
2.6 Розрахунок системи зворотного водопостачання «брудного циклу»	54
2.6.1 Розрахунок споруд локальної очистки	55
2.6.2 Розрахунок мереж виробничого водопостачання.....	55
2.6.3 Розрахунок насосної станції. Вибір насосів.....	58
3 ЗМІСТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИСЦИПЛІНИ, КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	60
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
ДОДАТКИ.....	69

ВСТУП

Промислове водопостачання призначено для надійного забезпечення водою необхідної якості виробничих процесів на підприємствах різних галузей промисловості і є складовою частиною всієї системи водного господарства промислового підприємства, що включає також його систему каналізації.

Основні завдання в області промислового водопостачання нерозривно пов'язані з раціональним використанням водних ресурсів, підвищенням ефективності функціонування систем водного господарства промислових підприємств та їх екологічною безпекою:

- впровадження безводних и маловодних технологічних схем;
- широке застосування зворотних і замкнених систем водопостачання з відповідною очисткою або охолодженням води;
- повторне використання очищених виробничих та міських стічних вод.

Метою викладання навчальної дисципліни «Зворотні та безстічні системи водокористування промислових підприємств» є підготовка фахівців, які володітимуть знаннями та вміннями, пов'язаними з вирішенням проблем водопостачання промислових підприємств на основі максимального, багаторазового використання очищених стічних вод у зворотних системах при практично повному припиненні скиду у водойми. Проєктування зворотних і замкнених (безстічних) систем водного господарства промислових підприємств дозволить забезпечити охорону водних джерел від виснаження та забруднення і гарантуватиме мінімальну екологічну шкоду навколишньому природному середовищу.

1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

На практичних заняттях студенти під керівництвом викладача засвоюють теоретичний матеріал і набувають навички практичних розрахунків зворотних і замкнених систем промислового водопостачання.

Програма дисципліни «Зворотні і безстічні системи водопостачання промислових підприємств» передбачає набування досвіду проєктування зворотних систем промислового водопостачання, засвоєння методики розрахунку водно-сольового балансу та прогнозування складу зворотної води й можливості утворення щільних сольових відкладень, розрахунку споруд з очистки й охолодження зворотної води.

Під час вивчення теоретичної частини дисципліни розглядаються такі основні питання:

- основні принципи створення зворотних і замкнених (безстічних) систем водного господарства промислових підприємств;
- методи і споруди для підготовки води з метою її повторного (багаторазового) використання в системах виробничого водопостачання;
- ускладнення, що виникають у роботі систем зворотного водопостачання і основні причини порушення водно-хімічного режиму їх роботи;
- використання біологічно очищених міських стічних вод і поверхневого стоку як джерела технічного водопостачання;
- стабілізація мінерального складу зворотної води у зворотних та безстічних системах;
- очистка і використання у зворотних системи водопостачання стічних вод основних цехів металургійних заводів;

1.1 Баланси води і солей в системах зворотного водопостачання

Складання балансових схем водопостачання промислових підприємств

Балансова схема складається на підставі потрібної витрати води та її якісних характеристик, встановлених для кожного процесу або циклу, витрати та забрудненості стоків, можливості й доцільності очистки цих стоків та доведення їх якості до показників, що допускають їх повторне використання.

Балансова схема водопостачання та водовідведення промислового підприємства ґрунтується на порівнянні вимог до якості води й можливості їх забезпечення в процесі очистки; умов отримання підприємством свіжої води; економічних наслідків відведення використаних вод; техніко-економічних показників реалізації такої схеми та ін. Балансова схема може бути представлена по гідравлічним потокам водного господарства; по масам циркулюючих забруднень та забруднень, що виводяться.

Зазвичай представляється балансова схема водних потоків, на які зазначаються споживачі, витрати води, що подається; втрати води; витрати, місця збору й відведення стоків; зокрема накопичувачі води, споруди для охолодження, водопідготовки, очистки тощо.

На балансовій технологічній схемі на відміну від принципової схеми, повинні бути представлені типи споруд та обладнання, що застосовані в основному та допоміжному процесах, данні про кількість речовин, що входять та виходять зі споруд, витрати стічних вод, продемонстровані необхідні фізичні і хімічні параметри (рН, температура, витрата повітря для перемішування).

Відомості про матеріальний баланс води та речовини (забруднення) вказуються над лініями потоків. При складанні матеріального балансу потоків слід враховувати втрати очищеної води у відстійниках, пісколовках, флотаторах (осад, жири, нафтапродукти тощо).

Визначення коефіцієнта концентрування добре розчинних солей через водний та сольовий баланси

У відкритих системах зворотного водопостачання відбуваються втрати води за рахунок випаровування частини її в охолоджувачі (P_1) та через краплинне винесення вітром (P_2). У результаті випаровування втрачається в середньому 0,15 % охолоджуючої води при зниженні її температури на 1°, виноситься повітрям у градирнях 0,2–0,3 % охолоджуючої води.

Втрати води на випаровування в градирнях, %:

$$P_1 = K_{\text{вип}} \cdot \Delta t \cdot 100, \quad (1.1)$$

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

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

Втрати води з краплинним винесенням вітром залежать від типу охолоджувача (табл. А.4, дод. А).

При експлуатації зворотних систем водопостачання промислових підприємств дуже важливо знати динаміку зміни у воді концентрації окремих іонів і загального солевмісту. Вважається, що розчинені солі води, що випарилася (повністю або частково) залишаються у зворотній воді, підвищуючи їх концентрацію.

Підвищення концентрації солей може викликати процеси корозії теплообмінних систем і комунікацій або привести до інкрустації теплообмінних поверхонь трубопроводів і арматури.

Усі втрати води в охолоджувальній системі зворотного водопостачання компенсуються додаванням води з джерела водопостачання. Крім того, зазвичай зворотна вода освіжається продувкою, що знижує загальний солевміст і концентрацію окремих іонів. В результаті дії всіх цих чинників досягається свого роду рівновага, при якій концентрації, що встановилися залежать від співвідношення між кількістю води й розчинених речовин, що надходять і видаляються.

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

а) за випаровуванням води:

$$K_{\text{вип}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} = \frac{P_{\text{д}}}{P_{\text{д}} - P_1}, \quad (1.2)$$

б) за концентруванням солей:

$$K_K = \frac{C_{\text{зв}}}{C_{\text{д}}} \quad \text{або} \quad K_{\text{Cl}} = \frac{Cl_{\text{зв}}^-}{Cl_{\text{д}}^-}, \quad (1.3)$$

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);

$C_{\text{зв}}$, $C_{\text{д}}$ – концентрації розчинених солей відповідно у зворотній і підживлюючій воді;

$Cl_{\text{зв}}^-$, $Cl_{\text{д}}^-$ – концентрації іонів хлору відповідно у зворотній і підживлювальній воді.

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

$$K_{\text{вип}} = \frac{[Cl^-]_{\text{зв}}}{[Cl^-]_{\text{д}}} = \frac{[SO_4^{2-}]_{\text{зв}}}{[SO_4^{2-}]_{\text{д}}} = \dots = \frac{C_{\text{зв}}}{C_{\text{д}}} = \frac{C_{\text{д}} + \Delta C}{C_{\text{д}}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3}, \quad (1.4)$$

де p_1 , p_2 , p_3 – втрати води внаслідок випаровування, винесення крапель вітром та стабілізаційна витрат;

$C_{\text{зв}}$ – заданий за умовами забезпечення корозійної стійкості матеріалів солевміст зворотної води, мг/л;

$\Delta C = C_{\text{зв}} - C_{\text{д}}$ – збільшення солевмісту зворотної води внаслідок випаровування;

C_d – солевміст підживлювальної води, мг/л;

$[Cl^-]_{зв}$ – концентрація іонів хлору у зворотній воді, мг/л;

$[Cl^-]_d$ – концентрація іонів хлору в підживлюючій воді, мг/л;

$[SO_4^{2-}]_{зв}$ та $[SO_4^{2-}]_d$ – концентрація іонів сульфату у зворотній та підживлюючій воді, мг/л.

Зміна концентрації іонів у зворотній воді залежить від умов експлуатації системи, тобто від величини продувки й методу обробки підживлюючої води, а також якості води в охолоджувачі.

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

$$P_3 = \frac{C_d \cdot P_1}{C_{об} - C_d} - P_2, \quad (1.5)$$

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

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

або

$$P_3 = \frac{Ж_{ДОБ}^K \cdot P_1}{Ж_{ГРАН}^K - Ж_d^K} - P_2. \quad (1.6)$$

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.

Якщо *система працює без продувки*, то збільшення концентрації розчинених речовин у зворотній воді описують такою залежністю:

$$C_{зв} = C_{вих} + \frac{q_d \cdot t}{V} C_d, \quad (1.7)$$

де $C_{вих}$ – вихідна концентрація речовин у воді, що заповнює систему (до включення охолоджувача у зворотний цикл);

q_d – кількість води, що додають до системи для компенсації втрат води на випаровування, м³/год;

V – об'єм води у системі, м³;

t – час роботи системи без продувки, год.

Якщо прийняти, що $C_{вих} = C_d$, формула (1.6) набуває простішого вигляду

$$C_{зв} = \left(1 + \frac{q_d \cdot t}{V}\right) C_d, \text{ мг/л.} \quad (1.8)$$

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

$$C_{зв} = K_K \cdot C_d. \quad (1.9)$$

Звідси
$$K_K = 1 + \frac{q_d \cdot t}{V} \quad \text{або} \quad K_K = 1 + \frac{P_1 \cdot Q_{об}}{V} t, \quad (1.10)$$

де $Q_{зв}$ – кількість води, що знаходиться у звороті, м³/год;

P_1 – величина випаровування води у зворотній системі, відсоток від витрати зворотної води.

Завдання для самостійного розв'язання

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

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для виконання контрольної роботи за варіантами

Вихідні дані	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Лужність зворотної води $L_{ц}$, мг-екв/л	4,2	4,5	3,9	4,1	4,6
Витрата зворотної води, $Q_{об}$, м ³ /год	$6 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^3$	$6,5 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$

Продовження таблиці 1.1

Лужність підживлювальної води, L_d , 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 $C_{доб}$, мг/л	550	570	610	450	490

Задача 2. Об'єм води в басейні зворотного циклу електростанції дорівнює V , а кількість води у звороті $Q_{зв}$. Через скільки годин роботи зворотного циклу з моменту його пуску вихідна концентрація хлоридів у зворотній воді збільшиться у n разів ($C_{зв} = n C_{вих}$) за умови, якщо $C_{вих} = C_d$, і система працює без продувки?

Таблиця 1.2 – Вихідні дані для виконання контрольної роботи за варіантами

Параметри	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Об'єм води у басейні зворотного 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 у звороті $Q_{об}$, $m^3/год$	$2 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^4$
Втрати води на випаровування P_1 , %	0,02	0,025	0,02	0,008	0,02
Збільшення концентрації розчинних у зворотній воді речовин n	2,2	1,2	1,5	2,0	1,3

1.2 Обробка води в системах зворотного водопостачання

Як показує досвід експлуатації, при роботі систем водопостачання газоочисток металургійних агрегатів в газоочисних апаратах і трубопроводах відбувається інтенсивне утворення щільних сольових відкладень. Це викликає серйозні ускладнення у роботі доменних печей, кисневих конвертерів, агломераційних машин й інших металургійних агрегатів.

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 іонів CO_3^{2-} , які реагують з іонами Ca^{2+} і утворюють малорозчинні сполуки CaCO_3 , що осаджуються на стінках трубопроводів:



Якщо таке розкладання в системі відсутнє, то має місце співвідношення

$$L_{\text{зв}} = K_{\text{к}} \cdot L_{\text{д}}, \quad (1.12)$$

де $L_{\text{зв}}$, $L_{\text{д}}$ – лужність відповідно циркуляційної і добавочної води, мг-екв/л.

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

$$\Delta L = K_{\text{вип}} \cdot L_{\text{д}} - L_{\text{зв}}. \quad (1.13)$$

Необхідність обробки води для запобігання карбонатним відкладенням визначають за лужністю води, що додають до системи, і коефіцієнтом випаровування зворотної води, за умови, якщо

$$L_{\text{д}} \cdot K_{\text{к}} \geq 3, \quad (1.14)$$

де $L_{\text{д}}$ – лужність свіжої (підживлювальної) води, мг-екв/л;

$K_{\text{к}}$ – коефіцієнт випаровування або концентрування добре розчинних солей оборотної води.

Боротьбу з відкладаннями карбонату кальцію в теплообмінних апаратах і трубопроводах систем оборотного водопостачання ведуть наступними способами:

1) безперервним додаванням в систему зворотного водопостачання води з меншою карбонатною жорсткістю при скиді частини відпрацьованої (оборотної) води з системи (продувкою);

2) підкисленням (обробка кислотою);

3) фосфатуванням – (додавання у зворотну воду речовин, що гальмують процес кристалізації карбонату кальцію – поліфосфат натрію, триполіфосфат натрію $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$);

4) кислотно-фосфатною обробкою;

5) рекарбонізацією (компенсація втрат рівноважної вуглекислоти в системі оборотного водопостачання шляхом додавання у воду вуглекислоти, наприклад димових газів);

6) зм'якшенням підживлювальної води вапном з проясненням, натрій-катіонуванням або Н-катіонуванням з голодною регенерацією.

Кількість води, що скидають з системи під час продувки для підтримання гранично допустимої (максимальної) величини карбонатної жорсткості зворотної води, % від витрати оборотної води, визначають за формулою

$$P_3 = \frac{P_1 \cdot \mathcal{J}_{\text{доб}}^K}{\mathcal{J}_{\text{гран}}^K - \mathcal{J}_{\text{доб}}^K} - P_2, \quad (1.15)$$

де $\mathcal{J}_{\text{доб}}$ – карбонатна жорсткість свіжої води, що додається мг-екв/л;

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

Метод підкислення

При підкисленні води дозу кислоти D_k мг/л з розрахунку на підживлювальну воду визначають за формулою:

$$D_k = e \left(L_d - \frac{L_{\text{об}}}{K_k} \right) \frac{100}{C_k}, \quad (1.16)$$

де C_k – вміст сірчаної або соляної кислоти % (для сірчаної кислоти $C_k = 92$ %);

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

Лужність зворотної води, мг-екв/л:

$$L_{\text{зв}} = 0,1N \sqrt{4,84N^2 (P - P_1)^2 + (100 - P)(\text{CO}_2)_{\text{охол}} + P(\text{CO}_2)_d + 44PL_d} - 0,22N^2 (P - P_1),$$

де $P = P_1 + P_2 + P_3$ – добавка води до системи, %;

$$N = \frac{\psi}{\sqrt{K_k (\text{Ca}^{2+})_d}}; \quad (1.17)$$

Таблиця 1.3 – Визначення коефіцієнта ψ

Температура охлажденної води, t_2 °C	Солевміст охолодженої води, $S_{зв}$, мг/л														
	200	400	600	800	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000	5 500	6 000
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

де ψ – коефіцієнт, що визначається залежно від загального солевмісту зворотної води та температури охолодженої води (табл. 1.3).

$(\text{CO}_2)_{\text{охол}}$ – концентрація вуглекислоти в оборотній воді після охолоджувача, мг/л, що визначається залежно від лужності підживлювальної води й коефіцієнта концентрування води в системі (табл. 1.4).

Загальний солевміст оборотної води:

$$S_{об} = S_{доо} K_k. \quad (1.18)$$

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

$$f^2 \cdot C_{Ca} \cdot C'_{SO_4} \cdot K_y^2 \leq PP_{CaSO_4}, \quad (1.19)$$

де f – коефіцієнт активності двохвалентних іонів (табл. 1.5), що визначається залежно від іонної сили розчину оборотної води.

Таблиця 1.4 – Концентрація $(\text{CO}_2)_{\text{охол}}$ у зворотній воді, охолодженій в градирнях

Лужність підживлювальної води L_d , мг-екв/л	Концентрація $(\text{CO}_2)_{\text{охол}}$, мг/л, 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

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

$$\mu = \frac{K_y}{2} [(C'_{Cl^-} + C_{HCO_3^-} + C_{Na^+}) + 4(C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}} + C'_{SO_4^{2-}})], \quad (1.20)$$

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

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

При підкисленні сірчаною кислотою

$$C'_{SO_4} = C_{SO_4 \text{ дод}} + \frac{D_{\kappa} \cdot C_{\kappa}}{98\,000 \cdot 100}, \quad (1.21)$$

$$C'_{Cl} = C_{Cl \text{ доб.}} \quad (1.22)$$

При підкисленні соляною кислотою

$$C'_{SO_4} = C_{SO_4 \text{ дод}}, \quad (1.23)$$

$$C'_{Cl} = C_{Cl \text{ дод}} + \frac{D_{\kappa} \cdot C_{\kappa}}{36\,500 \cdot 100} \quad (1.24)$$

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

Таблиця 1.5 – 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	—	—

Витрату кислоти, необхідну для обробки води визначають за формулою:

$$q_{\kappa} = \frac{Q \cdot D_{\kappa}}{1000}. \quad (1.25)$$

Тут Q – загальна кількість води, що додають до системи:

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

де – D_{κ} – доза кислоти, г/м³.

Фосфатування

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

Фосфатування застосовують у випадку, якщо лужність свіжої води, що додається до системи, не перевищує 3,5–4 мг-екв/л.

Доза технічного продукту (тринатрійфосфату або суперфосфату):

$$D_{\phi} = (3 + 0,2 \frac{E}{q_d}) \frac{100}{C}, \quad (1.25)$$

де E – об'єм води в системі, м^3 ;

q_d – кількість води, що додають до системи, $\text{м}^3/\text{год}$;

C – вміст P_2O_5 у технічному реагенті, %.

Витрату тринатрійфосфату, $\text{кг}/\text{год}$, визначають за формулою

$$G_{\phi} = \frac{D_{\phi} \cdot q_{\text{доб}}}{1\,000}. \quad (1.26)$$

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

$$V_p = \frac{0,1 \cdot D \cdot q \cdot T}{1\,000 \cdot b}, \text{ м}^3 \quad (1.27)$$

де b – міцність розчину, %;

T – тривалість роботи приготування розчином, год.

Витрата фосфату, $\text{г}/\text{м}^3$:

$$Q = (d_{\phi} + \frac{5W}{24q_o}) \frac{100}{C_{\phi}}, \quad (1.28)$$

де C_{ϕ} – вміст P_2O_5 у 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 $\text{мг}/\text{л}$ P_2O_5 .

Метод рекарбонізації

Метод рекарбонізації зворотної води димовими газами або вуглекислотою застосовують для обмеженого діапазону величини лужності і коефіцієнта випаровування. На практиці метод рекарбонізації застосовують при лужності підживлювальної води до 3–3,5 $\text{мг-екв}/\text{л}$ і коефіцієнтах випаровування, що не перевищують 1,5.

Дозу вуглекислоти, $\text{мг}/\text{л}$, в перерахунку на витрату зворотної води:

$$D_{\text{CO}_2} = \frac{L_d^2}{N} \left(\frac{P}{P - P_1} \right)^2 - \frac{100 - P}{100} (CO_2)_{\text{охл}} - \frac{P}{100} (CO_2)_d \quad (1.29)$$

або

$$D_{CO_2} = \frac{(\Pi_D \cdot K_{\text{вип}})^2}{N^2} - \frac{100 - P}{100} (CO_2)_{\text{охл}} - \frac{P}{100} (CO_2)_D;$$

$$N = \frac{\psi}{\sqrt{K_{\text{вип}} \cdot Ca_D}},$$

де ψ – величина, що залежить від загального солемісту оборотної $S_{\text{об}}$ і температури охолодженої води t_2 .

Приклади розв'язання

Приклад 1. Гранична лужність зворотної води дорівнює 4,5 мг-екв/л. Лужність підживлюючої води 4,2 мг-екв/л. Наскільки необхідно знизити підкисленням лужність води, що додають до системи, якщо втрати на випаровування і з продувкою системи відповідно складають 1,4 і 3 %.

Розв'язання

Знаходимо добавку води в систему P_D і коефіцієнт випаровування:

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

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

Знаходимо значення ΔL_D , на яке знизиться лужність підживлюючої води при її підкисленні:

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

1.3 Розрахунок споруд для очищення виробничих стічних вод

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

Горизонтальні відстійники

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

$$F = \frac{Q}{q_{yd}}. \quad (1.30)$$

Довжина відстійника

$$L = V_{cp} \cdot t, \quad (1.31)$$

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

t – час перебування води у відстійнику, с;

$$t = \frac{H}{U_0}, \quad (1.32)$$

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:

$$B = \frac{Q}{V_{cp} \cdot H}. \quad (1.33)$$

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

Радіальні відстійники

Найбільшого розповсюдження при очищенні стічних вод металургійних виробництв придбали відстійники діаметром 30 м з камерою флокуляції конструкції ДП УкрНТЦ «Енергосталь». Технічні характеристики радіальних відстійників із вбудованою камерою флокуляції наведено у таблиці Б.1 (дод. Б).

Відстійник має в центральній частині глибину 6 м, біля стінки (на периферії) – 3,18 м. Максимальна продуктивність – 3 500 м³/год. Камера флокуляції має діаметр 10 м і розташована в центрі відстійника. Наявність камери флокуляції дозволяє збільшити гідравлічне навантаження в порівнянні із звичайними відстійниками.

Для інтенсифікації процесу очищення стічних вод застосовують різні коагулянти і флокулянти. Як коагулянти найчастіше використовують хлорне і сірчаноокисле залізо, сірчаноокислий алюміній, вапно й ін., як флокулянти – різні високомолекулярні органічні сполуки, наприклад, поліакриламід (ПАА), активована кремнекислота й ін.

При визначенні площі зони осадження в цих відстійниках не враховується площа камери флокуляції.

Площа зони осадження радіальних відстійників, м²:

$$F = \frac{Q}{q_{\text{уд}}} . \quad (1.34)$$

Площа зони осадження одного відстійника, м²:

$$F_1 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} , \quad (1.35)$$

де D – діаметр відстійника, 30 м;

d – діаметр камери флокуляції, 10 м.

Число відстійників:

$$n = \frac{F}{F_1} . \quad (1.36)$$

Відкриті безнапірні гідроциклони і флокулятори

Флокулятор – апарат, в якому суміщені конструктивні елементи відкритого гідроциклона та радіального відстійника. Діаметр флокулятора і висота 12 м. При очищенні стічних вод газоочисток питоме гідравлічне навантаження на апарат становить 7–8 м³/ м²·год, концентрація суспензії в очищеній воді – до 100 мг/л при вихідної 3–4 г/л; концентрація масел в очищеній воді не перевищує 40 мг/л при вихідної 100 мг/л.

Тонкошаровий флокулятор – апарат, в якому поєднано безперервне механізоване збирання шламу за допомогою обертаючої скребкової ферми з максимальним ступенем заповнення поперечного перерізу апарата пластинчатими тонкошаровими модулями.

Технічні характеристики флокуляторів наведені у таблицях Б.2, Б.3 (дод. Б).

Порядок розрахунку флокуляторів такий:

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

$$Q_1 = q_{num} \cdot S_{\phi}, \quad (1.37)$$

де q_{num} – питоме гідравлічне навантаження на один апарат, м³/ч;

S_{ϕ} – площа флокулятора, м², $S_{\phi} = 113 \text{ м}^2$.

2. Визначають кількість апаратів, шт.:

$$n = \frac{Q}{Q_1}, \quad (1.38)$$

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

3. Об'єм камери флокуляції, м²:

$$W_{\kappa} = \frac{\pi}{4} (D_{\phi}^2 - D_{\kappa}^2) \cdot H, \quad (1.39)$$

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

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

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

4. Об'єм зони відстоювання, м³:

$$W_{відст} = \frac{\pi \cdot D_{\kappa}^2}{4} \cdot H. \quad (1.40)$$

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

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

Найбільшого поширення в чорній металургії одержали відкриті гідроциклони діаметром 6 м, технічні характеристики яких наведено у таблиці Б.5 (дод. Б).

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

Питоме гідравлічне навантаження для відкритих гідроциклонів визначають за формулою:

$$q = 3,6 \cdot U_0, \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}, \quad (1.41)$$

де U_0 – гідравлічна крупність, мм/с.

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

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 з застосуванням коагулянтів – 10–12 $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$.

Площа одного гідроциклона, м^2 :

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}. \quad (1.42)$$

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

$$Q_1 = q \cdot F. \quad (1.43)$$

Кількість споруд, шт.:

$$n = \frac{Q}{Q_1}. \quad (1.44)$$

Напірні фільтри

На підприємствах чорної металургії найчастіше застосовують фільтри діаметром 3,4 м. Технічні характеристики напірних антрацито-кварцових фільтрів ДП УкрНТЦ «Енергосталь» наведено у таблиці Б.4 (дод. Б).

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

Загальна площа фільтрування визначається залежністю, м^2 :

$$F_{\phi} = \frac{\alpha \cdot Q}{V_{\phi}}, \quad (1.45)$$

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:

$$q_{\phi} = \frac{F_{\phi} \cdot q_{np} \cdot t \cdot n}{24}, \quad (1.46)$$

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

t – тривалість промивки $t = 30$ хв.;

n – число промивок в добу ($n = 1-2$).

1.4 Розрахунок охолоджувачів оборотної води

Вибір типу охолоджувача

Рекомендована область застосування різних типів охолоджувачів води (табл. 1.6) визначається їх якісними й 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.

Таблиця 1.6 – 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 < 40 °С.			

Орієнтовне гідравлічне навантаження (відношення витрати охолоджуваної води до площі градирні в плані), м³/(м²·год), приймають при зрошувачі: плівкового типу – 8–12; краплинного типу – 6–10; бризкальному – 5–6.

За умовами надійності, зручності й економічності експлуатації рекомендується від 2 до 12 секцій або градирень в одному оборотному циклі водопостачання. Якщо за технологічними розрахунками число секцій виходить за ці межі, слід вибрати інший типорозмір градирні.

Розрахунок вентиляторних градирень

Аеродинамічний розрахунок вентиляторних градирень полягає перш за все у визначенні аеродинамічного опору градирні в залежності від витрати повітря, що в неї подається. У вентиляторних градирнях тяга повітря створюється вентиляторами. Швидкість руху повітря у зрошувачі залежить від конструкції градирні, її гідродинамічного опору і продуктивності підібраного

вентилятора. Середня швидкість руху повітря у зрошувачі вентиляторних градирень дорівнює 1,7–2,5 м/с.

Підбирають підходящий вентилятор і визначають параметри роботи, напір, продуктивність, коефіцієнт корисної дії.

Подальший розрахунок здійснюється з врахуванням прийнятої середньої швидкості руху повітря в зрошувачі.

Вихідні дані для розрахунку вентиляторних градирень:

1) гідравлічне навантаження $q_{\text{макс}}$, 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), що забезпечують охолодження заданих витрат 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 1–10 %. Значення параметрів атмосферного повітря (температур θ і τ і вологості φ) для деяких міст наведені в таблиці А.3 (дод. А).

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

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

$$F_{op} = \frac{Q \cdot (t_1 - t_2) \sqrt{t_1 - t_2} \cdot 10^3}{K(V_g \cdot \rho)^{0,625} \cdot (t_1 - \tau)^{1,95}}, \quad (1.47)$$

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 натиску води перед соплами, визначається за таблиці А.2 (дод. А);

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, у 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 $\theta = 20$ °С $\rho = 1,17$ – $1,18$ кг/м³; $\theta = 22$ °С $\rho = 1,16$ – $1,17$ кг/м³; $\theta = 24$ °С $\rho = 1,15$ – $1,16$ кг/м³; $\theta = 26$ °С $\rho = 1,14$ – $1,15$ кг/м³; $\theta = 80$ °С $\rho = 1,13$ – $1,14$ кг/м³.

Вказану формулу можна використовувати при ширині зони охолодження $t_1 - t_2 = 3$ – 20 °С, висоті зони охолодження $t_2 - \tau = 3$ – 4 °С, температурі повітря за вологим термометром $\tau = 15$ – 22 °С, відносній вологості $\varphi = 30$ – 70 %.

Заключним етапом теплотехнічного розрахунку є підбір типового проекту градирень (табл. А.4, дод. А).

1.5 Стабілізація іонного складу води у зворотних і повністю замкнених системах (системах без продувки)

У звичайних системах зворотного водопостачання, де циркулююча вода не забруднюється технологічними продуктами, підвищення мінералізації запобігають продувкою (скиданням частини зворотної води) й поповненням

системи свіжою водою. Однак таке скидання і добавка доцільні лише тоді, коли карбонатна жорсткість (або загальний солевміст) води, що додають до системи зворотного водопостачання, менше карбонатної жорсткості (солевмісту) води, що знаходиться в системі зворотного водопостачання, а також якщо дозволяє потужність.

Кількість зворотної води, яку необхідно скинути для підтримки гранично допустимої (максимальною) величини карбонатної жорсткості оборотної води, визначають за формулою:

$$P_3 = \frac{Ж_D^K \cdot P_1}{Ж_{ГРАН}^K - Ж_D^K} - P_2, \quad (1.48)$$

а кількість води, що необхідно при цьому додавати до системи,

$$P_D = \frac{Ж_D^K \cdot P_1}{Ж_{ГРАН}^K - Ж_D^K}, \quad (1.49)$$

де $Ж_D^K$ – карбонатна жорсткість води, що додається в систему, в мг-екв/л.

У деяких випадках у системах зворотного водопостачання з'являється необхідність відкорегувати рН зворотної води. Найбільш простий спосіб регулювання рН циркуляційної води – це підкислення або часткове *H*-катіонування, а також здійснення заходів, що знижують інтенсивність зростання солевмісту.

Вибір способу зниження рН залежить від допустимого вмісту в ній сульфат-іонів. Коли можлива продувка системи застосовують порівняно-дешевий метод – підкислення води сірчаною кислотою, у випадках коли продувка обмежена – часткове *H*-катіонування або комбінацію його з підкисленням, за повною відсутністю продувки – тільки часткове *H*-катіонування.

Необхідну кількість води, що піддають *H*-катіонуванню для зниження рН, визначають за формулою

$$\alpha = \frac{44L_H \cdot 10^{(pK_1 - pH_c)} - CO_2^H}{CO_2^K - CO_2^H + 44K + 44(L_H + K) \cdot 10^{pK_1 - pH_c}} \quad (1.50)$$

де α – кількість Н-катионованої води в долях від загальної витрати зворотної води;

L_n – лужність води в водосховищі-охолоджувачі, мг-екв/л;

pK_1 – негативний логарифм константи першого ступеня дисоціації вуглекислоти (табл. 1.7);

pH_c – величина рН загальної витрати зворотної води після змішування з Н-катионованою водою;

CO_2^H – концентрація вільної вуглекислоти у воді водосховища-охолоджувача, мг/л;

CO_2^K – концентрація вільної вуглекислоти в Н-катионованій воді, що виділилася в результаті розпаду бікарбонатів у процесі Н-катионування, мг/л,

$$CO_2^K = 44L_n;$$

K – кислотність Н-катионованої води, що визначається за концентрацією аніонів сильних кислот:

$$K = \frac{SO_4^{2-}}{48,03} + \frac{Cl^-}{35,36} + \frac{NO_3^-}{62,01}, \text{ мг-екв/л}, \quad (1.51)$$

де SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- – відповідні концентрації вказаних аніонів.

Таблиця 1.7 – Значення показників pK_1 залежно від температури води

Значення показника	Температура води, ° С									
	0	10	20	25	30	40	50	60	70	80
pK_1	6,58	6,48	6,39	6,37	6,34	6,31	6,30	6,29	6,30	6,31

Стабілізація зворотної води, що в звичайних зворотних системах водопостачання досягається продувкою, в замкнених системах (системах без продувки) здійснюється шляхом виведення частини оборотної води для коректування її мінерального складу й подальшого повернення в цикл окремо або спільно зі свіжою підживлюючою водою. Необхідний ступінь знесолення цієї частини води залежить від коефіцієнта випаровування зворотної води в системі й відносної кількості води, що виводиться з системи для обробки замість продувки.

Ця кількість води, що називається *стабілізаційною витратою* в замкнених системах зворотного водопостачання, обчислюється з урахуванням того, що об'єм підживлюючої свіжої води в замкнених системах водопостачання повинен компенсувати лише втрати від винесення води при її розбризкуванні й випаровуванні в охолоджувальних пристроях, а також втрати, обумовлені витратами води на власні потреби (тобто на експлуатацію споруд для коректування сольового складу й освітлення стабілізаційної витрати зворотної води).

Підживлююча вода при замкнутому зворотному водопостачанні являє собою суміш свіжої (зазвичай освітленої і зм'якшеної) води і стабілізаційної витрати. Іонний склад її визначається складом і об'ємним співвідношенням обох компонентів суміші:

$$C_{\text{д.}} = \frac{C_{\text{зм}}(P_1 + P_2) + C_{\text{стаб.в.}} P_1}{P_1 + P_2 + P_3}, \quad (1.52)$$

де $C_{\text{стаб.в.}}$ – іонний склад води *стабілізаційної витрати* (після іонообмінного коректування мінерального складу й освітлення);

$C_{\text{зм}}$ – те ж саме, для зм'якшеної свіжої підживлюючої води.

Для попередніх розрахунків величину P_3 приймають 0,2–0,5 % і потім уточнюють за формулою

$$P_3 = \frac{C_{\text{д}} K \cdot \Delta t - \Delta C \cdot P_2}{\Delta C}. \quad (1.53)$$

де $C_{\text{д}}$ – солевміст у підживлювальній воді, мг/л;

$\Delta C = C_{\text{зв}} - C_{\text{д}}$ – збільшення солевмісту у зворотній воді внаслідок випаровування;

Якщо зворотна вода стабільна і не забруднюється солями, що потрапляють з технологічних розчинів через різні нещільності в теплообмінній апаратурі, то загальний солевміст у ній знаходять, враховуючи коефіцієнт випаровування або концентрування за рівнянням сольового балансу системи.

Прояснення підживлюючої води й стабілізаційної витрати зворотного циклу

Необхідний ступінь прояснення підживлювальної води оцінюють величиною підживлення і балансом завислих речовин:

$$B_1 = \frac{Q_1 \cdot B_{зв} - P_1 \cdot B_{зв} - \sum Q_{вент} \cdot B_2}{P_1 + P_2 + P_3} \quad (1.54)$$

де B_1 – кількість зависі, що видаляється при проясненні підживлювальної води, мг/м³;

Q_1 – продуктивність системи зворотного водопостачання, м³/год;

$\sum Q_{вент}$ – продуктивність вентиляторів градирень (за повітрям), м³/год;

$B_{зв}$ – допустима концентрація завислих речовин у системі зворотного водопостачання (приймають 40–50 г/м³, іноді 12–15 г/м³);

B_2 – концентрація пилу й піску в повітрі (звичайно 103,5 мг/м³);

P_1, P_2 – втрати води з системи зворотного водопостачання, м³/год;

P_3 – стабілізаційна витрата, що визначають за умовами збереження допустимої концентрації завислих речовин.

Приклад розрахунку безпродувочної системи водопостачання

Визначити кількість води, що направляють на катіонування, і вміст CaCO₃ у суміші катіонованої і зм'якшеної води. Система зворотного водопостачання проектується для азотного підприємства. Кількість води, що знаходиться у звороті, становить 42 500 м³/год. Концентрація солей у джерелі водопостачання – 200 мг/л. Розрахункова концентрація солей в системі зворотного водопостачання – 3 000 мг/л. Вміст розчиненого CaCO₃ у зм'якшеній підживлюючій воді – 5,6 мг/л або 0,28 мг-екв/л.

Температура споживаної води +28 °С, нагрітої +40 °С; температурний перепад води в системі зворотного водопостачання $\Delta t = 12$ °С. Сума аніонів Cl^- і SO_4^{2-} у зворотній воді дорівнює $30 + 270 = 300$ мг/л, або $0,86 + 5,6$ мг-екв/л. Гранично допустимий вміст іонів Ca^{2+} 4 мг-екв/л, завислих речовин у системі – не більше 50 мг/л.

Втрати води на випаровування при температурі зовнішнього повітря за сухим термометром +20 °С і коефіцієнті долі тепловіддачі на випаровування $K_{\text{вип}}=0,14$ дорівнюють

$$P_1 = K_{\text{вип}} \cdot \Delta t \cdot 100 = 0,0014 \cdot 12 \cdot 100 = 1,7 \% \text{ або } 723 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Втрати води через винесення вітром і розбризкування в вентиляторних градирнях – 0,5 % або 212 м³/год.

Усього витрата підживлюючої води становить 935 м³/год.

В якості підживлювальної води застосовують попередньо прояснену й зм'якшену аміаком річкову воду наступного складу: Ca^{2+} – 1,1 мг-екв/л; Mg^{2+} – 0,3 мг-екв/л; Cl^- – 0,37 мг-екв/л або 13,0 мг/л; SO_4^{2-} – 0,5 мг-екв/л або 24 мг/л; CO_3^{2-} – 3,7 мг-екв/л; OH^- – 4,8 мг-екв/л; NO_3^- – 0,02 мг-екв/л; загальний солевміст – 200 мг/л; вміст завислих речовин – 1,0 мг/л.

Розрахунок величини стабілізуючої витрати

Визначаємо P_3 для умов загального солевмісту, допустимого вмісту аніонів Cl^- і SO_4^{2-} та катіонів Ca^{2+} :

$$P_3 = \frac{C_d P_1 - \Delta C \cdot P_2}{\Delta C}.$$

За умовами загального солевмісту,

$$P_3 = \frac{200 \cdot 1,7 - 2800 \cdot 0,5}{2800} = -0,38 \%.$$

Отже, в цьому випадку, виходячи з умов загального солевмісту, – продувка системи не потрібна. Система стабілізується краплинним винесенням на градирнях.

Підтримання концентрації розчиненого $CaCO_3$ у зворотному циклі в межах 0,28 мг-екв/л досягається змішуванням зм'якшеної і катіонованої води, з якої вилучені іони Ca^{2+} .

За умовами концентрації Cl^- і SO_4^{2-} – іонів,

$$\sum Cl^- + SO_4^{2-} = 13 + 24 = 37 \text{ мг/л}, \quad \Delta C = 300 - 37 = 263 \text{ мг/л},$$

$$P_3 = \frac{37 \cdot 1,7 - 263 \cdot 0,5}{263} = -0,26 \%.$$

Аніонування води не потрібне, система стабілізується краплинним винесенням на градирнях.

Приріст вмісту хлоридів і сульфатів у зворотній воді

$$P_3 = \frac{C_d K \cdot \Delta t - \Delta C \cdot P_2}{\Delta C} = 0.$$

$$\frac{37,0 \cdot 1,7 - (\Delta C_{Cl,SO_4}^{об} - 37,0) \cdot 0,5}{\Delta C_{Cl,SO_4}^{об} - 37,0} = 0, \text{ звідки } \Delta C_{Cl^- SO_4^{2-}}^{зв} = 163 \text{ мг/л.}$$

Коефіцієнт випаровування води знаходимо з рівняння сольового балансу:

$$K_{вип} = \frac{C_{об}}{C_d} = \frac{163}{37} = 4,4.$$

Таким чином, аніонний склад зворотної води встановиться такий:

$$Cl^- = 13,0 \cdot 4,4 = 57,0 \text{ мг/л} = 1,63 \text{ мг-екв/л};$$

$$SO_4^{2-} = 24,0 \cdot 4,4 = 106,0 \text{ мг/л} = 2,2 \text{ мг-екв/л};$$

$$CO_3^{2-} = 3,7 \cdot 4,4 = 16,3 \text{ мг-екв/л};$$

$$NO_3^- = 0,02 \cdot 4,4 = 0,09 \text{ мг-екв/л};$$

За умовами збереження концентрації катіонів Ca^{2+} нижче гранично допустимого значення ($\Delta C = 4 - 1,1 = 2,9$),

$$P_3 = \frac{1,1 \cdot 1,7 - 2,9 \cdot 0,5}{2,9} = 0,14 \text{ \%}.$$

Отже, за умовами збереження допустимої кількості сульфат-аніонів і хлор-аніонів у воді не потребується аніонування води. Вміст катіонів Ca^{2+} перевищує гранично допустиму концентрацію в оборотній воді. Тому необхідно декатіонування води, повністю декатіонована вода знову повертається до системи.

Для попередніх розрахунків задаємося кількістю води, що виводиться на H -катіонування, 0,5 % від витрати оборотної води. Тоді іонний склад підживлюючої води визначається сумішшю зм'якшеної і катіонованої води.

Концентрацію $CaCO_3$ в суміші катіонованої і зм'якшеної підживлюючої води, визначаємо з пропорціонального співвідношення з заміною загального солевмісту на вміст іонів Ca^{2+} .

Вміст катіонів Ca^{2+} у підживлювальній воді:

$$C_{\text{Ca}} = \frac{1,1 \cdot 2,2 + 0,5 \cdot 0}{2,2 + 0,5} = 0,89 \text{ мг-екв/л.}$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{0,28 \cdot 2,2 + 1,7 \cdot 0}{3,9} = 0,158 \text{ мг-екв/л.}$$

Визначаємо кількість води, що надходить на катіонування:

$$P_3 = \frac{0,158 \cdot 1,7 - (0,28 - 0,158) \cdot 0,5}{0,28 - 0,158} = 1,7 \% \text{ або } 722,5 \text{ м}^3/\text{год.}$$

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ

2.1 Структура й оформлення розрахунково-графічного завдання

Метою розрахунково-графічного завдання (РГЗ) є вивчення особливостей використання води на підприємствах чорної металургії і розрахунок зворотної системи одного з основних виробництв металургійного заводу.

У процесі виконання РГЗ студенти закріплюють теоретичні знання і оволодівають навичками проектування і розрахунку систем виробничого водопостачання, які суттєво відрізняються від систем централізованого водопостачання населених пунктів як за схемами, так і за складом споруд.

Розрахунково-графічна робота складається з таких елементів:

- титульний аркуш;
- зміст;
- основна частина, що містить короткий опис характеристики підприємства, його основних цехів, джерел утворення стічних вод, обґрунтування методу й технологічної схеми очистки відповідно до плану розрахунково-пояснювальної записки;
- розрахункова частина, що містить розрахунок споруд системи зворотного водопостачання;
- список джерел.

Обсяг розрахунково-пояснювальної записки становить 15–20 сторінок друкованого тексту з рисунками і схемами.

2.2 Рекомендації до виконання основних розділів розрахунково-графічного завдання

У розрахунково-графічному завданні студент повинен запроектувати систему зворотного водопостачання, скласти балансову схему водопостачання та з розрахунками необхідних споруд та вузлів корегування якості води з метою її повторного використання.

Виконання РГЗ здійснюють за вихідними даними, які студент отримує від викладача.

Відповідно до завдання для заданого зворотного циклу потрібно виконати розрахунок охолоджувачів води, очисних споруд, насосної станції, трубопроводів і лотків, якщо необхідно передбачають стабілізаційну обробку для запобігання карбонатних відкладень.

На початку потрібно ретельно проаналізувати вихідні дані, ознайомитися з технологіями, які застосовують у металургійному виробництві, розглянути можливі системи виробничого водопостачання. У сучасних умовах, коли вирішальне значення набули вимоги екології і раціонального використання води, застосовують зворотні, послідовні й замкнені схеми водопостачання металургійних підприємств.

Блок-схема виконання розрахунково-графічного завдання представлена на рисунку 2.1.

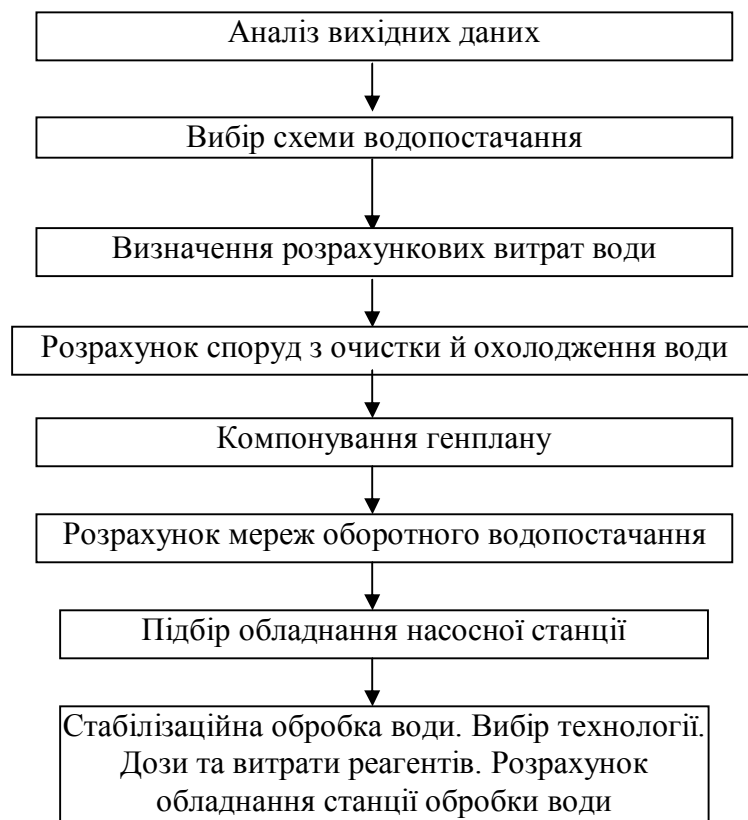


Рисунок 2.1 – Блок-схема виконання розрахунково-графічного завдання

Характеристика металургійних підприємств, класифікація стічних вод від основних цехів, основні види забруднень і методи їх очистки з метою повторного (багаторазового) використання в системах зворотного водопостачання детально висвітлені в літературі [3–5].

РГЗ містить такі частини й розділи:

Частина 1. Розрахунок водоспоживання основних виробництв металургійного заводу. Складання балансової схеми водоспоживання.

1.1 Опис виробничого підприємства з визначенням технологій виробничого процесу та використанням води.

1.2. Визначення розрахункових витрат води. Складання балансової схеми водоспоживання.

Частина 2. Розрахунок системи оборотного водопостачання «брудного циклу» промислового підприємства.

2.1 Вибір схеми водопостачання на промисловому підприємстві.

2.2 Вибір технологічних схем підготовки якості води для систем водопостачання промислового підприємства.

2.3 Вибір типу охолоджувача, визначення величин втрат води в системі оборотного водопостачання.

2.4 Розрахунок основних споруд технологічної схеми підготовки води для виробничого водопостачання.

2.3 Вибір системи і схеми виробничого водопостачання

На вибір схеми водопостачання металургійних комбінатів впливають: розмір водоспоживання, наявність і потужність джерел водопостачання і їх віддаленість від майданчика заводу, різниця геодезичних відміток рівнів води у джерелі водопостачання і заводського майданчика.

При проектуванні системи виробничого водопостачання вирішують такі питання:

- якої категорії і для яких цілей використовується вода;

- 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 до водойми.

Принцип системи прямоточного водопостачання (далі – СПВ) полягає в тому, що воду з джерела подають на підприємство, де її використовують у різних технологічних процесах. Після цього відпрацьовану воду скидають до водойми відповідно до санітарних вимог випуску стічних вод.

«Умовно чисті» води можуть скидатися без очистки, а забруднені стічні води направляють на каналізаційні очисні споруди, після яких очищені стічні води скидають до водойми.

Принцип системи оборотного водопостачання (далі – СОВ) полягає в тому, що нагріту в технологічних процесах воду не скидають до водойми, а направляють на охолодження і потім знову подають у виробництво. При цьому частина води у оборотному циклі втрачається, тому передбачають поповнення втрат за рахунок додавання до системи свіжої води.

2.4 Розрахунок водоспоживання основних виробництв металургійного заводу. Складання балансової схеми водоспоживання

Витрати й втрати води у зворотних циклах водопостачання і необхідну витрату свіжої води, яку необхідно додавати, розраховують на підставі заданих річної продуктивності цехів, тривалості їх роботи протягом року, а також норм водоспоживання (табл. 2.1). Розрахунки виконують для всіх основних циклів підприємства чи заводу. Отримані значення витрат є основою для складання балансової схеми водоспоживання.

Таблиця 2.1 – Нормативні показники водоспоживання

Найменування споживачів води	Норма водо- споживання	Коефіцієнт годинної нерівно- мірності	Втрати води у виробництві, %	Необхідний вільний напір на вводі в цех, м
Доменні печі, охолодження (чистий цикл), м ³ /т	18–60	1,0–1,15	0,2	50–100
Газоочистка доменного цеху («брудний» цикл), м ³ на 1 000 м ³ газу	5,7–10,3	1,0–1,05	2	50–90
Розливальні машини з душуючими установками («брудний» цикл), м ³ /т	3,5	1,5–1,6	10	20–25
Грануляційні установки (брудний цикл), м ³ /т	2,5–5	1,2–1,6	15–30	20–25
Конверторний цех, охолодження елементів конверторів (чистий цикл), м ³ /т	22	1,1–1,15	1–2	30–50
Газоочистка конверторів («брудний цикл»), м ³ на 1 000 м ³ газу	18 2–20*	1,0–1,05	3	50–80
Мартенівський цех, охолодження печей (чистий цикл), м ³ /т	20	1,0–1,15	1–2	25–30
Газоочистка мартенівських печей, м ³ на 1 000 м ³ газу	1,5–2,0	1,0–1,05	3	50–80
Електросталеплавильний цех, охолодження печей (чистий цикл), м ³ /т	23	1,1–1,15	1–2	25–30
Газоочистка електросталепла- вильних печей («брудний» цикл), м ³ на 1 000 м ³ газу	4–6	1,0–1,05	3	50–80
Установки безперервного розлиття сталі (УБРС), охолодження кристалізаторів (чистий цикл), м ³ /т	15–21	1,15–1,2	0,2	30–90
Установки безперервного розлиття сталі (УБРС), вторинне охолодження злитків («брудний» цикл), м ³ /т	10–14	1,15–1,2	5	30–90
Прокатні стани середньосортні, м ³ /т	12–23 8–9**	1,0–1,15	2–3	25–30
* У чисельнику конвертори без допалювання СО, в знаменнику – з допалюванням СО. ** У чисельнику чистий цикл прокатного стану, в знаменнику – брудний.				

Таблиця 2.2 – Розрахункова таблиця водоспоживання (приклад заповнення)

Найменування водоспоживачів	Річна продуктивність, т	Кількість годин роботи за рік, год	Норма водоспоживання	Коефіцієнт годинної нерівномірності	Розрахункова витрата оборотної води, м ³ /год	Втрати оборотної води % м ³ / год				Витрата підживлювальної води, що додається в систему, м ³ /год	Вільний напір в цеху, м	Температура води t, °С	
						у виробництві та з продуквою	в процесі охолодження	в процесі очищення	загальні			до споживання	після споживання
Доменні печі, охолодження (чистий цикл)	1,3 · 10 ⁶	8 472	60	1,1	10 127,5	$\frac{0,2}{20,3}$	$\frac{1,52}{153,43}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1,72}{173,7}$	173,7	50	30	37
Газоочистка доменного цеха («брудний» цикл)	1,3 · 10 ⁶	8 472	6 на 1 000 м ³ газу	1,05	3 866,9	$\frac{1}{38,67}$	$\frac{2,68}{103,44}$	$\frac{0,5}{19,33}$	$\frac{4,17}{161,4}$	161,4	30	30	45

Розрахункову витрату зворотної води у 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 (цеху), $\text{т}/\text{год}$;

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

T – кількість годин роботи виробництва за рік, год .

При розрахунку витрат оборотної води в газоочистках металургійних агрегатів (доменних, мартенівських, конверторних, електросталеплавильних) слід враховувати, що норму водоспоживання вимірюють в м^3 на 1 000 м^3 газу, що виділяється.

Розрахункова витрата зворотної води в системі газоочисток, $\text{м}^3/\text{год}$:

$$Q_p = \frac{n_g \cdot N \cdot N_z \cdot K_{\text{год}}}{1\,000 \cdot T}, \quad (2.2)$$

де N_z – кількість газу, що виділяється під час плавки 1 т металу.

Під час виплавки 1 т металу виділяється така кількість газу:

доменного – 4 000 м^3 ;

конверторного – 400 м^3 (при роботі без допалювання CO);

конверторного – 1 200 м^3 –1 600 м^3 (з допалюванням CO);

електросталеплавильного – 1 500 м^3 .

Втрати води з краплинним винесенням вітром залежать від типу охолоджувача (табл. А.4, дод. А).

Для поповнення втрат в циклі водопостачання й підтримки постійного складу води в систему оборотного водопостачання постійно надходить деяка кількість свіжої води, обробленої у тому чи іншому ступені.

Таблиця 2.3 – Температурні нормативи якості води

Водоспоживачі	Температура, °C		
	нагрітої (відпрацьованої)води, t_1 , °C	охолодженої води, t_2 , °C	перепад температур, $\Delta t = t_2 - t_1$
Доменні печі	36–42	30–35	6–7
Газоочистка доменних печей	42–50	30–35	12–15
Розливальні машини	Не нормується		
Грануляційні установки	Не нормується		
Конверторний цех	42–47	30–35	12–15
Газоочистка конвертерного цеху	42–50	30–35	12–20
Мартенівський цех	40–47	30–35	10–15
Газоочистка мартенівських печей	Не нормується		
Електросталеплавильний цех	35–47	30–35	12
Газоочистка електросталеплавильного цеху	Не нормується		
УБРС (чистий цикл)	42–50	30–35	12–15
УБРС («брудний» цикл)	35–60	30–35	5–25
Прокатний стан (чистий цикл)	38–45	30–35	8–10
Прокатний стан («брудний» цикл)	33–40	30–35	3–5

Крім цього, здійснюють продувку оборотних систем, що сприяє зниженню загального солевмісту й концентрації окремих іонів. У результаті впливу всіх цих чинників досягається свого роду рівновага, за якої концентрації, що встановилися залежать від співвідношення між кількістю води й розчинених речовин, що надходять та видаляються.

Кількість води, що додається в систему P_d , %, дорівнює загальній сумі втрат води у системі:

$$P_d = P_1 + P_2 + P_3, \quad (2.4)$$

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

P_3 – величина продувки, %.

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

а) за випаровуванням води:

$$K_y = \frac{P_{исп} + P_{ун} + P_{сбр}}{P_{ун} + P_{сбр}} = \frac{P_{доб}}{P_{доб} - P_{исп}}; \quad (2.5)$$

б) за концентруванням солей:

$$K_k = \frac{C_{об}}{C_{доб}} \quad \text{або} \quad K_{Cl} = \frac{Cl_{об}^-}{Cl_{доб}^-}. \quad (2.6)$$

2.5 Проектування систем зворотного водопостачання окремих цехів металургійного заводу

Доменне виробництво

Продукцією доменного виробництва є чавун. Чавун виплавляють у безперервно діючих доменних печах. Чавун, що отримують направляють для подальшої переробки у сталеплавильне виробництво.

У доменному цеху воду витрачають на зволоження шихти, охолодження доменних печей і арматури повітронагрівачів, очистку доменного газу, грануляцію шлаку, охолодження чавуну на розливальних машинах і гідроприбирання підбункерних приміщень.

На 1 т чавуну витрачають до 24 м³ води, в тому числі свіжої 3–4 %.

Подачу води до цих споживачів здійснюють за замкненою оборотною схемою. Для доменних печей і повітронагрівачів повинна забезпечуватись безперервна подача охолоджуючої води, оскільки навіть тимчасове припинення подачі води може спричинити аварію, прогар конструкції доменної печі. Для цього передбачають, окрім робочих, не менше двох резервних насосів. Кількість трубопроводів для підведення і відведення води доменного виробництва

приймають не менше двох. Кожен з водоводів розраховують на пропуск 100 % витрати води.

Витрати охолоджуючої води на 1 доменну піч коливаються від 2 до 3 тис. м³/год. Системи водяного охолодження доменних печей, як правило, організують за зворотною схемою з підживленням свіжою технічною водою, з продувкою у кількості до 5 % від витрати циркулюючої в системі води. При водяному охолодженні доменних печей утворюються умовно чисті стічні води, що несуть тільки термальне забруднення.

Газоочистка доменних печей

Водопостачання здійснюють за зворотною схемою.

Витрати води на газоочистку досягають 5 000–6 000 м³/год.

Кількість завислих речовин у стічних водах після газоочистки складає 500–2 000 мг/л. Гідравлічна крупність завислих речовин дорівнює 0,1–0,9 мм/с.

Водовідведення газоочистки здійснюють по двох лотках (трубопроводах), кожен з яких розраховують на пропуск 100 % витрати води.

Очистку стічних вод від завислих речовин здійснюють:

- при витраті води до 2 000 м³/год – у флокуляторах $d = 12$ м [5]; питоме навантаження на апарат при реагентній обробці приймають 9–10 м³/м²·год;
- при витраті води більше 2 000 м³/год – у радіальних відстійниках $d = 30$ м з камерою флокуляції [3, 5]; питоме гідравлічне навантаження при реагентній обробці приймають до 4 м³/м²·год, без коагуляції – 1,5–2 м³/м²·год.

Для реагентної обробки використовують поліакриламід (ПАА) з дозою 1 мг/л (за активною речовиною) і сірчаноокислий алюміній дозою 30 мг/л за Al₂(SO₄)₃. Реагенти використовують у вигляді розчинів з концентрацією ПАА 0,1 %, сірчаноокислого алюмінію – 5–10 %. Реагенти вводять перед очисними спорудами.

Після очищення концентрація завислих речовин повинна бути не більше 300 мг/л [3].

Для запобігання утворенню карбонатних відкладень у зворотних системах газоочисток використовують триполіфосфат натрію дозою 1–2 мг/л (за P_2O_5). Реагент використовують у вигляді 0,5 % розчину. Введення реагенту передбачають після очисних споруд.

Шламову пульпу після відстійників з концентрацією твердого шламу 100 г/л видаляють ґрунтовими або пісковими насосами продуктивністю 100 м³/год з інтервалами 4–6 год. Після зневоднення шлами направляють на утилізацію.

Охолодження оборотної води здійснюють на вентиляторних градирнях зі зрошувачами бризкального типу. Температура охолодженої води не повинна перевищувати 35 °С.

Сталеплавильні виробництва

У сталеплавильному виробництві головними водоспоживачами є [4, 5]:

- конвертори, мартенівські й електросталеплавильні печі;
- газоочистки мартенівських печей;
- газоочистки електросталеплавильних печей;
- газоочистки конверторів;
- машини безперервного лиття заготовок (далі – МБЛЗ).

Для конверторів і сталеплавильних печей необхідна чиста технічна вода на охолодження їх конструктивних елементів.

Для охолодження елементів печей застосовують водяне охолодження або охолодження пароводяною сумішшю (випарне охолодження).

При виконанні курсової роботи слід проектувати водяне охолодження печей.

Схему водопостачання для зазначених споживачів приймають зворотною.

Конверторне виробництво

У киснево-конверторних цехах воду витрачають на охолодження фурм, зрошення й охолодження газів, на очистку газів та інші потреби. Залежно від способу охолодження конвертору, відведення й очистки газів, що відходять

витрати води складають від 5 до 13,5 м³/т сталі, яку виплавляють. З цієї кількості приблизно 35 % води, що витрачається не стикається з продуктом і не забруднюється, а тільки нагрівається, що дозволяє використовувати її повторно. Решта води стикається з газами, що відходять, забруднюється частками пилу і потребує належної очистки для можливості її повторного використання чи скиду до водойми.

Газоочистка конверторів

Систему водопостачання газоочисток киснево-конверторного цеху («брудний цикл») проектують за оборотною схемою, з очищенням і охолодженням води на градирнях.

Витрата стічних вод від газоочистки одного 100–130 т конвертора складає 200–300 м³/год, а для 250–300 т конвертора – 2 000 м³/год.

Стічні води конверторної газоочистки окрім високого вмісту завислих речовин характеризуються завищеним солевмістом. Концентрація завислих речовин нерівномірна і протягом плавки коливається від 1 до 10–15 г/л.

Швидкість осадження завислих речовин складає 0,1–0,3 мм/с без введення коагулянту і 0,4–0,6 мм/с – з використанням коагулянтів.

Стічні води газоочисток конвертерів можуть бути слабколужними, лужними або кислими.

Передбачають попереднє уловлювання завислих часток крупністю 500 мкм, прояснення в радіальних відстійниках або флокуляторах і подальше охолодження на градирнях.

Для видалення у разі необхідності вільного оксиду вуглецю, вміст якого в стічній рідині складає до 3 г/л, влаштовують закриту двохсекційну камеру дегазації, обладнану каскадним лотковим водозливом. Камеру встановлюють перед очисними спорудами. Залишковий вміст оксиду вуглецю – 50 мг/л. Камеру дегазації найчастіше суміщають з установкою уловлювання крупних фракцій. Віддувка вільного оксиду вуглецю необхідна для того, щоб поблизу освітлювачів

приземна її концентрація не перевищувала рівня, небезпечного для обслуговуючого персоналу.

Очистку стічних вод від завислих речовин здійснюють:

- при витратах води до 2 000 м³/год у флокуляторах діаметрах 12 м [4].

Питоме гідравлічне навантаження при реагентному обробленні приймають 6–7 м³/м²·год, без оброблення реагентами – 3–3,5 м³/м²·год;

- при витратах більших за 2 000 м³/год – у радіальних відстійниках діаметром 30 м з камерою флокуляції [5, 6]. Питоме гідравлічне навантаження приймають 1–1,5 м³/м²·год, при реагентній обробці – 3 м³/м²·год.

Залишковий вміст завислих речовин у воді не повинен перевищувати 300 мг/л.

Видалення шламової пульпи з відстійників передбачають ґрунтовими або пісковими насосами продуктивністю 50–100 м³/год. Після збезводнення шлами підлягають утилізації.

Підживлювальну воду слід подавати перед очисними спорудами.

Охолодження оборотної води здійснюють на вентиляторних градирнях зі зрошувачами бризкального типу. Температура охолодженої води не повинна перевищувати 35 °С.

Для реагентної обробки приймають поліакриламід дозою 1 мг/л за активною речовиною. Його вводять у воду перед відстійниками або флокуляторами у вигляді 0,1 % розчину.

Залежно від технології виробництва передбачають також і реагентну стабілізаційну обробку:

- поліфосфатом натрію дозою 5–10 мг/л за Р₂О₅ на 1 л оборотної води після відстійників у вигляді розчину концентрацією 5 % за Р₂О₅;

- при надлишку в стічній воді кислих компонентів – вапняним молоком концентрацією 5 % за СаО перед відстійниками.

Для систем оборотного водопостачання газоочистки конверторних цехів вибір методу стабілізаційної обробки залежить від величини гідратної лужності й температури води.

Вапно, що застосовують у киснево-конвертерному процесі для його інтенсифікації, потрапляє в потік газів, що відходять, і розчиняється у воді. Кількість розчинного вапна залежить від її якості й способу подачі. У зв'язку з цим збільшується гідратна лужність оборотної води. Насичена вапном оборотна вода при повторному використанні реагує з вуглекислотою газів, що відходять, в газоочисних апаратах. У результаті цього в системі подачі води до сопел камери уприскування і скрубера утворюються дуже тверді відкладення карбонату кальцію з невеликим вмістом оксиду заліза, що обмежують подачу води з витратою, необхідною для належного очищення газу.

Для подібних систем слід передбачати методи обмеження розчинення вапна, що поступає у воду і зниження гідратної лужності стічних вод. Найбільш ефективними реагентами є – силікатний реагент (рідке скло) і фосфорвміщуючий реагент (триполіфосфат натрію).

При величині гідратної лужності більше 5 мг-екв/л і температурі оборотної води нижче 35 °С найбільш ефективним способом запобігання щільним сольовим відкладенням є обробка силікатним реагентом. При обробці води оптимальними дозами рідкого скла (50 мг/л) гідратна лужність оборотної води знижується з 20 –25 мг-екв/л до 0,5–1 мг-екв/л.

Газоочистка електросталеплавильних печей

Водопостачання газоочисток електропечей здійснюють за оборотною схемою без продувки.

Питома витрата води на газоочистку – 1–2 м³ на 1 000 м³ газу. При виплавці 1 т сталі виділяється 1 500 м³ газу.

Концентрація завислих речовин у воді змінюється протягом плавки від 1 до 10 г/л.

Очищення стічних вод здійснюють у відкритих гідроциклонах діаметром 6 м [4]. Питоме гідравлічне навантаження при реагентному обробленні приймають $4 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$. Передбачають використання поліакриламід у дозою 1 мг/л за активною речовиною 0,1 % розчином і вапняним молоком з концентрацією 50 мг/л у вигляді 5 %-го розчину за СаО. Реагенти вводять перед очисними спорудами.

Залишкова концентрація завислих речовин у очищеній воді після очистки не більше 300 мг/л.

Підживлювальну воду вводять перед очисними спорудами. Охолодження оборотної води не передбачають.

Склад твердої фази в шламовій пульпі, що направляється на збезводнення, складає 100–200 г/л. Шлам після збезводнення утилізують.

Машини безперервного лиття заготовок

Для водопостачання Машин безперервного лиття заготовок (далі – МБЛЗ) передбачають два зворотних цикли:

1) зворотний цикл умовно-чистої води для охолодження кристалізаторів і обладнання зони вторинного охолодження (роликів, рольгангів та ін.);

2) зворотний цикл забруднених стоків від вторинного охолодження (форсункове охолодження, гідротранспорт окалини).

При безперервному розлитті сталі 10 % умовно-чистих вод надходять в оборотний цикл забрудненої води й утворюють з ним загальний стік МБЛЗ.

Загальний стік МБЛЗ містить крупну та дрібну окалину, масла і нафтопродукти. Кількість завислих речовин до первинних відстійників складає 300–1000 мг/л, масел – 50–70 мг/л.

Систему водопостачання вторинного охолодження застосовують оборотну, з очисткою стічних вод у три етапи і охолодженням оборотної води на градирнях.

Первинне очищення передбачають у заглиблених відстійниках. Первинний відстійник слід проектувати з двома або більше секціями для можливості відключення кожної секції для прочистки. Розрахунковий час перебування води у

відстійнику – не менше 10 хв. Для видалення масел та нафтопродуктів слід передбачати встановлення маслосбірного пристрою. Величину осадочної частини первинного відстійника слід розраховувати на зберігання двохдобового об'єму окалини, що осідає у відстійнику.

Вторинне очищення стічних вод МБЛЗ передбачають у горизонтальних і радіальних відстійниках залежно від продуктивності оборотного циклу.

При витраті води до 1 500 м³/год очистку здійснюють у горизонтальних відстійниках з механізованим видаленням осаду [3], при цьому питоме гідравлічне навантаження приймають до 2 м³/м²·год. Збезводнення шлам, що видаляється, передбачають в бункерах збезводнення, аналогічно збезводненню після первинних відстійників. При витраті води більше 1 500 м³/год приймають радіальні відстійники діаметром 30 м з камерою флокуляції [4] і питомим навантаженням до 4 м³/м²·год. У всіх випадках передбачають застосування поліакриламід у якості коагулянту. На цьому етапі вміст окалини знижується до 75–100 мг/л, а масел – до 10 мг/л.

При будь-яких витратах води допускається використовувати флокулятори діаметром 12 м, якщо для очищення стічних вод газоочисток сталеплавильних агрегатів також прийняті флокулятори. Питоме навантаження при цьому слід приймати 3,5–4,5 м³/м²·год.

Доочищення стічних вод передбачають на напірних одношарових піщаних фільтрах або двошарових фільтрах з антрацито-кварцевим завантаженням, після яких остаточний вміст завислих речовин у воді 10–15 мг/л, а вміст масел – до 5 мг/л. Питоме гідравлічне навантаження на одношарові фільтри приймають до 20 м³/год·м².

Технологічні параметри роботи напірних фільтрів з антрацито-кварцевим завантаженням:

- середня швидкість фільтрування – 30–50 м/год;
- брудоемкість фільтруючого завантаження – до 100 кг/л;

- тривалість промивання – 30 хв;
- втрати напору в фільтрі та в трубопроводах вихідної води – до 10 м;
- концентрація завислих речовин у вихідній воді – до 150 мг/л, ефект очищення – до 90 %;
- концентрація масел і нафтопродуктів у вихідній воді – до 100 мг/л, ефект очищення – до 70 %.

Основний режим роботи фільтрувальної станції безперервний, з виведенням окремих фільтрів на промивку за заданим режимом. На станціях з кількістю фільтрів до 20 передбачають можливість виключення одного фільтра на ремонт, при більшій кількості – двох фільтрів.

Промивання фільтрів здійснюють у два етапи:

1. Подача повітря і води протягом 15 хв. Інтенсивність подачі повітря – $60 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{год}$, води – $50 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{год}$;
2. Подача води з інтенсивністю $50 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{год}$ протягом 5 хв.

Очистку промивних вод фільтрів слід проводити в додаткових горизонтальних і радіальних відстійниках з питомим гідравлічним навантаженням не більше $0,5 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{год}$. Освітлену воду необхідно повертати у вторинні відстійники. При використанні коагулянтів навантаження може бути підвищене до $1 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{год}$.

Оборотна вода оброблюють інгібіторами корозії. Для попередження випадіння солей жорсткості на роликах машини підживлення оборотної системи здійснюють зм'якшеною водою з загальною жорсткістю не більше 1 мг-екв/л, для чого свіжу воду зм'якшують содо-вапняним методом.

Вибір метода стабілізаційної обробки води оборотного циклу МБЛЗ залежить від якості підживлювальної води і може здійснюватись або підкисленням, або обробкою поліфосфатами.

Охолодження оборотної води слід здійснювати на вентиляторних градирнях зі зрошувачами бризкального типу. Температура охолодженої води не повинна перевищувати 35 °С.

Виробництво гарячого прокату

Виробництво гарячого прокату належить до найбільш водоемких виробництв на металургійному заводі.

У цехах гарячого прокату воду використовують для охолодження елементів нагрівальних печей, охолодження обладнання стану (валків і підшипників валків, рольгангів, роликів, повітроохолоджувачів), охолодження смуги металу, що прокачують і моталок, для гідрозбивання та гідрозмиву окалини.

Водопостачання цехів гарячого прокату слід передбачати за оборотною схемою без продувки.

Концентрація завислих речовин перед первинними відстійниками в залежності від типу прокатного стану коливається від 300 мг/л до 2 000 мг/л. Концентрація масел і нафтопродуктів становить 50–100 мг/л.

Якісний склад стічних вод різних прокатних станів наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Якісний склад стічних вод прокатних станів

Прокатний стан	Кількість окалини у відсотках від ваги металу, що прокатують	Вміст окалини у стічних водах, що надходять до відстійників, мг/л	
		Первинні	Вторинні
Крупносортовний (блюмінг, слябінг)	2–3	1 500–2 000	300
Середньосортний	2–3	500–1 500	100–300
Листопрокатний тонколистовий	1–3,5	300–800	100–200
Листопрокатний товстолистовий	1–3,5	300–800	100–200
Дрібносортовний	1–3	300–800	100–200

Для гідрозмиву й гідротранспорту окалини якість води не нормують, тому для цих потреб достатня очистка стічних вод у одну стадію у первинному відстійнику. Окалина, що видаляється у первинних відстійниках після бункерів збезводнення має вологість 6–7 % і містить 0,05–0,7 % масел і нафтопродуктів.

Стічні води в процесі виробництва нагріваються на 3–5 °С. Охолодження оборотної води слід здійснювати на вентиляторних градирнях бризкального типу. Для забезпечення потрібних показників температури достатньо охолоджувати до 30 % витрати води, яка циркулює в системі.

Необхідну якість води, що подається на стани гарячого прокату з оборотного циклу забрудненої води, наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Необхідні показники якості води для окремих споживачів станів гарячого прокату

Споживачі води	Концентрація завислих речовин, мг/л	Концентрація масел, мг/л	Розмір окалини, мкм	Температура °С
Охолодження роликів, рольгангів, валків чорнових клітин	50–150	50–60	40	40–45
Охолодження чистових клітин	50–100	50–60	40	40–45
Охолодження прокату	50–75	до 35	40	37–40
Гідрозбивання окалини	20–50	50–60	40	40–45

Очищення стічних вод передбачають у 3 стадії: первинне, вторинне очищення і глибоке очищення.

Первинне очищення здійснюють у горизонтальному відстійнику з двома секціями для можливості відключення кожної секції для очищення від осаду. Розрахунковий термін перебування води становить не менше 10 хв. Первинний відстійник обладнують решітками з механізованою очисткою від грубих домішок.

Для видалення масел з поверхні первинного відстійника передбачають улаштування маслосбірного пристрою сітчастого типу.

Величину осадної частини первинного відстійника розраховують на зберігання двохдобового об'єму окалини.

Збезводнення окалини, що виходить з відстійника, здійснюють у бункері ємкістю, що дорівнює двохдобовому об'єму окалини. Видалення окалини з бункера проводять грейферним краном, а потім її направляють на утилізацію до аглофабрики.

Вторинне очищення здійснюють:

- при витраті води до $1\ 000\ \text{м}^3/\text{год}$ для всіх типів прокатних станів – у горизонтальних відстійниках з механізованим видаленням осаду [3]. Питоме гідравлічне навантаження приймають $1\ \text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$ без використання реагентів;

- при витраті води більшій за $1\ 000\ \text{м}^3/\text{год}$ для листопрокатних, дрібно-сортних і трубопрокатних станів – у радіальних відстійниках діаметром 30 м з камерою флокуляції [3, 4]. Питоме гідравлічне навантаження при реагентному обробленні води приймають $3\ \text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$, при безреагентній обробці – до $1,5\ \text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$;

- при витраті води більше $1\ 000\ \text{м}^3/\text{год}$ для середньо-, крупносортовних і заготівельних станів – в радіальних відстійниках діаметром 30 м з камерою флокуляції. Питоме гідравлічне навантаження при реагентній обробці приймають до $4\ \text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$, без коагуляції – до $1,5\ \text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$. Усі споруди повинні бути обладнані пристроями для уловлювання масел.

Для реагентної обробки використовують сірчанокисле залізо дозою 5–10 мг/л в комплексі з поліакриламідом дозою 1–2 мг/л. Сірчанокисле залізо використовують у вигляді 20–30 %-го розчину, а поліакриламід – у вигляді 0,1 %-го розчину за активною речовиною. Реагенти вводять перед відстійниками. При введенні сірчанокислового заліза може виникнути необхідність підлюговування води. В такому випадку використовують вапняне молоко з концентрацією 5 % за CaO , яке також вводять перед відстійниками.

Третій ступінь очистки (доочищення) – використовують для споживачів станів гарячої прокатки, які висувають завищені вимоги до якості вихідної води. Доочищення здійснюють у двохшарових фільтрах з антрацито-кварцовим завантаженням [3].

Режим роботи станції передбачають автоматичним з зупинкою фільтрів на промивку через 12–48 годин.

Для очистки промивних вод фільтрів передбачають додаткові горизонтальні або радіальні відстійники з питомим гідравлічним навантаженням не більше $0,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$. Освітлену воду повертають у вторинні відстійники. При використанні коагулювання води навантаження можна підвищити до $1 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$.

Надлишкові води після глибокого очищення використовують для поповнення брудних і умовно-чистих оборотних циклів.

Для стабільності води в оборотних циклах необхідно забезпечувати карбонатну жорсткість оборотної води в межах 4–5 мг-екв/л.

2.6 Розрахунок системи зворотного водопостачання

«брудного циклу»

Залежно до вимог якості води для використання її у виробничому процесі передбачають корегування якості води та обирають споруди для здійснення необхідних процесів.

Корегування якості води може включати такі процеси як: стабілізація, пом'якшення, знесолення тощо.

Крім того на промислових підприємствах існують системи оборотного водопостачання, які передбачають охолодження пристроїв, обладнання.

2.6.1 Розрахунок споруд локальної очистки

Використання очищених стічних вод в системах зворотного 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 очищують, характеру забруднюючих речовин і засобу обробки осаду, що виділяється зі стічних вод, обирають тип відстійників або інших відстійних споруд.

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

2.6.2 Розрахунок мереж виробничого водопостачання

Мережі виробничого водопостачання можуть бути напірними і безнапірними із залізобетонних, чавунних і сталевих труб.

Число ниток трубопроводів призначають залежно від категорії надійності подачі води. При відключенні одного з трубопроводів у випадку аварії другий трубопровід повинен забезпечити пропуск 70–100 % загальної витрати залежно від вимог виробництва.

На ситуаційному плані очисних споруд визначають розрахункові ділянки. Довжину розрахункових ділянок визначають за масштабом на плані.

Під час розрахунку напірних трубопроводів визначають діаметр і втрати напору за швидкостями руху води, що рекомендуються, і розрахунковими витратами. Розрахунок здійснюють за допомогою таблиць [8].

Напірні трубопроводи розраховують за економічними швидкостями. Діаметри напірних труб призначають за витратами при нормальному режимі роботи, а для розрахунку напору насосів використовують дані розрахунку при

аварійному режимі (під час аварії на одній з ділянок мережі вона повинна пропустити аварійну витрату в кількості 70–100 % від розрахункової).

Втрати напору в напірних трубопроводах визначають за формулою:

$$\Delta h = 1,5 \cdot 1\,000 \cdot i \cdot 10^{-3}, \text{ м,}$$

де 1,5 – коефіцієнт, що враховує місцеві опори в комунікаціях (цей коефіцієнт збільшений в порівнянні зі звичайними значеннями, оскільки довжина трубопроводів на майданчику порівняно невелика);

$1\,000 \cdot i$ – гідравлічний ухил;

l – довжина ділянки, м (визначають за ситуаційним планом).

Самопливні лінії розраховують за критичними швидкостями, при яких не випадають в осад завислі речовини. Критичні швидкості, за яких не осаджуються завислі речовини, приймають 1,5–2,5 м/с. Розрахунок здійснюють за допомогою таблиць [10].

Розрахунки напірних і самопливних трубопроводів, а також самопливних лотків виконують у вигляді таблиць гідравлічного розрахунку (табл. 2.6–2.8) з використанням [7-10].

Таблиця 2.6 – Самопливні лотки

Номер ділянки $N_{\text{діл}}$	Довжина ділянки $L_{\text{діл}}$	Витрата води на ділянці, $Q, \text{ м}^3/\text{год}$	$Q, \text{ л/с}$	Нормальний режим					Аварійний режим		
				$0,5Q, \text{ л/с}$	$B, \text{ м}$	$V, \text{ м/с}$	i	h/d	$Q, \text{ л/с}$	$V, \text{ м/с}$	h/d

Таблиця 2.7 – Напірні трубопроводи

Номер ділянки	Довжина ділянки $L, \text{м}$	Загальна витрата води на ділянці		Нормальний режим				Аварійний режим			
		$\text{м}^3/\text{год}$	л/с	Розрахункова витрата, $\text{л/с } 0,5$	Діаметр $d, \text{мм}$	Швидкість $V, \text{м/с}$	Втрати напору $1000i, \text{м}$	Витрата $Q, \text{л/с}$	Швидкість $V, \text{м/с}$	Втрати напору $1000i, \text{м}$	Втрати напору на ділянці, $h = i \cdot L, \text{м}$

Таблиця 2.8 – Самопливні трубопроводи

Номер ділянки	Довжина ділянки $L, \text{м}$	Загальна витрата на ділянці		Нормальний режим					Аварійний режим		
		$\text{м}^3/\text{год}$	л/с	Розрахункова витрата, $\text{л/с } 0,5$	Діаметр $d, \text{мм}$	Швидкість $V, \text{м/с}$	Уклін, i	Наповнення, h/d	Витрата $Q, \text{л/с}$	Швидкість $V, \text{м/с}$	Наповнення, h/d

Трубопроводи або лотки проектують у дві нитки. Під час розрахунку самопливних трубопроводів або лотків визначають діаметри й ухили з урахуванням швидкостей, що рекомендуються, наповнень і розрахункових витрат [9, 10].

Гідравлічне вигідним перерізом для прямокутних лотків є переріз зі співвідношенням висоти до ширини, що дорівнює 2.

2.6.3 Розрахунок насосної станції. Вибір насосів

Особливістю проєктування насосних станцій металургійних заводів є необхідність забезпечення підвищеної надійності водопостачання металургійних печей, необхідність перекачування нагрітої води або стічних вод з високою концентрацією абразивних завислих речовин.

Для кожної групи насосів передбачають водоприймальні камери, що складаються з аванкамери й ряду приймальних камер за кількістю встановлених насосів.

Споживачам, які працюють на водяному охолодженні, подавати воду слід двома самостійними водоводами, виходячи з умови забезпечення 100 % витрати води до всіх металургійних печей, а до інших споживачів – не менше 70 %.

Розглянемо вибір насосів для оборотного циклу водопостачання газоочистки доменного цеху.

Для забезпечення безперебійної подачі охолодженої води напірні трубопроводи на газоочистку прокладають із сталевих труб зі сталевою арматурою.

Кожен з двох напірних і відвідних трубопроводів розраховують на пропуск 100 % витрати води.

Насосні станції газоочисток доменних печей відносять до першої категорії надійності.

У насосній станції розташовуються дві групи насосів:

I група насосів – насоси, що подають очищену нагріту воду на градирні для охолодження;

II група – насоси, що подають охолоджену воду на газоочистку доменного цеху.

Насоси підбирають за максимальною витратою і напором води в системі.

Потрібний напір визначають за формулою

$$H_{\text{п}} = H_{\text{Г}} + h_{\text{вс}} + h_{\text{нс}} + h_{\text{в}} + H_{\text{в}}, \quad (2.25)$$

де H_T – геометрична висота підйому води, що визначається як різниця відміток землі біля цеху (для насосів I групи) або біля градирні (для насосів II групи) і мінімального рівня води в приймальній камері;

h_{BC} – втрати напору у всмоктувальному трубопроводі, $h_{BC} = 0,5\text{--}1$ м;

h_{HC} – втрати напору в комунікаціях насосної станції, $h_{HC} = 4\text{--}6$ м;

$h_{вод}$ – втрати напору у водоводах (визначають як суму втрат напору води за аварійним режимом);

H_B – вільний напір, м.

Для насосів першої групи вільний напір дорівнює робочому напору перед водорозподільвачем градирні або визначається як сума висоти підйому води від поверхні землі біля градирень до водорозподільного пристрою і робочого напору перед розбризкувачем. Для насосів другої групи вільний напір приймають за даними таблицею 2.1 (нормативні показники водоспоживання).

З резервуару градирні вода надходить до приймальної камери насосної станції.

Після відстійників рух води може бути як напірним, так і безнапірним.

При напірному режимі руху води відмітка рівня води в приймальній камері:

$$Z_{np} = Z_c - h_n - h_p, \quad (2.26)$$

де Z_c – відмітка рівня води у споруді, з якої вода надходить до приймальної камери насосів;

h_n – втрати напору в трубопроводі (визначають з гідравлічного розрахунку трубопроводів), м;

h_p – втрати напору на решітках або сітках, що встановлюють у водоприймальній камері. Втрати напору на решітках $h_p = 0,05\text{--}0,1$ м, на сітках дорівнюють $h_p = 0,15\text{--}0,2$ м.

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

ЗМ 1.1 ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД В СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1 ЗВОРОТНІ ТА БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1.1 Рациональні схеми використання води на промислових підприємствах.

1.2 Основні принципи створення зворотних та повністю замкнених (безстічних) систем водного господарства промислових підприємств.

1.3 Баланси води і солей в системах зворотного водопостачання.

Контрольні питання:

1. Назвіть безповоротні втрати води у відкритих системах зворотного водопостачання.

2. Що являє собою продувка і з якою метою її здійснюють? Які труднощі виникають у зворотних системах у разі зменшення продувки?

3. Якими факторами обумовлюється необхідність і доцільність створення замкнених систем виробничого водопостачання?

4. На яких принципах базується створення зворотних і повністю замкнених систем водопостачання?

5. Що характеризує коефіцієнт концентрування добре розчинних солей і чому дорівнює його величина?

6. За якої умови в системах зворотного водопостачання буде спостерігатися стабілізація сольового складу?

2 МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ І СТІЧНИХ ВОД, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДЛЯ ПІДЖИВЛЕННЯ ЗАМКНЕНИХ ЗВОРОТНИХ СИСТЕМ

2.1 Формування сольового складу і стабілізація іонного складу води в безпродувочних системах зворотного водопостачання.

2.2 Прояснення підживлювальної води і стабілізуючої витрати зворотної води.

2.3 Іонообмінне коректування мінерального складу очищених стічних вод й стабілізуючої витрати перед підживленням замкнених зворотних систем.

Контрольні питання:

1. Стабілізація зворотної води за допомогою продувки.
2. Як здійснюють стабілізацію зворотної води в замкнених (безпродувочних) системах?
3. Як визначають іонний склад підживлюючої води при замкненому зворотному водопостачанні?
4. Які методи застосовують для забезпечення стабільності зворотної води?
5. Для чого необхідно здійснювати зм'якшення підживлюючої води?
6. Які спороди використовують для прояснення й хімічної обробки підживлюючої води?
7. Які методи застосовують для коректування мінерального складу води, призначеної для підживлення замкнених зворотних систем? Чи достатньо тільки реагентного зм'якшення води?
8. Які апарати застосовують для іонообмінного коректування мінерального складу підживлюючої води?
9. Установки безперервного іонного обміну.

3 НЕТРАДИЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

3.1 Використання біологічно очищених стічних вод як джерела технічного водопостачання.

3.2 Доочищення біологічно очищених стічних вод коагулянтами та активним вугіллям.

3.3 Технологічні схеми підготовки стічних вод для використання у промисловості.

3.4 Коректування сольового складу води у замкнених зворотних циклах.

Контрольні питання:

1. Чим обумовлюється доцільність використання очищених стічних вод як джерела технічного водопостачання?

2. Умови використання для технічного водопостачання очищених міських промислових стічних вод і поверхневого стоку.

3. Які методи доочищення міських стічних вод застосовують із метою їх використання в системах технічного водопостачання?

4. Які вимоги ставляться до біологічно очищених стічних вод, що використовують для підживлення зворотних систем?

5. Застосування активованого вугілля для глибокого очищення стічних вод від органічних домішок.

6. Як впливає застосування коагулянтів перед адсорбційним доочищенням біологічно очищених стічних вод?

4 ПОВЕРХНЕВИЙ СТІК - РЕЗЕРВ ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

4.1 Особливості складу поверхневого стоку.

4.2 Приклади використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання.

Контрольні питання:

1. Особливості формування складу й основні різновиди забруднень поверхневого стоку.

2. Назвіть основні системи відведення поверхневого стоку з територій промислових підприємств.

3. Методи й споруди для очищення поверхневого стоку.

4. Наведіть приклади використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання.

ЗМ 1.2 ОЧИЩЕННЯ І БАГАТОРАЗОВЕ ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД В СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

5 СТВОРЕННЯ ЗВОРОТНИХ ТА ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ

5.1 Водне господарство підприємств чорної металургії

5.2 Досвід проєктування і практика експлуатації замкнених (безстічних) й маловідходних систем водного господарства. Значення хвостових установок

Контрольні питання:

1. На яких основних принципах базується створення замкнених систем?

2. Каскадний принцип подачі води споживачам в єдиному комплексі водного господарства.

3. Головні джерела утворення мінералізованих стічних вод.

4. Значення установок демінералізації стічних вод і хвостових установок при створенні замкнених зворотних систем.

5. Методи обробки осадів, що утворюються у разі очищення й повторного використання стічних вод.

6. Методи знесолення продувочних стічних вод.

6 ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ЦЕХІВ МАШИНОБУДІВНИХ ЗАВОДІВ ТА ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ ВІД ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

6.1 Гальванічне виробництво машинобудівних підприємств і металургійних заводів. Особливості стічних вод.

6.2 Огляд основних методів, технологічних схем й обладнання процесів очищення стічних вод гальванічних виробництв.

6.3 Маловідходні іонообмінні технології очищення гальваностоків від хроматів.

Контрольні питання:

1. Охарактеризуйте основні види забруднень стічних вод гальванічних виробництв.

2. Які реакції лежать в основі реагентного методу знешкодження ціановмісних стічних вод? Які реагенти при цьому застосовують?

3. Наведіть основні рішення з очищення стічних вод гальванічних виробництв.

4. Надайте порівняльну характеристику методів очищення стічних вод від іонів важких металів.

7 МЕТОДИ ІОННОЇ ФЛОТАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІОНОАКТИВНИХ ПАР ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД

7.1 Очищення промислових скидів із використанням хімічно активних реагентів.

7.2 Доочищення виробничих стічних вод від іоноактивних ПАР.

7.3 Відстійники, шламонакопичувачі і хвостосховища стічних вод і шламів гірничо-металургійних підприємств, їх вплив на водний басейн р. Дніпро.

Контрольні питання:

1. Іонна флотація, суть методу.
2. Які катіонні збирачі (ПАР) використовують для виділення іонів металів із розчинів?
3. Суть методу піноутворення для очищення виробничих стічних вод від ПАР.
4. Наведіть принципову технологічну схему установки очищення промстоків від ПАР:
5. Чим обумовлюється необхідність розробки нових технологій скорочення обсягів промислових стоків, надходження токсичних фільтратів зі шламонакопичувачів (ШН) і хвостосховищ у водні басейни?
6. Які екологічні проблеми виникають у разі надходження у поверхневі й ґрунтові води сполуки важких і рідкісних металів, що втримуються в складі стічних вод, у вигляді солей різного ступеня розчинності?
7. Головні джерела впливу промислових підприємств на водний басейн.

ЗМ 3 СПОРУДИ ЛОКАЛЬНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД
8 ВИВЧЕННЯ СКЛАДУ ТА МЕТОДІВ
ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ
МЕТАЛУРГІЇ

8.1 Стічні води гірничорудних підприємств. Стічні води збагачувальних фабрик та агломераційних виробництв.

8.2 Стічні води установок очистки доменного газу.

8.3 Стічні води сталеплавильних цехів.

Контрольні питання:

1. Назвіть основні переділи на підприємствах чорної металургії.
2. Методи збагачення руди.
3. Системи охолодження доменних печей.
4. Які види стічних вод утворюються у доменному виробництві?
5. Як здійснюється очистка газів доменних печей?
6. Водопостачання сталеплавильного виробництва.
7. Очистка стічних вод прокатних станів.

9 СПОРУДИ ЛОКАЛЬНОГО ОЧИЩЕННЯ
СТІЧНИХ ВОД З МЕТОЮ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ В ЗАМКНЕНИХ
СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

- 9.1 Конструкції відстійників для очистки виробничих стічних вод.
- 9.2 Відкриті гідроциклони, флокулятори.
- 9.3 Сучасні споруди для очистки промислових стічних вод.
- 9.4 Фільтрування води.

Контрольні питання:

1. Переваги й недоліки горизонтальних відстійників.
2. Чим обумовлено створення спеціальних конструкцій відстійників для очистки виробничих стічних вод?
3. Типи гідроциклонів. Конструктивні особливості.
4. Призначення та принцип дії відкритих гідроциклонів.
5. Конструктивні особливості і принцип роботи флокулятора.

10 ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД ВІД СУСПЕНЗІЙ І РОЗЧИНЕНИХ ХІМІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ

10.1 Основне обладнання для очищення стічних вод, забруднених суспензіями й солями важких металів, розроблене в ДП «УкрНТЦ «Енергосталь».

10.2 Зниження вмісту цинку у зворотній воді систем газоочисток доменного виробництва.

Контрольні питання:

1. Радіальні відстійники з вбудованою камерою флокуляції, принцип роботи.
2. Конструктивні особливості ярусних флокуляторів.
3. Чому дорівнює швидкість фільтрування в напірних фільтрах?
4. Відмінні особливості напірних фільтрів з двошаровим антрацитом-кварцовим завантаженням.
5. Як впливає підвищений вміст сполук цинку на роботу систем газоочистки доменного виробництва?
6. Вилучення сполук Zn з відходів металургійного виробництва.
7. Можливі шляхи виділення сполук Zn зі зворотної води.
8. Які реагенти-осаджувачі застосовують для зв'язування й виділення іонів Zn у вигляді осаду?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айрапетян Т. С. Водне господарство промислових підприємств : навч. посібник / Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 280 с.
2. Аксенов В. И. Промышленное водоснабжение : учеб. пособие / В. И. Аксенов, Ю. А. Галкин и др. – Екатеринбург : УрФУ, 2010. – 221 с.
3. Иванов В. Г. Водоснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие / В. Г. Иванов. – СПб : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – 537 с.
4. Красавцев Г. Н. Рациональное использование и защита водных ресурсов в черной металлургии / Г. Н. Красавцев, Ю. И. Ильичев, А. И. Кашуба. – М. : Металлургия, 1989. – 288 с.
5. Андоньев С. М. Особенности промышленного водоснабжения / С. М. Андоньев, В. М. Жильцов, Г. М. Левин и др. / под ред. С. М. Андоньева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Київ : Будівельник, 1981. – 246 с.
6. Кучеренко Д. И. Обратное водоснабжение (системы водяного охлаждения) / Д. И. Кучеренко, В. А. Гладков. – М. : Стройиздат, 1980. – 168 с.
7. ДБН В.2.5-74: 2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 01.01.2014. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 172 с.
8. Шевелев Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справ. пособие / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. – М. : Стройиздат, 1984. – 116 с.
9. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 01.01.2014. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 214 с.
10. Лукиных А. А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле академика Н. Н. Павловского / А. А. Лукиных, Н. А. Лукиных. – М. : Стройиздат, 1974. – 156 с.

ДОДАТОК А

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

Температура повітря за сухим термометром, °C	0	10	20	30	40
$K_{\text{вип}}$	0,001	0,001 2	0,001 4	0,001 5	0,001 6

Таблиця А.2 – Значення коефіцієнта К для вентиляторних градирень краплинним зрошувачем або зрошувачем бризкального типу

Напір води перед соплом, м	Температура повітря за вологим термометром, τ °C							
	15	16	17	18	19	20	21	22
$\Delta t = 5$ °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
$\Delta t = 10$ °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
$\Delta t = 15$ °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
$\Delta t = 20$ °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 А.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
Санкт-Петербург	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 А.4 – 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

Таблиця А.5 – 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	1 290	901-6-48
192	12 × 16	бризкальний	2,00	2ВГ-70	1 425	901-6-62
192	12 × 16	краплинний	3,67	2ВГ-70	1 130	901-6-61
192	12 × 16	краплинний	3,80	2ВГ-70	1 240	901-6-43
		бризкальний	3,60		1 400	

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Технічні характеристики радіальних відстійників із вбудованою камерою флокуляції

Показники	Значення
Навантаження	до 4 м ³ /м ² ·год
Вміст завислих речовин у проясненій воді: – при очищенні стічних вод газоочисток доменних печей, – при очищенні стічних вод газоочисток конвертерів, – при очищенні стічних вод прокатних станів: завислих речовин, масел	до 150 мг/л до 300 мг/л 50–100 мг/л 20– 30 мг/л
Потужність електроприводу	7,5 кВт
Діаметр	30 м

Таблиця Б.2 – Технічні характеристики флокуляторів

Показники	Значення
Діаметр	6–12 м
Продуктивність	600–1 000 м ³ /год – при очищенні стічних вод газоочисток; 300–350 м ³ /год – при очищенні стічних вод МБЛЗ та сортопрокатних станів
Вміст завислих речовин	до 150 мг/л – при очищенні стічних вод газоочисток доменних печей; до 300 мг/л – при очищенні стічних вод газоочисток конвертерів; 50–100 мг/л – при очищенні стічних вод сортопрокатних станів та МБЛЗ
Вміст масел	20–30 мг/л – при очищенні стічних вод прокатних станів

Таблиця Б.3 – Технічні характеристики тонкошарових флокуляторів

Вид стічних вод	Питоме навантаження	Вміст завислих речовин у проясненій воді
Стічні води газоочисток конвертерів (з обробкою флокулянтами)	до 12 м ³ /м ² ·год	до 300 мг/л
Стічні води газоочисток доменних печей (з реагентною обробкою)	до 12 м ³ /м ² ·год	до 150 мг/л

Таблиця Б.4 – Технічні характеристики відкритих (безнапірних) гідроциклонів

Види стічних вод	Діаметр апарата, м	Питоме гідравлічне навантаження, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$	Продуктивність, $\text{м}^3/\text{год}$	Вміст завислих речовин мг/л		Реагенти, що застосовуються, і їх дози
				у вихідній воді	у проясненій воді	
Стічні води газоочисток мартенівських печей	6	8–10	240–300	3 000 – 5 000	150–300	вапно, флокулянт (наприклад ПАА) до 1 мг/л
Стічні води газоочисток електростале-плавильних печей	6	3,0–5,0	90–120	2 000–3 000	150–300	Вапно, флокулянт (наприклад ПАА) до 1 мг/л
Стічні води дрібносортих прокатних станів	6	2,5–4,0	75–120	100–200	50–80	Катіон-активні флокулянти

Таблиця Б.5 – Технічні характеристики напірних антрацито-кварцових фільтрів ДП УкрНТЦ «Енергосталь»

Показники	Значення
Швидкість фільтрування, м/год	до 50
Продуктивність фільтрів $\varnothing 3,0$ м, $\text{м}^3/\text{год}$:	до 350
Робочий тиск, $\text{кгс}/\text{см}^2$ (МПа)	до 6 (0,6)
Фільтруюче завантаження: кварцовий пісок і антрацит	
Концентрація забруднень, $\text{мг}/\text{дм}^3$ у вихідній воді: – твердих завислих речовин, – масел.	до 150 до 100
Концентрація забруднень, $\text{мг}/\text{дм}^3$ у фільтраті: – твердих завислих речовин, – масел	до 10 до 10
Габаритні розміри, м – діаметр, – висота	1,0–3,4 2,5–6,0

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до практичних занять, виконання розрахунково-графічної
роботи та самостійного вивчення
з навчальної дисципліни
**«ЗВОРОТНІ ТА БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИ ВОДОКОРИСТУВАННЯ
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»**

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

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

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2022, поз. 53М

Підп. до друку 29.07.2022. Формат 60 × 84/16.
Електронне видання. Ум. друк. арк. 4,3.

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