

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання розрахунково-графічної роботи

з навчальної дисципліни

**«ТЕХНОЛОГІЯ ЕФЕКТИВНОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ
У ПРОМИСЛОВОСТІ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності
194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології,
освітня програма «Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Технологія ефективного водокористування у промисловості» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології, освітня програма «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Т. С. Айрапетян, С. В. Лукашенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 59 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. Т. С. Айрапетян,
канд. техн. наук, доц. С. В. Лукашенко

Рецензент

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

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очистки вод, протокол № 1 від 19.08.2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 Структура й оформлення розрахунково-графічного завдання.....	5
2 Вказівки до виконання основних розділів розрахунково-графічного завдання.....	6
3 Вибір системи і схеми виробничого водопостачання.....	8
4 Розрахунок водоспоживання основних виробництв металургійного заводу. Складання балансової схеми водоспоживання.....	9
5 Системи водопостачання і водовідведення окремих виробництв металургійного заводу	15
6 Розрахунок системи оборотного водопостачання «брудного циклу».....	30
6.1 Розрахунок споруд локальної очистки.....	30
6.2 Охолодження оборотної води.	35
6.3 Розрахунок мереж виробничого водопостачання.....	40
6.4 Розрахунок насосної станції. Вибір насосів.....	43
6.5 Обробка води у системах оборотного водопостачання.....	45
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51
ДОДАТКИ.....	52

ВСТУП

Водне господарство промислових підприємств – це комплексна система, що забезпечує подачу води споживачам і відведення стічних вод, взаємозв'язок систем водопостачання і водовідведення окремих виробництв підприємства або заводу, захист водного басейну від забруднення і утилізацію відходів, що містяться в стічних водах. Водночас очистка стічних вод розглядається як підготовка їх до повторного використання.

Кожне підприємство має свої специфічні особливості щодо використання води, свої джерела її забруднення, і відповідно до цього вимагає розробки та впровадження конкретних технологічних вирішень проблеми водопідготовки з метою її комплексного використання.

Предметом вивчення дисципліни «Технологія ефективного водокористування у промисловості» є вивчення водного господарства промислових підприємств, а також отримання знань з теорії і практики створення оборотних і систем водопостачання, які дозволяють скоротити або повністю виключити скидання стічних вод і забруднення водних об'єктів.

Метою виконання розрахунково-графічної роботи є вивчення особливостей використання води на підприємствах чорної металургії, розрахунок оборотної системи та складання балансової схеми водоспоживання основних цехів металургійного заводу.

У процесі виконання розрахунково-графічного завдання (РГЗ) здобувачі закріплюють теоретичні знання і оволодівають навичками проєктування і розрахунку систем виробничого водопостачання, які суттєво відрізняються від систем централізованого водопостачання населених міст як за схемами, так і за складом споруд.

1 Структура й оформлення розрахунково-графічного завдання

Розрахунково-пояснювальна записка має містити 20–25 сторінок друкованого тексту. Розділи записки повинні мати наскрізну нумерацію, усі розрахунки ілюструються ескізами та схемами споруд. Усі таблиці, рисунки та сторінки повинні мати нумерацію, має бути зміст записки, вступ та список джерел.

Структура РГЗ повинна бути такою:

– *титульний аркуш* виконують за відповідною формою, прийнятою для оформлення розрахунково-пояснювальних записок. На титульному аркуші повинні бути позначені назва (тема) РГЗ, прізвища студента і викладача дисципліни (дод. А);

– *зміст* – це послідовно перераховані найменування всіх розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів;

– список джерел;

– додатки (за необхідності).

Склад, зміст і обсяг розділів основної частини РГЗ визначаються одержаним завданням на його виконання.

Перелік джерел, на які зроблені посилання у відповідних місцях тексту, складають у тому порядку, у якому вони згадуються в тексті. Окрім літературних джерел, до списку додають перелік використаної нормативної документації (ДБН, ДСТУ, ТУ тощо).

У додатках розміщують матеріал, що є необхідним, але не може бути розміщений в основній частині РГЗ через великий обсяг або з інших міркувань. Додатки розташовують у порядку появи посилань у тексті основної частини РГЗ. Кожен додаток починають з нової сторінки.

Оформлення РГЗ здійснюють відповідно до вимог оформлення розрахунково-пояснювальних записок:

1. РГЗ виконують на аркушах формату А4 без рамки з полями: верхнє і нижнє – 20 мм, ліве – не менше 25 мм, праве – не менше 10 мм.

2. Текст РГЗ оформлюють шрифтом 14 пунктів (Times New Roman) з полуторним міжрядковим інтервалом; заголовки можуть бути виділені шрифтом 16 пунктів. Абзаци у тексті роботи становлять 1,27 см.

3. Нумерацію сторінок РГЗ проставляють у правому верхньому кутку арабськими цифрами без крапки. Нумерація сторінок – наскрізна, містить ілюстрації (рисунок) й таблиці, розташовані на окремих сторінках, а також додатки. Структурні елементи РГЗ – ВСТУП, ВИСНОВКИ, СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ – не нумерують.

4. Усі розділи РГЗ починають з нової сторінки.

5. Заголовки структурних елементів і розділів РГЗ пишуть прописними (заголовними) буквами без крапки в кінці, не підкреслюючи. Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів пишуть малими буквами починаючи з заголовної, розташовуючи номер підрозділу (пункту, підпункту) з абзацного відступу, без крапки в кінці.

2 Вказівки до виконання основних розділів розрахунково-графічного завдання

У розрахунково-графічній роботі здобувач повинен запроєктувати систему оборотного водопостачання на промисловому підприємстві, скласти балансову схему водопостачання та запроєктувати споруди для системи промислового водопостачання з розрахунками необхідних вузлів корегування якості води, що використовується у технологічному процесі заданого виробництва.

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

РГЗ містить такі частини й розділи:

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

1.1 Опис виробничого підприємства із визначенням технологій виробничого процесу та використанням води;

1.2 Визначення розрахункових витрат води. Складання балансової схеми.

2. *Частина II* 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 у системі оборотного водопостачання;

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

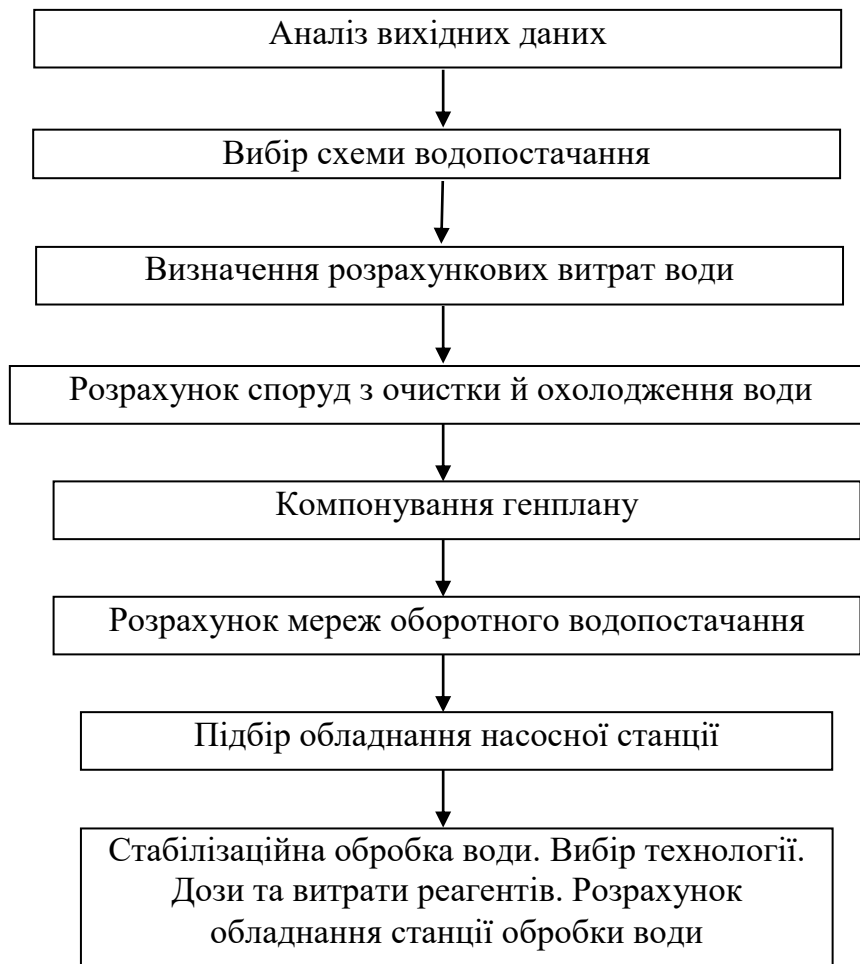


Рисунок 2.1 – Блок-схема виконання РГЗ

Студенту необхідно ретельно проаналізувати вихідні дані. З літературних джерел або із завдання необхідно отримати дані про якість води на вході

у споруди й виході з них, ознайомитися з технологіями, які застосовують у металургійному виробництві й намітити можливі системи виробничого водопостачання.

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.

У сучасних умовах, коли вирішального значення набули вимоги екології і раціонального використання води, застосовують оборотні, послідовні й замкнені схеми водопостачання металургійних підприємств.

Під час проєктування 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 очищувати на каналізаційних спорудах перед її скиданням до водойми.

Принцип системи прямого водопостачання (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 скеровують до каналізаційних очисних споруд, після яких очищені стічні води скидають до водойми.

Принцип системи оборотного водопостачання (СОВ) полягає в тому, що нагріту у технологічних процесах воду не скидають до водойми, а скеровують

для охолодження і потім знову подають у виробництво. Водночас частина води у оборотному циклі втрачається, тому передбачають поповнення втрат за рахунок додавання до системи свіжої води.

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

Витрати й втрати води у оборотних циклах водопостачання і необхідну витрату свіжої води, яку необхідно додавати, розраховують на підставі даних річної продуктивності цехів, тривалості їх роботи протягом року, а також норм водоспоживання (табл. 4.1). Розрахунки виконують для всіх основних циклів підприємства чи заводу. Отримані значення витрат є основою для складання балансової схеми водоспоживання.

Таблиця 4.1 – Нормативні показники водоспоживання

Найменування споживачів води	Норма водоспоживання	Коефіцієнт годинної нерівномірності	Втрати води у виробництві, %	Необхідний вільний напір на вході у цех, м
1	2	3	4	5
Доменні печі, охолодження (чистий цикл), м ³ /т	18–60	1,0–1,15	0,2	50–100
Газоочистка доменного цеху («брудний» цикл), метр кубічний на 1 000 м ³ газу	5,7–10,3	1,0–1,05	2	50–90
Розливальні машини з душувальними 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

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5
Газоочистка конверторів («брудний цикл»), метр кубічний 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, метр кубічний 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 електросталеплавильних печей («брудний» цикл), метр кубічний 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 (розшифрувати у разі першого згадування), у знаменнику – із допалюванням СО.				
** У чисельнику чистий цикл прокатного стану, у знаменнику – брудний.				

Таблиця 4.2 – 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 у систему, м ³ /год	Вільний напір у цеху, м	Температура води t, °С	
						у виробництві та з продувкою	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 цеху («брудний» цикл)	1,3 · 10 ⁶	8 472	6 м ³ 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 оборотної води у системі водопостачання кожного виробництва визначають за формулою (чистий цикл)

$$Q_p = \frac{n_g \cdot N \cdot K_{год}}{T}, \text{ м}^3/\text{ГОД}, \quad (4.1)$$

де n_g – норма водоспоживання (кількість води на одиницю продукції), м³/т;

N – річна продуктивність заводу (цеху), т/год;

$K_{год}$ – коефіцієнт годинної нерівномірності;

T – кількість годин роботи виробництва за рік, год.

Під час розрахунку витрат оборотної води у газоочистках металургійних агрегатів (доменних, мартенівських, конверторних, електросталеплавильних) потрібно враховувати, що норму водоспоживання вимірюють у метрах кубічних на 1 000 м³ газу, що виділяється.

Розрахункову витрату оборотної води у системі газоочисток визначають за такою формулою:

$$Q_p = \frac{n_g \cdot N \cdot N_z \cdot K_{год}}{1\,000 \cdot T}, \quad (4.2)$$

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

Під час виплавки 1 т металу виділяється така кількість газу:

- доменного – 4 000 м³;
- мартенівського – 5 000 м³;
- конверторного – 400 м³ (під час роботи без допалювання СО) і від 1 200 м³ до 1 600 м³ (із допалюванням СО);
- електросталеплавильного – 1 500 м³.

Втрати води у системі

У відкритих системах оборотного водопостачання відбуваються втрати води за рахунок випаровування її частини в охолоджувачах та через краплинне винесення вітром. Розчинені солі води, яка випарувалася (повністю або частково) залишаються в оборотній воді, підвищуючи їхню концентрацію.

Таблиця 4.3 – Температурні нормативи якості води

Водоспоживачі	Температура, °С		
	нагрітої (відпрацьованої) води, t_1 , °С	охолодженої води, t_2 , °С	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 конверторного 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

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

Втрати води на випаровування у градирнях обчислюються за такою формулою:

$$P_1 = K_{\text{gun}} \cdot \Delta t \cdot 100, \quad (4.3)$$

де $K_{вин}$ – коефіцієнт, який враховує частку тепловіддачі випаровуванням у загальній тепловіддачі (дод. А, табл. А.1);

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

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

Для поповнення втрат у циклі водопостачання й підтримки постійного складу води до системи оборотного водопостачання постійно надходить деяка кількість свіжої води, обробленої більшою чи меншою мірою.

Крім цього, здійснюють продувку оборотних систем, що сприяє зменшенню загального солемісту 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 у систему P_0 , %, дорівнює загальній сумі втрат води у системі та обчислюється за такою формулою:

$$P_0 = P_1 + P_2 + P_3, \quad (4.4)$$

де P_1 і P_2 – безповоротні втрати оборотної води під час охолодження 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:

$$K_y = \frac{P_{вин} + P_{ун} + P_{скид}}{P_{ун} + P_{скид}} = \frac{P_{одд}}{P_{одд} - P_{вин}}; \quad (4.5)$$

б) за концентруванням солей:

$$K_k = \frac{C_{об}}{C_{одд}} \text{ або } K_{Cl} = \frac{Cl_{об}^-}{Cl_{одд}^-}. \quad (4.6)$$

5 Системи водопостачання і водовідведення окремих виробництв металургійного заводу

Доменне виробництво

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

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

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

Подачу води до цих споживачів здійснюють за замкненою оборотною схемою. Для доменних печей і повітрянагрівачів повинна забезпечуватись безперервна подача охолоджувальної води, оскільки навіть тимчасове припинення подачі води може спричинити аварію, прогар конструкції доменної печі. З цією метою передбачають, окрім робочих, не менше двох резервних насосів. Кількість трубопроводів для підведення і відведення води доменного виробництва обирають не менше двох. Кожен з водоводів розраховують на пропуск 100 % витрати води.

Витрати охолоджувальної води на одну доменну піч коливаються від 2 тис. м³/год до 3 тис. м³/год. Систему водяного охолодження доменних печей зазвичай організують за оборотною схемою з підживленням свіжою технічною водою, з продувкою в кількості до 5 % від витрати циркулюючої в системі води. Під час водяного охолодження доменних печей утворюються умовно чисті стічні води, що спричиняють тільки термальне забруднення.

Газоочистка доменних печей

Водопостачання здійснюють за оборотною схемою.

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

Кількість завислих речовин у стічних водах після газоочистки становить 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:

- у разі витрати води до 2 000 м³/год – у флокуляторах $d = 12$ м; питоме навантаження на апарат під час реагентної обробки обирають 9–10 м³/м²·год;
- у разі витрати води більше за 2 000 м³/год – у радіальних відстійниках $d = 30$ м з камерою флокуляції; питоме гідравлічне навантаження під час реагентної обробки обирають 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 $Al_2(SO_4)_3$. Реагенти використовують у вигляді розчинів з концентрацією ПАА 0,1 %, сірчаноокислого алюмінію – 5–10 %. Реагенти додають перед очисними спорудами.

Після очищення концентрація завислих речовин має бути не більше ніж 300 мг/л [4].

Для запобігання утворенню карбонатних відкладень у оборотних системах газоочисток використовують триполіфосфат натрію дозою 1–2 мг/л (за P_2O_5). Реагент використовують у вигляді 0,5-відсоткового розчину. Додавання 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 скеровують на утилізацію.

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

Підбункерні приміщення доменних печей

Воду використовують на гідрозмив («брудний» цикл). Загальний вміст завислих речовин (часток руди, коксу, вапна) у воді після використання вважають допустимою до 6 000 мг/л.

Для системи гідрозмиву використовують очищені стічні води власного оборотного циклу.

Очистку стічних вод здійснюють у горизонтальних відстійниках з питомим гідравлічним навантаженням $2,6\text{--}3,0 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$.

Шлам системи гідрозмиву містить до 40–50 % заліза, тому його скеровують до заводської системи утилізації для використання на аглофабриці.

Підживлювальну воду додають до оборотного циклу перед відстійником.

Розливальні машини

Систему водопостачання розливальних машин треба проєктувати тільки за оборотною схемою («брудний» цикл).

Характеристика стічних вод: завислі речовини – 1–2,5 г/л, жорсткість – 3–5 мг-екв/л, температура – 55–80 °С.

Воду в системі оборотного водопостачання використовують для охолодження форм (мульд), що заповнені чавуном, а також чавунних чушок до температури 60–70 °С.

Під час охолодження чавуну в розливальних машинах до 20 % води випаровується, вода насичується шматками ламаного чавуну й вапна. Тому перед охолодженням воду спочатку відстоюють у відстійнику.

Якщо очисні споруди розташовані від розливальних машин на відстані більшій за 15–30 м, то перед транспортуючими лотками потрібно встановлювати пісковловлювачі для затримання крупних механічних домішок. Піскоуловлювачі розраховують за умови перебування в ньому води протягом 2–3 хвилин.

Транспортування стічних вод до очисних споруд здійснюють по лотках. Лотки за всією довжиною перекриваються плитами для можливості періодичної очистки. Ухил лотків повинен забезпечувати самоочищувальну швидкість потоку.

Для освітлення стічних вод використовують горизонтальні відстійники. Кількість завислих речовин в очищеній воді становить 150–200 мг/л.

Під час проєктування відстійників обирають: питома навантаження – $2 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$; кількість уловленого шламу – 4 кг (у сухому вигляді) на 1 т чавуну; ущільнення шламу до вологості 70 % за об'ємної щільності $1,2 \text{ т}/\text{м}^3$; щільність сухого шламу – $2,6 \text{ т}/\text{м}^3$; середню концентрацію завислих речовин в ущільненому осаді – 340 г/л.

Шлам містить до 30–40 % активного вапна. Передбачають механізоване видалення шламу з горизонтальних відстійників (кран з грейфером).

Продувка системи оборотного водопостачання не потрібна. Поповнення системи свіжою (річковою) водою передбачають перед очисними спорудами.

Вапняні шлами з відстійників утилізують у відділеннях нейтралізації і на аглофабриках.

Безповоротні втрати води у системі обирають у розмірі 10 % від витрати оборотної води або $0,5 \text{ м}^3/\text{т}$ чавуну.

Грануляційні установки

Систему водопостачання грануляційних установок проєктують за оборотною схемою без скиду стічних вод («брудний» цикл).

Концентрація завислих речовин у вихідній стічній воді в середньому становить 2 000 мг/л.

Очисними спорудами у системі слугують горизонтальні відстійники з механічним або ерліфтним засобом видалення шламу.

Питома навантаження на очисні споруди дорівнює $3 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$. Водночас вміст завислих речовин у проясненій воді не повинен перевищувати 150–200 мг/л.

Кількість уловленого шламу обирають у розмірі 3 кг/т шлаку, що розливається. Ущільнення шламу закінчується через 10–12 хв відстоювання. Вологість його водночас становить 68–77 %, об'ємна маса – $1,2\text{--}1,3 \text{ г}/\text{см}^3$, питома маса сухого шламу – $2,75\text{--}2,85 \text{ г}/\text{см}^3$. До складу осаду входять силікати, карбонати й сульфати кальцію.

Шлам має властивість твердіти під водою на 6–10 добу. Механічне перемішування перешкоджає його твердінню. Очистку відстійника передбачають через 2–3 дні.

Підживлення системи свіжою водою передбачають перед очисними спорудами.

Резервуари проясненої води після відстійників обирають відкритими і круглими в плані. Дно резервуара проєктують конусним з кутом 50° . Для установки продуктивністю 1,5 млн т шлаку на рік ємність резервуара становить 800 м^3 .

Безповоротні втрати води у системі обирають у розмірі $0,7\text{--}0,8 \text{ м}^3/\text{т}$ гранульованого шлаку, зокрема на випаровування – $0,5\text{--}0,6 \text{ м}^3$, на винос зі шлаком – $0,2 \text{ м}^3$.

Сталеплавильні виробництва

У сталеплавильному виробництві головними водоспоживачами є:

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

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

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

Під час виконання курсової роботи потрібно проєктувати водяне охолодження печей.

Схему водопостачання для вказаних споживачів обирають оборотною.

Газоочистки мартенівських печей

Водопостачання здійснюється за оборотною схемою. Кількість стічних вод від газоочистки однієї мартенівської печі становить $150\text{--}200 \text{ м}^3/\text{год}$.

Концентрація завислих речовин коливається від 100 мг/л до 17 000 мг/л, досягаючи максимальної величини в період продувки плавильної ванни киснем. Середня концентрація – 3 г/л.

Швидкість осідання завислих речовин під час коагуляції становить 0,4–0,6 мм/с. Стічні води мають кислу реакцію.

Очистку стічних вод від завислих речовин здійснюють:

– у разі витрати води до 600 м³/год – у безнапірних (відкритих) гідроциклонах діаметром 6 м. Питоме гідравлічне навантаження під час реагентної обробки води обирають 10 м³/м²·год;

– у разі витрати води більше за 600 м³/год – у флокуляторах діаметром 12 м (питоме гідравлічне навантаження під час реагентної обробки обирають 8–9 м³/м²·год).

Реагентну обробку передбачають поліакриламідом (ПАА), дозою 1 мг/л за активною речовиною і вапняним молоком у вигляді 5-відсоткового розчину за CaO. Доза вапна за активною речовиною становить 70 мг/л. Реагенти додають до очисних споруд.

Залишковий вміст завислих речовин у воді після очистки не має перевищувати 300 мг/л.

Для запобігання утворенню гіпсових відкладень у системі оборотного водопостачання передбачають скидання частини води у вигляді продувки. Кількість води, що скидають з продувкою системи, визначають розрахунком, що приблизно становить 1–2 % від витрати оборотної води.

Воду, що скидають з продувкою, використовують для зволоження шихти в агломераційному виробництві або для гасіння шлаку.

Свіжу підживлювальну воду для поповнення оборотного циклу додають перед очисними спорудами. Охолодження оборотної води не передбачають.

Склад твердої фази у шламовій пульпі, що скеровують на збезводнення, має бути не менше 300 г/л. Після збезводнення шлами підлягають утилізації.

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 становлять від 5 м³/т 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 скидання 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-тонного конвертора становить 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 г/л до 10–15 г/л.

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

Стічні води газоочисток конверторів 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 становить до 3 г/л, влаштовують закриту двосекційну камеру дегазації, обладнану каскадним лотковим водозливом. Камеру встановлюють перед очисними спорудами. Залишковий вміст оксиду вуглецю – 50 мг/л.

Камеру дегазації найчастіше поєднують 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:

– у разі витрат води до 2 000 м³/год у флокуляторах діаметром 12 м (питоме гідравлічне навантаження під час реагентного оброблення обирають 6–7 м³/м²·год, без оброблення реагентами – 3–3,5 м³/м²·год);

– у разі витрат більших за 2 000 м³/год – у радіальних відстійниках діаметром 30 м із камерою флокуляції (питоме гідравлічне навантаження обирають 1–1,5 м³/м²·год, у разі реагентної обробки – 3 м³/м²·год).

Залишковий вміст завислих речовин у воді не має 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 потрібно подавати перед очисними спорудами.

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

Для реагентної обробки обирають поліакриламід дозою 1 мг/л за активною речовиною. Його додають 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 P_2O_5 на 1 л оборотної води після відстійників у вигляді розчину концентрацією 5 % за P_2O_5 ;

– у разі надлишку в стічній воді кислих компонентів – вапняним молоком концентрацією 5 % за CaO перед відстійниками.

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

Вапно, що застосовують у киснево-конверторному 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, у газоочисних апаратах. У результаті цього в системі подачі води до сопел камери вприскування і скрубера утворюються дуже тверді відкладення карбонату кальцію з невеликим вмістом оксиду заліза, які обмежують подачу води з витратою, необхідною для належного очищення газу.

Для подібних систем потрібно передбачати методи обмеження розчинення вапна, що надходить у воду, і зменшення гідратної лужності стічних вод. Найбільш ефективними реагентами є – силікатний реагент (рідке скло) і фосфоровмісний реагент (триполіфосфат натрію).

У разі величини гідратної лужності більше 5 мг-екв/л і температури оборотної води нижче за 35 °С найбільш ефективним способом запобігання щільним сольовим відкладенням є обробка силікатним реагентом. Під час обробки води оптимальними дозами рідкого скла (50 мг/л) гідратна лужність оборотної води зменшується з 20–25 мг-екв/л до 0,5–1 мг-екв/л.

Газоочистка електросталеплавильних печей

Водопостачання газоочисток електросталеплавильних печей здійснюють за оборотною схемою без продувки.

Питома витрата води на газоочистку – 1–2 м³ на 1 000 м³ газу. Під час виплавки 1 т сталі виділяється 1 500 м³ газу.

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

Очищення стічних вод здійснюють у відкритих гідроциклонах діаметром 6 м. Питоме гідравлічне навантаження під час реагентного оброблення

дорівнює $4 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$. Передбачають використання поліакриламід у дозою 1 мг/л за активною речовиною $0,1 \%$ розчином і вапняним молоком із концентрацією 50 мг/л у вигляді 5% -відсоткового розчину за CaO . Реагенти додають перед очисними спорудами.

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

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

Склад твердої фази у шламовій пульпі, що скеровується на збезводнення, становить $100\text{--}200 \text{ г/л}$. Шлам після збезводнення утилізують.

Машина безперервного лиття заготовок (МБЛЗ)

Для водопостачання МБЛЗ передбачають два оборотних цикли:

- 1) оборотний цикл умовно чистої води для охолодження кристалізаторів і обладнання зони вторинного охолодження (роликів, рольгангів тощо);
- 2) оборотний цикл забруднених стоків від вторинного охолодження (форсункове охолодження, гідротранспорт окалини).

Під час безперервного розлиття 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 становить $300\text{--}1\,000 \text{ мг/л}$, масел – $50\text{--}70 \text{ мг/л}$.

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 потрібно проектувати з двома або більше секціями для можливості відключення кожної секції для прочистки. Розрахунковий час перебування води у відстійнику – не менше ніж 10 хв . Для видалення масел та нафтопродуктів потрібно передбачати встановлення маслосбирального пристрою. Величину осадної частини первинного відстійника треба

розраховувати на зберігання дводобового об'єму окалини, що осідає у відстійнику.

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

У разі витрат води до 1 500 м³/год очистку здійснюють у горизонтальних відстійниках з механізованим видаленням осаду, водночас питоме гідравлічне навантаження обирають до 2 м³/м²·год. Збезводнення шламу, що видаляється, передбачають у бункерах збезводнення, аналогічно до збезводнення після первинних відстійників. У разі витрат води більше за 1 500 м³/год обирають радіальні відстійники діаметром 30 м із камерою флокуляції і питомим навантаженням до 4 м³/м²·год. У всіх випадках передбачають застосування поліакриламідну як коагулянту. На цьому етапі вміст окалини зменшується до 75–100 мг/л, а масел – до 10 мг/л.

У разі будь-яких витрат води допускається використовувати флокулятори діаметром 12 м, якщо для очищення стічних вод газоочисток сталеплавильних агрегатів також обрані флокулятори. Водночас питоме навантаження потрібно обирати 3,5– 4,5 м³/м²·год.

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

Технологічні параметри роботи напірних фільтрів з антрацито-кварцовим завантаженням:

- середня швидкість фільтрування – 30–50 м/год;
- брудоемність фільтруючого завантаження – до 100 кг/л;
- тривалість промивання – 30 хвилин;
- втрати напору у 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, із виведенням окремих фільтрів на промивку за заданим режимом. На станціях з кількістю фільтрів до 20-ти передбачають можливість виключення одного фільтра на ремонт, у разі більшої 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 необхідно проводити у додаткових горизонтальних і радіальних відстійниках із питомим гідравлічним навантаженням не більше $0,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$. Освітлену воду необхідно повертати у вторинні відстійники. У разі використання коагулянтів навантаження може бути підвищене до $1 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$.

Оборотну воду оброблюють інгібіторами корозії. Для попередження випадіння солей жорсткості на роликах машини підживлення оборотної системи здійснюють пом'якшеною водою із загальною жорсткістю не більше ніж 1 мг-екв/л, для чого свіжу воду пом'якшують содово-вапняним методом.

Вибір методу стабілізаційної обробки води оборотного циклу МБЛЗ залежить від якості підживлювальної води і може здійснюватися або за допомогою підкислення, або за допомогою обробки поліфосфатами.

Охолодження оборотної води потрібно здійснювати на вентиляторних градирнях зі зрошувачами бризкального типу. Температура охолодженої води не має перевищувати $35 \text{ }^\circ\text{C}$.

Цехи гарячого прокату

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

У цехах гарячого прокату воду використовують для охолодження елементів нагрівальних печей, охолодження обладнання стану (валків

і підшипників валків, ролгангів, роликів, повітроохолоджувачів), охолодження смуги металу, що прокачують, і моталок для гідрозбивання та гідрозмиву окалини.

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

Концентрація завислих речовин перед первинними відстійниками залежно 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 у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – 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
Крупносортний (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
Дрібносортний	1–3	300–800	100–200

Для гідрозмиву й гідротранспорту окалини якість води не нормують, тому для цих потреб достатньо очистки стічних вод в 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 у процесі виробництва нагріваються на 3–5 °С. Охолодження оборотної води потрібно здійснювати на вентиляторних градирнях бризкального типу. Для забезпечення потрібних показників температури достатньо охолоджувати до 30 % витрати води, яка циркулює у системі.

Необхідну якість води, що подається на стани гарячого прокату з оборотного циклу забрудненої води, наведено у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – 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 клітей	50–150	50–60	40	40–45
Охолодження чистових клітей	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

Для очищення стічних вод передбачають три стадії: первинне, вторинне і глибоке очищення.

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

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

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

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

Вторинне очищення здійснюють:

– у разі витрат води до 1 000 м³/год для всіх типів прокатних станів – у горизонтальних відстійниках з механізованим видаленням осаду [3]; питоме гідравлічне навантаження обирають 1 м³/м²·год без використання реагентів;

– у разі витрат води більшої за 1 000 м³/год для листопрокатних, дрібносортих і трубопрокатних станів – у радіальних відстійниках діаметром 30 м із камерою флокуляції. Питоме гідравлічне навантаження під час реагентного оброблення води обирають 3 м³/м²·год, під час безреагентного оброблення – до 1,5 м³/м²·год;

– у разі витрат води більше за 1 000 м³/год для середньо-, крупносортих і заготівельних станів – у радіальних відстійниках діаметром 30 м із камерою флокуляції; питоме гідравлічне навантаження у разі реагентного оброблення обирають до 4 м³/м²·год, без коагуляції – до 1,5 м³/м²·год.

Усі споруди мають бути обладнані пристроями для уловлювання масел.

Для реагентної обробки використовують сірчанокисле залізо дозою 5–10 мг/л у комплексі з поліакриламідом дозою 1–2 мг/л. Сірчанокисле залізо використовують у вигляді 20–30-відсоткового розчину, а поліакриламід – у вигляді 0,1-відсоткового розчину за активною речовиною. Реагенти додають перед відстійниками. Під час додавання сірчанокислового заліза може виникнути необхідність підлогування води. У такому випадку використовують вапняне молоко із концентрацією 5 % за CaO, яке також додають перед відстійниками.

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

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

Для очистки промивних вод фільтрів передбачають додаткові горизонтальні або радіальні відстійники із питомим гідравлічним навантаженням не більше 0,5 м³/м²·год. Освітлену воду повертають у вторинні

відстійники. Під час 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 та умовно-чистих оборотних циклів.

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

6 Розрахунок системи оборотного 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.

До корегування якості води належать такі процеси, як стабілізація, пом'якшення, знесолення тощо.

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

6.1 Розрахунок споруд локальної очистки

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

Від механічних домішок стічні води найчастіше очищують відстоюванням. Залежно від кількості стічних вод, що 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.

Горизонтальні відстійники

Площу зони осадження, у метрах квадратних, обирають залежно від питомого гідравлічного навантаження і обчислюють за такою формулою:

$$F = \frac{Q}{q_{\text{нм}}} . \quad (6.1)$$

Довжина відстійника

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

де $V_{\text{ср}}$ – середня швидкість руху води, м/с. У проточній частині відстійника

обирають $V_{\text{ср}} = 5\text{--}10$ мм/с;

t – час перебування води у відстійнику, с;

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

де H – глибина проточної частини відстійника, обирають 1,5–4 м

(із відношенням довжини до глибини 8–20);

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

Ширина відстійника у метрах

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

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

Радіальні відстійники

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

Відстійник має у 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 порівняно зі звичайними відстійниками.

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

Під час визначення площі зони осадження в цих відстійниках не враховується площа камери флокуляції.

Площа зони осадження радіальних відстійників, m^2 , обчислюється за такою формулою:

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

Площа зони осадження одного відстійника, m^2 , обчислюється за такою формулою:

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

де D – діаметр відстійника, 30 м;

d – діаметр камери флокуляції, 10 м.

Кількість відстійників

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

Відкриті безнапірні гідроциклони і флокулятори

Відкриті гідроциклони доцільно застосовувати для освітлення порівняно невеликої кількості стічних вод (100–200 m^3 /год), які мають значну концентрацію суспензії і високі флокуляційні властивості.

Найбільшого поширення в чорній металургії одержали відкриті гідроциклони діаметром 6 м, технічні характеристики яких наведено у таблиці Б.4 (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

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

де U_0 – гідравлічна крупність, мм/с.

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

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

Площа одного гідроциклону, м², обчислюється за формулою

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

Продуктивність одного апарату, м³/год, обчислюється за формулою

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

Кількість споруд, шт., обчислюється за формулою

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

Флокулятор – апарат, у якому поєднані конструктивні елементи відкритого гідроциклону та радіального відстійника. Діаметр флокулятора і висота становлять 12 м. Під час очищення стічних вод газоочисток питоме гідравлічне навантаження на апарат становить 7–8 м³/м²·год, концентрація суспензії в очищеній воді – до 100 мг/л за вихідної 3–4 мг/л; концентрація масел в очищеній воді не перевищує 40 мг/л за вихідної 100 мг/л.

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

Технічні характеристики флокуляторів наведено у таблицях Б.1, Б.2 (дод. Б).

Порядок розрахунку флокуляторів такий:

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

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

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

S_ϕ – площа флокулятора, м², $S_\phi = 113$ м².

2. Визначають кількість апаратів, шт., за такою формулою:

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

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

3. Об'єм камери флокуляції, м³, обчислюється за такою формулою:

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

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

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

H – висота флокулятора, м ($H = 10$ м).

4. Об'єм зони відстоювання, м³, обчислюється за такою формулою:

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

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

Напірні фільтри

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

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

Загальна площа фільтрування визначається такою залежністю, м²:

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

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

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

V_{ϕ} – швидкість фільтрування за нормального режиму роботи, м/год.

Витрата води на промивку фільтра, м³/год, визначається за такою формулою:

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

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

t – тривалість промивки $t = 30$ хв.;

n – кількість промивок на добу ($n = 1-2$).

6.2 Охолодження оборотної води

Вибір типу охолоджувача

Вибір типу охолоджувача здійснюють на підставі техніко-економічного порівняння варіантів. Тип охолоджувача обирають з урахуванням розрахункової витрати води, режиму роботи, умов розміщення на промисловому майданчику, розрахункової температури охолодженої води, перепаду температур води у системі, глибини охолодження, технологічних вимог до стабільності ефекту охолодження, особливостей експлуатації, хімічного складу води та її втрат під час охолодження. Під час вибору охолоджувача враховують також вимоги природоохоронних органів до роботи охолоджувача як можливих джерел негативного впливу на стан навколишнього середовища (винесення краплинної вологи, викид шкідливих речовин, шум).

Рекомендована сфера застосування різних типів охолоджувачів води (табл. 6.1) 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 зволеним периметром), а також іншими факторами.

Вибір типу зрошувача здійснюють залежно від якості охолоджуваної води. Основним типом зрошувачів, що забезпечують найбільш високий ефект охолодження, є плівковий, але він чутливий до наявності у воді нафтопродуктів, завислих речовин та інших домішок, що викликають заростання проміжків між елементами. Плівкові зрошувачі застосовують у разі концентрації нафтопродуктів менше за 25 мг/л і завислих речовин до 50 мг/л. Якщо загальна концентрація в оборотній воді жирів і нафтопродуктів становить 25–125 мг/л, застосовують краплинні або краплинно-плівкові зрошувачі, а якщо концентрація цих речовин більша за 120 мг/л – бризкальні.

Таблиця 6.1 – Рекомендовані зони застосування охолоджувачів

Охолоджувач	Зона застосування охолоджувача води		
	Питоме теплове навантаження, тис. ккал/м ² /год	Перепад температур води, °С	Різниця температури охолодженої води та температури атмосферного повітря за зволеним 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 у таблиці надано для води, що надходить на охолоджувач із температурою < 40 °С.			

Орієнтовне гідравлічне навантаження (відношення витрати охолоджуваної води до площі градирні у плані), $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, обирають зі зрошувачем: плівкового типу – 8–12; краплинного типу – 6–10; бризкального типу – 5–6.

За умов надійності, зручності й економічності експлуатації рекомендується від 2-х до 12-ти секцій або градирень в одному оборотному циклі водопостачання. Якщо за технологічними розрахунками кількість секцій виходить за ці межі, потрібно вибрати інший типорозмір градирні.

Розрахунок баштових градирень

Розрахунок баштових градирень складається з аеродинамічного і теплового розрахунків.

У баштових градирнях тяга створюється за рахунок висоти башти. Охолоджувальний ефект залежить від конструкції зрошувача та швидкості руху повітря у зрошувачі.

У результаті аеродинамічного розрахунку визначають необхідну висоту башти, що забезпечить потрібну середню швидкість руху повітря у зрошувачі.

Розрахунки баштових градирень виконують за спеціальними алгоритмами програм із використанням ЕОМ. Для спрощення теплового розрахунку баштових градирень використовують емпіричні графіки (дод. А, рис. А1, А.2).

Під час використання баштових градирень для охолодження води розрахунок ведуть у такий спосіб. За графіком А у разі заданої щільності зрошення (гідравлічного навантаження) і перепаду температур Δt , визначають температуру охолодженої води t_2 за стандартних умов: за температури повітря 25°C , відносної вологості $\varphi = 54\%$. За графіком Б визначають поправку до значень температури і вологості повітря.

Тепловий розрахунок градирень проводять для середньодобових температур атмосферного повітря за літній період для забезпеченості від 1 % до 10 %.

Під час реконструкції баштових градирень із заміною зрошувача, модернізацією водорозподільної системи, встановленням водовловлювача до графіка охолодження води потрібно долучати коригувальні коефіцієнти, що можна здійснити під час натурних випробувань градирень після реконструкції. Однією з основних складових робіт, пов'язаних із реконструкцією градирень, є заміна дерев'яних і азбестоцементних зрошувачів на пластмасові з виконанням відповідних технологічних розрахунків (із визначенням коефіцієнтів опору зрошувача, коефіцієнтів масовіддачі, сили тяжіння, теплових розрахунків тощо) для визначення температури охолодженої води та швидкості повітря у баштовій градирні.

Розрахунок вентиляторних градирень

Аеродинамічний розрахунок вентиляторних градирень полягає насамперед у визначенні аеродинамічного опору градирні залежно від витрати повітря, що подається до неї. У вентиляторних градирнях тяга повітря створюється вентиляторами. Швидкість руху повітря у зрошувачі залежить від конструкції градирні, її гідродинамічного опору і продуктивності підбраного вентилятора. Середня швидкість руху повітря у зрошувачі вентиляторних градирень дорівнює 1,7–2,5 м/с.

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

Подальший розрахунок здійснюється із врахуванням обраної середньої швидкості руху повітря у зрошувачі.

Вихідні дані для розрахунку вентиляторних градирень:

1) гідравлічне навантаження $q_{\text{макс}}$, м³/год – максимальна годинна витрата води, що надходить до градирень;

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 залежно від температури на вході t_1 до температури на виході з градирні t_2 із заданими параметрами 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 для найменш сприятливого літнього періоду за середньодобовими температурами повітря за сухим і вологим термометрами за багаторічними спостереженнями із забезпеченістю 1–10 %. Значення параметрів атмосферного повітря (температур θ і τ і вологості φ) для деяких міст наведені у 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 зрошення вентиляторних градирень зі зрошувачем бризкального типу або краплинним зрошувачем визначають за такою формулою:

$$F_{op} = \frac{Q \cdot (t_1 - t_2) \sqrt{t_1 - t_2} \cdot 10^3}{K (V_g \cdot \rho)^{0,625} \cdot (t_1 - \tau)^{1,95}}, \quad (6.18)$$

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, і визначається за таблицею 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 у градирні становить близько 2 м/с. Наприклад, у градирнях площею 16 м² ця швидкість становить 2,21 м/с; площею 64 м² – 2,17 м/с; площею 144 м² – 2,12 м/с; площею 192 м² – 1,9 м/с; площею 400 м² – 1,86 м/с; площею 380 м² – 1,97 м/с; площею 1 200 м² – 2,3 м/с.

Щільність повітря із вологістю 40–100 % приблизно обирають залежно від температури повітря за сухим термометром у разі $\theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rho = 1,17\text{--}1,18\text{ кг/м}^3$; у разі $\theta = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rho = 1,16\text{--}1,17\text{ кг/м}^3$; у разі $\theta = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rho = 1,15\text{--}1,16\text{ кг/м}^3$; у разі $\theta = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rho = 1,14\text{--}1,15\text{ кг/м}^3$; у разі $\theta = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rho = 1,13\text{--}1,14\text{ кг/м}^3$.

Вказану формулу можна використовувати у разі ширини зони охолодження $t_1 - t_2 = 3\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$, висоти зони охолодження $t_2 - \tau = 3\text{--}4\text{ }^{\circ}\text{C}$, температури повітря за вологим термометром $\tau = 15\text{--}22\text{ }^{\circ}\text{C}$, відносної вологості $\varphi = 30\text{--}70\text{ }%$.

Кінцевим етапом теплотехнічного розрахунку є підбір типового проєкту градирень (табл. А.5, дод. А).

6.3 Розрахунок мереж виробничого водопостачання

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

Кількість ниток трубопроводів визначають залежно від категорії надійності подачі води. У разі відключення одного з трубопроводів у випадку аварії другий трубопровід повинен забезпечити пропуск 70–100 % загальної витрати залежно від вимог виробництва.

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

Під час розрахунку напірних трубопроводів визначають діаметр і втрати напору за швидкостями руху води, що рекомендуються, і розрахунковими витратами.

Напірні трубопроводи розраховують за економічними швидкостями. Діаметри напірних труб призначають за витратами у разі нормального режиму

роботи, а для розрахунку напору pomp використовують дані розрахунку за аварійного режиму (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 такою формулою:

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

де 1,5 – коефіцієнт, що враховує місцеві опори в комунікаціях (цей коефіцієнт збільшений відносно звичайних значень, оскільки довжина трубопроводів на майданчику порівняно невелика);

1 000*i* – гідравлічний ухил;

L – довжина ділянки, м (визначають за генпланом).

Самопливні лінії розраховують за критичними швидкостями, за яких не випадають в осад зважені частки. Критичні швидкості, за яких не осаджуються завислі речовини, обирають 1,5–2,5 м/с.

Розрахунки напірних і самопливних трубопроводів, а також самопливних лотків виконують у вигляді таблиць гідравлічного розрахунку (табл. 6.2–6.4).

Таблиця 6.2 – Самопливні лотки

Номер ділянки $N_{\text{дл}}$	Довжина ділянки $L_{\text{дл}}$	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 6.3 – Напірні трубопроводи

Номер ділянки	Довжина ділянки L, м	Загальна витрата води на ділянці		Нормальний режим				Аварійний режим			
		м ³ /год	л/с	Розрахункова витрата, л/с, 0,5	Діаметр, d, мм	Швидкість, V, м/с	1 000i, м	Витрата Q, л/с	Швидкість V, м/с	1 000i, м	Втрати напору на ділянці, h = i · L, м

Таблиця 6.4 – Самопливні трубопроводи

Номер ділянки	Довжина ділянки L, м	Загальна витрата на ділянці		Нормальний режим					Аварійний режим			
		м ³ /год	л/с	Розрахункова витрата, л/с, 0,5	Діаметр, d, мм	Швидкість V, м/с	Уклон, i	Наповнення, h/d	Витрата Q, л/с	Швидкість, V, м/с	Наповнення, h/d	

Трубопроводи або лотки проєктують у дві нитки. Під час розрахунку самопливних трубопроводів або лотків визначають діаметри й ухили з урахуванням швидкостей, що рекомендуються, наповнень і розрахункових витрат [8].

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

6.4 Розрахунок насосної станції. Вибір насосів

Особливістю проектування 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 низки приймальних камер за кількістю встановлених насосів.

Споживачам, які працюють на водяному охолодженні, подавати воду потрібно двома самостійними водоводами з огляду на 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 безперервної подачі охолодженої води напірні трубопроводи на газоочистку прокладають із сталевих труб зі сталеву арматурою.

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

Насосні станції газоочисток доменних печей належать до першої категорії надійності.

У насосній станції розташовуються дві групи насосів:

I група – 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 у системі.

Потрібний напір визначають за формулою

$$H_n = H_G + h_{BC} + h_{HC} + h_B + H_B, \quad (6.19)$$

де H_z – 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 у приймальній камері;

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

h_{HC} – втрати напору у комунікаціях насосної станції, $h_{HC} = 4–6$ м;

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

H_v – 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 обирають за даними таблиці 1.1 (нормативні показники водоспоживання).

З резервуару градирні вода надходить до приймальної камери насосної станції.

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

За напірного режиму руху води відмітка рівня води в приймальній камері визначається за такою формулою:

$$Z_{np} = Z_c - h_n - h_p, \quad (6.20)$$

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 решітці або сітці, що встановлюють

у водоприймальній камері. У решітці втрати напору $h_p = 0,05–0,1$ м,

у сітці $h_p = 0,15–0,2$ м.

За безнапірного режиму руху води відмітка рівня води в приймальній камері становить

$$Z_{np} = Z_c - i \cdot L - h - h_p, \quad (6.21)$$

де i – ухил лотка або трубопроводу;

L – довжина лотка або трубопроводу;

h – глибина лотка.

6.5 Обробка води у системах оборотного водопостачання

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

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

$$L_D \cdot K_K \geq 3, \quad (6.22)$$

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

K_K – коефіцієнт випаровування або концентрування добре розчинних солей оборотної води.

Боротьбу з відкладаннями карбонату кальцію у теплообмінних апаратах і трубопроводах систем оборотного водопостачання ведуть такими способами:

– безперервним додаванням у систему оборотного водопостачання води із меншою карбонатною жорсткістю у разі скидання частини відпрацьованої (оборотної) води із системи (продувки);

– підкисленням (обробка кислотою);

– фосфатуванням (додаванням в оборотну воду речовин, що гальмують процес кристалізації карбонату кальцію – поліфосфату натрію, триполіфосфату натрію $Na_5P_3O_{10}$);

– кислотно-фосфатною обробкою;

– рекарбонізацією (компенсацією втрат рівноважної вуглекислоти у системі оборотного водопостачання шляхом додавання у воду вуглекислоти, наприклад, димових газів);

– пом'якшенням підживлювальної води вапном із проясненням, натрій-катіонуванням або Н-катіонуванням із голодною регенерацією.

Кількість води, що скидають із системи під час продувки для підтримання гранично допустимої (максимальної) величини карбонатної жорсткості оборотної води у відсотках витрати оборотної води визначають за такою формулою:

$$P_3 = \frac{P_1 \cdot \mathcal{J}_{\text{ДОД}}^K}{\mathcal{J}_{\text{ГРАН}}^K - \mathcal{J}_{\text{ДОД}}^K} - P_2, \quad (6.23)$$

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

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

Метод підкислення

Під час підкислення води дозу кислоти D_k , мг/л із розрахунку на підживлювальну воду визначають за такою формулою [8]:

$$D_k = e \left(L_D - \frac{L_{\text{об}}}{K_k} \right) \frac{100}{C_k}, \quad (6.24)$$

де C_k – вміст сірчаної або соляної кислоти у відсотках (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 оборотної води, мг-екв/л, обчислюється за такою формулою:

$$L_{\text{об}} = 0,1N \sqrt{4,84N^2(P-P_1)^2 + (100-P)(CO_2)_{\text{охол}} + P(CO_2)_{\text{доб}} + 44 \cdot P \cdot L_{\text{доб}}} - 0,22N^2(P-P_1), \text{ мг-екв/л} \quad (6.25)$$

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

де $P = P_1 + P_2 + P_3$ – додавання води до системи, %.

$$N = \frac{\psi}{\sqrt{K_k(Ca^{2+})_D}}; \quad (6.26)$$

де ψ – коефіцієнт, що визначається залежно від загального солевмісту оборотної води та температури охолодженої води (табл. 6.5);

Таблиця 6.5 – Значення коефіцієнта Ψ

Температура охлажденної води, t_2 °С	Солевміст охолодженої води, $S_{об}$, 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

$(CO_2)_{\text{охол}}$ – концентрація вуглекислоти в оборотній воді після охолоджувача, мг/л, що визначається залежно від лужності підживлювальної води й коефіцієнта концентрування води у системі (табл. 6.6).

Загальний солевміст оборотної води обчислюється за такою формулою:

$$S_{\text{об}} = S_{\text{дод}} K_{\kappa}. \quad (6.27)$$

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

$$f^2 \cdot C_{Ca} \cdot C'_{SO_4} \cdot K_y^2 \leq PP_{CaSO_4}, \quad (6.28)$$

де f – коефіцієнт активності двовалентних іонів (табл. 6.7), що визначається залежно від іонної сили розчину оборотної води.

Таблиця 6.6 – Концентрація $(CO_2)_{\text{охол}}$ в оборотній воді, охолодженій у градирнях

Лужність підживлювальної води, Л _д , мг-екв/л	Концентрація $(CO_2)_{\text{охол}}$, мг/л, із коефіцієнтом випаровування				
	1,2	1,5	1,2	2,5	1,2
1	–	1	–	1	–
2	2,2	2	2,2	2	2,2
3	3,6	3	3,6	3	3,6
4	5,3	4	5,3	4	5,3
5	9	5	9	5	9
6	16,3	6	16,3	6	16,3

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

$$\mu = \frac{K_y}{2} [(C'_{Cl^-} + C_{HCO_3^-} + C_{Na^+}) + 4(C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}} + C'_{SO_4^{2-}})], \quad (6.29)$$

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 у підкисленій воді,

г-іон/л.

У разі підкислення сірчаною кислотою

$$C'_{SO_4} = C_{SO_4 \text{ дод}} + \frac{D_{\kappa} \cdot C_{\kappa}}{98 \ 000 \cdot 100}, \quad (6.30)$$

$$C'_{Cl} = C_{Cl \text{ дод}}. \quad (6.31)$$

У разі підкислення соляною кислотою

$$C'_{SO_4} = C_{SO_4 \text{ дод}}, \quad (6.32)$$

$$C'_{Cl} = C_{Cl \text{ дод}} + \frac{D_k \cdot C_k}{36 \cdot 500 \cdot 100} \quad (6.33)$$

Добуток розчинності сульфату кальцію за температури 25–60 °С, обирають $2,4 \cdot 10^{-5}$.

Таблиця 6.7 – Коефіцієнт активності двовалентних іонів

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

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

$$q_k = \frac{Q \cdot D_k}{1000}, \quad (6.34)$$

де Q – загальна кількість води, що додається до системи

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

де D_k – доза кислоти, г/м³.

Фосфатування

Як реагенти під час фосфатування застосовують гексаметафосфат, тринатрійфосфат і суперфосфат. Граничне значення лужності – 7 мг-екв/л.

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

Доза технічного продукту (тринатрійфосфату або суперфосфату) обчислюється за такою формулою:

$$D_\phi = (3 + 0,2 \frac{E}{q_\phi}) \frac{100}{C}, \quad (6.35)$$

де E – об'єм води у системі, м³;

q_ϕ – кількість води, що додається до системи, м³/Год;

C – вміст P_2O_5 у технічному реагенті, %.

Витрату тринатрійфосфату, кг/Год, визначають за такою формулою:

$$G_{\phi} = \frac{D_{\phi} \cdot q_{об}}{1\,000}. \quad (6.36)$$

де D_{ϕ} – доза P_2O_5 , яку обирають в межах 1,5–2,5 мг/л P_2O_5 .

Необхідну ємність баку для приготування робочого розчину фосфатів визначають за такою формулою:

$$V_p = \frac{0,1 \cdot D \cdot q \cdot T}{1\,000 \cdot b}, \text{ м}^3, \quad (6.37)$$

де b – міцність розчину, %;

T – тривалість роботи приготовленим розчином, год.

Витрата фосфату, г/м³, обчислюється за такою формулою:

$$Q = \left(d_{\phi} + \frac{5W}{24q_{\phi}} \right) \frac{100}{C_{\phi}}, \quad (6.38)$$

де C_{ϕ} – вміст P_2O_5 у технічному продукті % (для гексаметафосфату 50–52 %, тринатрійфосфату 17–18 %, суперфосфату 16–18 %).

D_{ϕ} – доза P_2O_5 , яку обирають у межах 1,5–2,5 мг/л P_2O_5 .

Метод рекарбонізації

Метод рекарбонізації оборотної води димовими газами або вуглекислою застосовують для обмеженого діапазону величини лужності і коефіцієнта випаровування. На практиці метод рекарбонізації застосовують у разі лужності підживлювальної води до 3–3,5 мг-екв/л і коефіцієнтів випаровування, що не перевищують 1,5.

Доза вуглекислоти, мг/л, у перерахунку на витрату оборотної води визначається за такою формулою:

$$Д_{CO_2} = \frac{Л_{Д}^2}{N} \left(\frac{P}{P - P_1} \right)^2 - \frac{100 - P}{100} (CO_2)_{охл} - \frac{P}{100} (CO_2)_{Д} \quad (6.39)$$

або

$$Д_{CO_2} = \frac{(Л_{Д} \cdot K_{ам})^2}{N^2} - \frac{100 - P}{100} (CO_2)_{охл} - \frac{P}{100} (CO_2)_{Д};$$

$$N = \frac{\psi}{\sqrt{K_{ам} \cdot Ca_{Д}}},$$

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

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Орлов В. О. Водопостачання промислових підприємств : навч. посіб. / В. О. Орлов, Л. Л. Литвиненко, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2014. – 278 с.
2. Айрапетян Т. С. Водне господарство промислових підприємств : навч. посіб. / Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 280 с.
3. Орлов В. О. Водопостачання та водовідведення : підручник / В. О. Орлов, Я. А. Тугай, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2011. – 359 с.
4. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод : підручник / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін [та ін.] – Київ : Лібра, 2000. – 551 с.
5. Тугай А. М. Водопостачання : підручник / А. М. Тугай, В. О. Орлов. – Київ : Знання, 2009. – 735 с.
6. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник / А. К. Запольський. – Київ : Вища школа, 2005. – 671 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.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Коефіцієнти $K_{вин}$ для градирень

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

Таблиця 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 °С							
	15	16	17	18	19	20	21	22
$\Delta t = 5$ °С								
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
$\Delta t = 10$ °С								
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
$\Delta t = 15$ °С								
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
$\Delta t = 20$ °С								
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 Харкова

Пункт спостереження	Забезпеченість параметрів атмосферного повітря, %								
	1			5			10		
	θ	φ	τ	θ	φ	τ	θ	φ	τ
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 охолоджувальних пристроїв	$P_2, \%$
Бризкальні басейни з площею зрошування < 400 м ²	1,5–3,5
≥ 400 м ²	1,0–2,5
Відкриті градирні	1-3
Баштові градирні з площею зрошування, м ²	
До 150	0,5–1,0
Більше 150	0,5
Більше 150 (з краплеуловлювачами)	0,05
Вентиляторні градирні з краплеуловлювачами	0,2–0,5

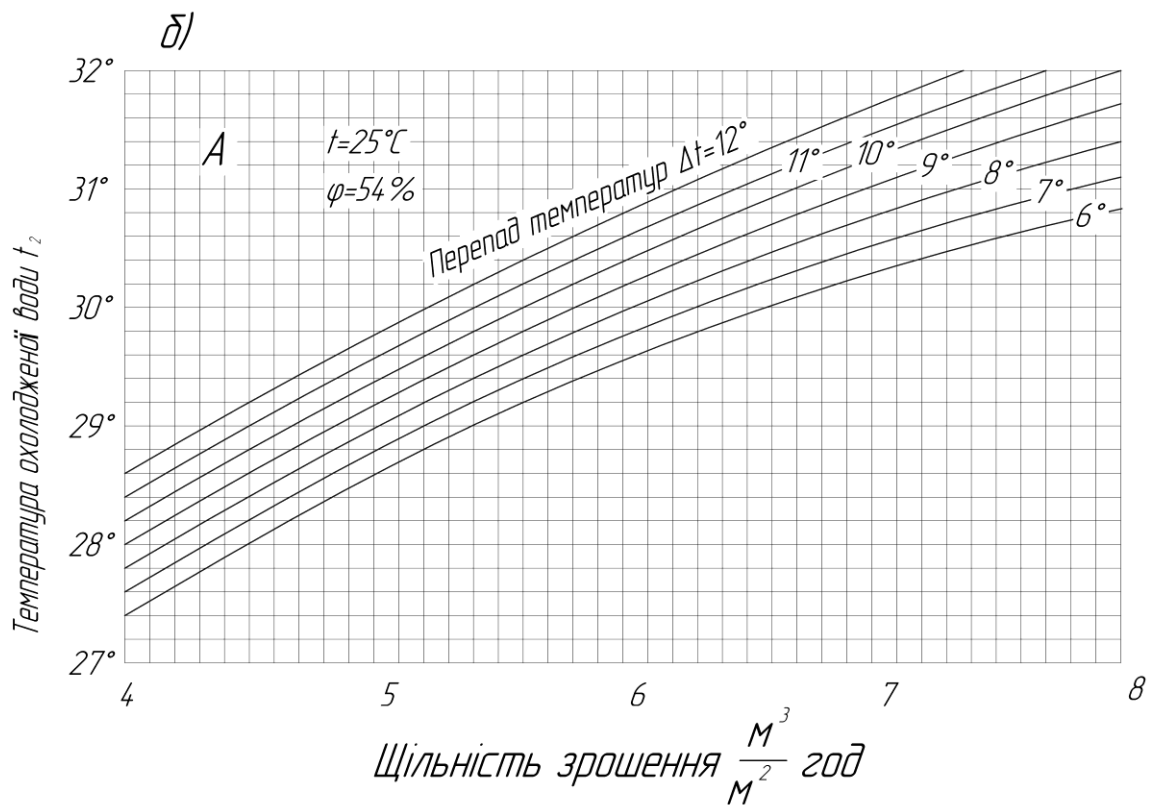
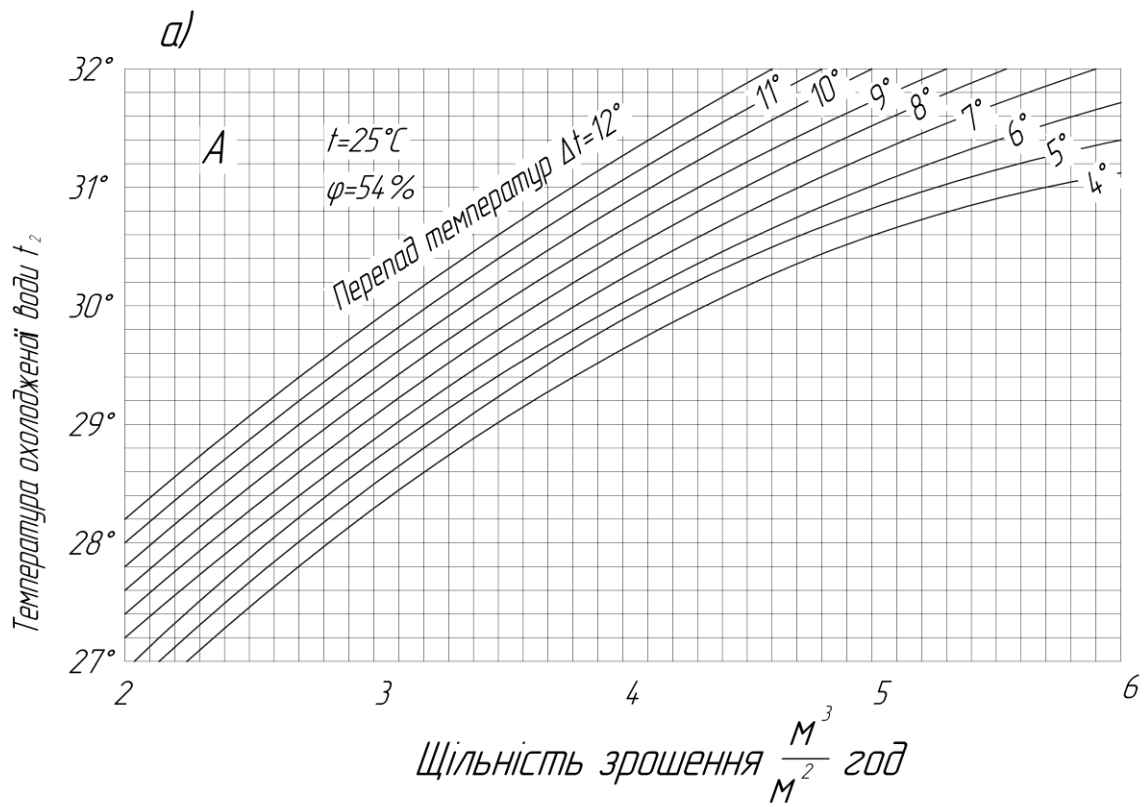
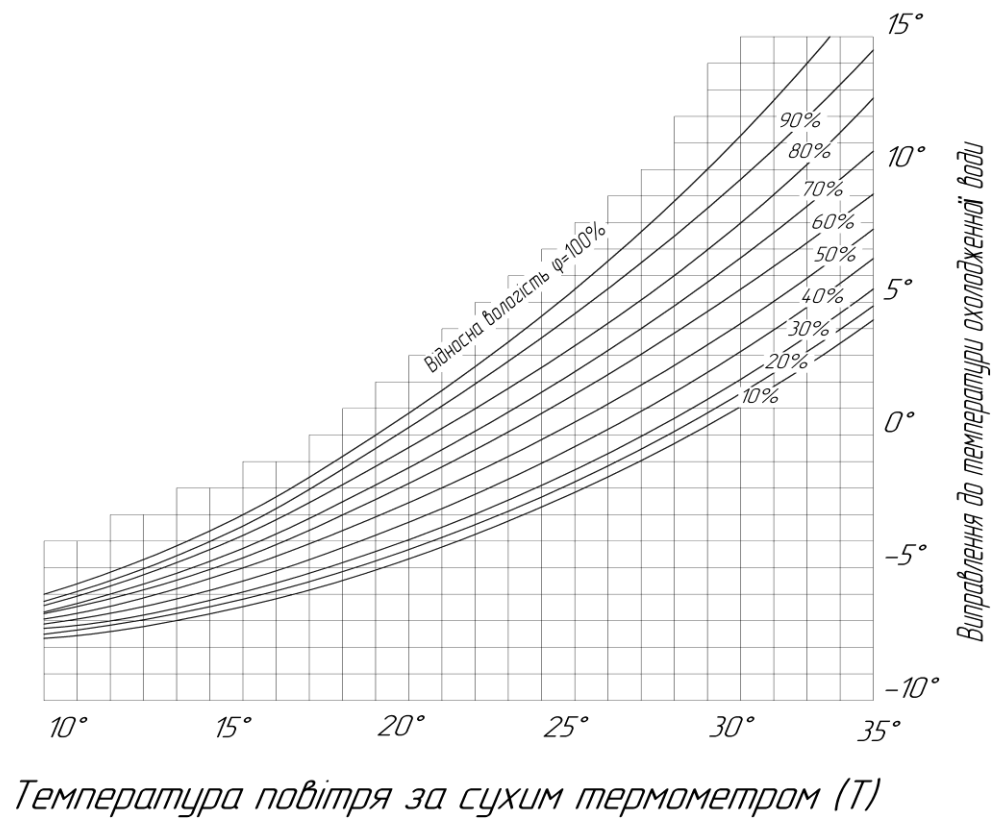
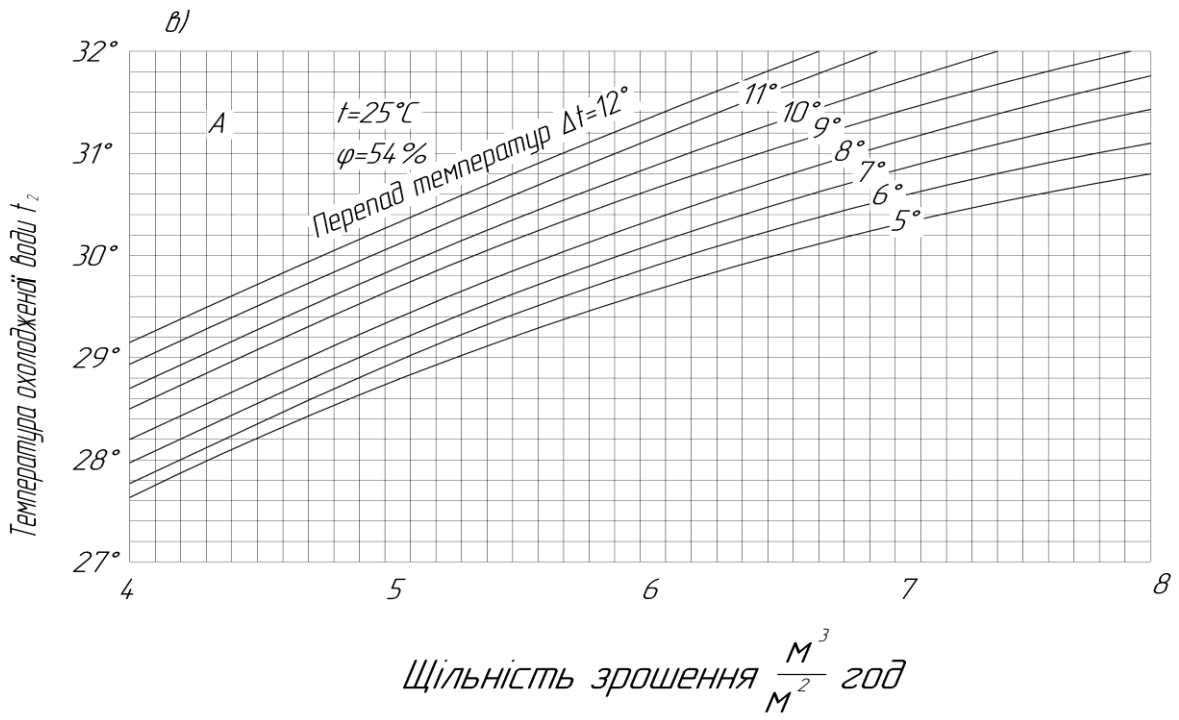


Рисунок А.1 – Номограма для розрахунку баштових градирень:
а – краплинні градирні; б – плівкові градирні



Продовження рисунка А.1:
в – краплинно-плівкові градирні

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 проєкту
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 флокуляторів

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

Таблиця Б.2 – Технічні характеристики тонкошарових флокуляторів

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

Таблиця Б.3 – Технічні характеристики напірних антрацито-кварцових фільтрів ДП УкрНТЦ «Енергосталь»

Показники	Значення
Швидкість фільтрування, м/год	до 50
Продуктивність, м ³ /год: – фільтр d 3,0 м; – фільтр d 2,0 м	до 350 до 160
Робочий тиск, кгс/см ² (МПа)	до 6 (0,6)
Фільтруюче завантаження: кварцовий пісок і антрацит	
Концентрація забруднень, мг/дм ³ у вихідній воді: – твердих завислих речовин; – масел у фільтраті: – твердих завислих речовин; – масел	до 150 до 100 до 10 до 10
Габаритні розміри, м – діаметр; – висота	1,0–3,4 2,5–6,0

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

Види стічних вод	Діаметр апарата, м	Питоме гідравлічне навантаження, м ³ /м ² ×год	Продуктивність, м ³ /год	Вміст завислих речовин мг/л		Реагенти, що застосовуються та 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 (ПАА) до 1 мг/л
Стічні води газоочисток електро-сталеплавильних печей	6	3,0–5,0	90–120	2000–3 000	150–300	Вапно, флокулянт (ПАА) до 1 мг/л
Стічні води дрібносортн. прокатних станів	6	2,5–4,0	75–120	100– 200	50–80	Катіон-активні флокулянти

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до виконання розрахунково-графічної роботи
з навчальної дисципліни

**«ТЕХНОЛОГІЯ ЕФЕКТИВНОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ У
ПРОМИСЛОВОСТІ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання зі спеціальності
194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології,
освітня програма «Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології»)*

Укладачі: **АЙРАПЕТЯН** Тамара Степанівна,
ЛУКАШЕНКО Сергій Вікторович

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

План 2025, поз. 109М

Підп. до друку 31.07.2025. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 3,4.

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