

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

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
до виконання розрахунково-графічної роботи  
та самостійного вивчення дисципліни  
**«ТЕХНОЛОГІЯ ЕФЕКТИВНОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ У**  
**ПРОМИСЛОВОСТІ»**

*(для студентів 4 курсу денної та 5 курсу заочної форм навчання  
спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні  
технології)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2020**

Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи та самостійного вивчення дисципліни «Технологія ефективного водокористування у промисловості» (для студентів 4 курсу денної та 5 курсу заочної форм навчання спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 68 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. Т. С. Айрапетян

Рецензент

**С. Ю. Нікулін**, 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 29.08.2019.*

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Рекомендації до виконання розрахунково-графічного завдання.....	
1.1 Структура й оформлення розрахунково-графічного завдання.....	5
1.2 Вказівки до виконання основних розділів РГЗ.....	6
1.3 Вибір системи і схеми виробничого водопостачання.....	8
1.4 Розрахунок водоспоживання основних виробництв металургійного заводу. Складання балансової схеми водоспоживання.....	9
1.5 Системи водопостачання і водовідведення окремих виробництв металургійного заводу .....	14
1.6 Розрахунок системи оборотного водопостачання «брудного циклу».....	30
1.6.1 Розрахунок споруд локальної очистки.....	30
1.6.2 Охолодження води. Вибір типу охолоджувача, визначення величин втрат води в системі оборотного водопостачання .....	35
1.6.3 Розрахунок мереж виробничого водопостачання.....	40
1.6.4 Розрахунок насосної станції. Вибір насосів.....	42
1.6.5 Обробка води в системах оборотного водопостачання.....	44
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ДО ВИКОНАННЯ РГЗ.....	50
2 ЗМІСТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИСЦИПЛІН Й КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	51
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ З ДИСЦИПЛІНИ.....	58
ДОДАТКИ.....	60

## Вступ

Водне господарство промислових – 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 [1-3]. При цьому очистка стічних вод розглядається як підготовка їх до повторного використання.

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

Предметом вивчення дисциплін «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 скид стічних вод і забруднення водних об'єктів.

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

Метою РГЗ є вивчення особливостей використання води на підприємствах чорної металургії, розрахунок оборотної системи та складання балансової схеми водоспоживання основних цехів 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 міст як за схемами, так і за складом споруд.

## **1 Рекомендації до виконання розрахунково-графічного завдання**

### **1.1 Структура й оформлення розрахунково-графічного завдання**

Розрахунково-пояснювальна записка повинна містити 20–25 сторінок друкованого тексту. Розділи записки повинні мати наскрізну нумерацію, всі розрахунки ілюструються ескізами та схемами споруд. Всі 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 (згідно з ГОСТ). На титульному аркуші повинні бути позначені назва (тема) РГЗ, прізвища студента й викладача дисципліни (дод. А);

– *зміст*.

До змісту належать:

- вступ;
- послідовно перераховані найменування всіх розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів;
- список літератури;
- додатки (при необхідності).
- *елементи основної частини РГЗ*.

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

– *список джерел*. Перелік джерел, на які зроблені посилання у відповідних місцях тексту, складають у тому порядку, в якому вони згадуються в тексті. Окрім літературних джерел, у список включають перелік використаної нормативної документації (ГОСТ, ДБН, ДСТУ, ТУ та ін.);

– *додатки*. В 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 (згідно з ГОСТ), тобто:

- РГЗ виконують на аркушах формату А4 без рамки з полями: верхнє і нижнє – 20, лівє – не менше 25, правє – не менше 10 мм;

- текст РГЗ оформлюють шрифтом 14 пт, (Times New Roman Arial, GOST type A, B) з полуторним міжрядковим інтервалом; заголовки можуть бути виділені шрифтом 16 пт. Абзаци в тексті відступають від тексту на 1–1,27 см;

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

- усі розділи РГЗ починають з нової сторінки;

- 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.

## **1.2 Вказівки до виконання основних розділів РГЗ**

У розрахунково-графічному завданні студент повинен запроектувати систему оборотного водопостачання на промисловому підприємстві, скласти балансову схему водопостачання та запроектувати споруди для системи промислового водопостачання з розрахунками необхідних вузлів корегування якості води, що використовується в технологічному процесі заданого виробництва.

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

РГЗ містить такі частини й розділи:

*Частина I.* 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

*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 в системі оборотного водопостачання

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

Студенту необхідно ретельно проаналізувати вихідні дані. З літературних джерел або з 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.



Рисунок 1.1 – Блок-схема виконання РГЗ

### 1.3 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 вирішальне значення набули вимоги екології і раціонального використання води, застосовують оборотні, послідовні й замкнені схеми водопостачання металургійних підприємств.

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 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 направляють на каналізаційні очисні споруди, після яких очищені стічні води скидають до водойми.

Принцип системи оборотного водопостачання (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.

#### **1.4 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 заданих річної продуктивності цехів, тривалості їх роботи протягом року, а також норм водоспоживання (табл.1.1). Розрахунки виконують для всіх основних циклів підприємства чи заводу. Отримані значення витрат є основою для складання балансової схеми водоспоживання.

Таблиця 1.1 – Нормативні показники водоспоживання

Найменування споживачів води	Норма водоспоживання	Коефіцієнт годинної нерівномірності	Втрати води у виробництві, %	Необхідний вільний напір на ввводі в цех, м
Доменні печі, охолодження (чистий цикл), м <sup>3</sup> /т	18–60	1,0–1,15	0,2	50–100
Газоочистка доменного цеху («брудний» цикл), м <sup>3</sup> на 1 000 м <sup>3</sup> газу	5,7–10,3	1,0–1,05	2	50–90
Розливальні машини з душуючими установками («брудний» цикл), м <sup>3</sup> /т	3,5	1,5–1,6	10	20–25
Грануляційні установки (брудний цикл), м <sup>3</sup> /т	2,5–5	1,2–1,6	15–30	20–25
Конверторний цех, охолодження елементів конверторів (чистий цикл), м <sup>3</sup> /т	22	1,1–1,15	1–2	30–50
Газоочистка конверторів («брудний цикл»), м <sup>3</sup> на 1 000 м <sup>3</sup> газу	18 2–20*	1,0–1,05	3	50–80
Мартенівський цех, охолодження печей (чистий цикл), м <sup>3</sup> /т	20	1,0–1,15	1–2	25–30
Газоочистка мартенівських печей, м <sup>3</sup> на 1 000 м <sup>3</sup> газу	1,5–2,0	1,0–1,05	3	50–80
Електросталеплавильний цех, охолодження печей (чистий цикл), м <sup>3</sup> /т	23	1,1–1,15	1–2	25–30
Газоочистка електросталеплавильних печей («брудний» цикл), м <sup>3</sup> на 1 000 м <sup>3</sup> газу	4–6	1,0–1,05	3	50–80
Установки безперервного розлиття сталі (УБРС), охолодження кристалізаторів (чистий цикл), м <sup>3</sup> /т	15–21	1,15–1,2	0,2	30–90
Установки безперервного розлиття сталі (УБРС), вторинне охолодження злитків («брудний» цикл), м <sup>3</sup> /т	10–14	1,15–1,2	5	30–90
Прокатні стани середньосортні, м <sup>3</sup> /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 1.2 – 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 <sup>3</sup> /год	Втрати оборотної води % $\frac{\quad}{\text{м}^3 / \text{год}}$				Витрата підживлювальної води, що додається в систему, м <sup>3</sup> /год	Вільний напір в цеху, м	Температура води t, °C	
						у виробництві та з продувкою	в процесі охолодження	в процесі очищення	загальні			до споживання	після споживання
Доменні печі, охолодження (чистий цикл)	$1,3 \cdot 10^6$	8472	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)	$1,3 \cdot 10^6$	8472	6 на 1 000 м <sup>3</sup> 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)

$$Q_p = \frac{n_g \cdot N \cdot K_{\text{ч}}}{T}, \text{ м}^3/\text{Год}, \quad (1.1)$$

де  $n_g$  – норма водоспоживання (кількість води на одиницю продукції), м<sup>3</sup>/т;

$N$  – річна продуктивність заводу (цеху), т/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<sup>3</sup> на 1 000 м<sup>3</sup> газу, що виділяється.

Розрахункову витрату оборотної води в системі газоочисток визначають за формулою, м<sup>3</sup>/год

$$Q_p = \frac{n_g \cdot N \cdot N_2 \cdot K_{\text{ч}}}{1\,000 \cdot T}, \quad (1.2)$$

де  $N_2$  – кількість газу, що виділяється під час плавки 1 т металу.

Під час виплавки 1 т металу виділяється така кількість газу:

доменного – 4 000 м<sup>3</sup>;

мартенівського – 5 000 м<sup>3</sup>;

конверторного – 400 м<sup>3</sup> (при роботі без допалювання СО);

– 1 200 м<sup>3</sup>-1 600 м<sup>3</sup> (з допалюванням СО);

електросталеплавильного - 1500 м<sup>3</sup>.

#### *Втрати води в системі*

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

Таблиця 1.3 – 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 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

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 в градирнях, %:

$$P_1 = K_{\text{вип}} \cdot \Delta t \cdot 100, \quad (1.3)$$

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

$\Delta t$  – 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 в циклі водопостачання й підтримки постійного складу води в систему оборотного водопостачання постійно надходить деяка кількість свіжої води, обробленої у тому чи іншому ступені.

Крім цього, здійснюють продувку оборотних систем, що сприяє зниженню 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 в систему  $P_d$ , %, дорівнює загальній сумі втрат води у системі:

$$P_d = P_1 + P_2 + P_3, \quad (1.4)$$

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:

$$K_y = \frac{P_{исп} + P_{ун} + P_{сбр}}{P_{ун} + P_{сбр}} = \frac{P_{доб}}{P_{доб} - P_{исп}}; \quad (1.5)$$

б) за концентруванням солей:

$$K_k = \frac{C_{об}}{C_{доб}} \quad \text{или} \quad K_{Cl} = \frac{Cl_{об}^-}{Cl_{доб}^-} \quad (1.6)$$

## 1.5 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 направляють 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 м<sup>3</sup> 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. З цією метою 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 тис. до 3 тис. м<sup>3</sup>/год. Систему водяного охолодження доменних печей, як правило, організують за оборотною схемою з підживленням свіжою технічною водою, з продувкою в 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 оборотною схемою.

Витрати води на газоочистку досягають 5 000–6 000 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>/год – у флокуляторах  $d = 12$  м [3–5];  
питоме навантаження на апарат при реагентній обробці приймають 9–10 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год;

– при витраті води більше 2 000 м<sup>3</sup>/год – у радіальних відстійниках d = 30 м з камерою флокуляції [3–5]; питоме гідравлічне навантаження при реагентній обробці приймають до 4 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год, без коагуляції – 1,5–2 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год.

Для реагентної обробки використовують поліакриламід (ПАА) з дозою 1 мг/л (за активною речовиною) і сірчаноокислий алюміній дозою 30 мг/л за Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. 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 [4].

Для запобігання утворенню карбонатних відкладень у оборотних системах газоочисток використовують триполіфосфат натрію дозою 1–2 мг/л (за Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>). 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 м<sup>3</sup>/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.

#### *Підбункерні приміщення доменних печей*

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

Для системи гідрозмиву використовують очищені стічні води власного оборотного циклу.

Очистку стічних вод здійснюють у горизонтальних відстійниках з питомих гідравлічним навантаженням 2,6–3,0 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год [3, 4].



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

Підживлювальну воду додають до оборотного циклу перед відстійником.

#### *Розливальні машини*

Систему водопостачання розливальних машин слід проектувати 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.

При охолодженні 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 більше 15–30 м, то перед транспортуючими лотками слід встановлювати піскоуловлювачі для затримання крупних механічних домішок. Піскоуловлювачі розраховують за умови перебування води в ньому протягом 2–3 хв.

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

Для освітлення стічних вод використовують горизонтальні відстійники. Кількість завислих речовин у очищеній воді дорівнює 150–200 мг/л [3].

При проектуванні відстійників приймають: питома навантаження – 2 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год; кількість уловленого шламу – 4 кг (у сухому вигляді) на 1 т чавуну; ущільнення шламу до вологості 70 % при об'ємній щільності 1,2 т/м<sup>3</sup>; щільність

сухого шламу – 2,6 т/м<sup>3</sup>; середню концентрацію завислих речовин в ущільненому осаді – 340 г/л.

Шлам містить до 30-40 % активного вапна. Видалення шламу з горизонтальних відстійників передбачають механізоване (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 в системі приймають у розмірі 10 % від витрати оборотної води або 0,5 м<sup>3</sup>/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 в системі служать горизонтальні відстійники з механічним або ерліфтним засобом видалення шламу [3].

Питоме навантаження на очисні споруди приймають 3 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год. При цьому вміст завислих речовин у проясненій воді не повинен перевищувати 150–200 мг/л.

Кількість уловленого шламу приймають у розмірі 3 кг/т шлаку, що розливається. Ущільнення шламу закінчується через 10–12 хв. відстоювання. Вологість його при цьому складає 68–77 %, об'ємна маса – 1,2–1,3 г/см<sup>3</sup>, питома маса сухого шламу – 2,75–2,85 г/см<sup>3</sup>. До складу осаду входять силікати, карбонати й сульфати кальцію.

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

Підживлення системи свіжою водою передбачають перед очисними спорудами.

Резервуари проясненої води після відстійників приймають відкритими й круглими в плані. Дно резервуара проектують конусним з кутом  $50^\circ$ . Для установки продуктивністю 1,5 млн. т шлаку за рік ємкість резервуара складає  $800 \text{ м}^3$ .

Безповоротні втрати води у системі приймають в розмірі  $0,7\text{--}0,8 \text{ м}^3/\text{т}$  гранульованого шлаку, у тому числі 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 [4, 5]:

- 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 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 вказаних споживачів приймають оборотною.

### ***Газоочистки мартенівських печей***

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

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

Швидкість осідання завислих речовин при коагуляції складає  $0,4\text{--}0,6 \text{ мм/с}$ . Стічні води мають кислу реакцію.

Очистку стічних вод від завислих речовин здійснюють:

– при витраті води до 600 м<sup>3</sup>/год – у безнапірних (відкритих) гідроциклонах діаметром 6 м [4]. Питоме гідравлічне навантаження при реагентній обробці води приймають 10 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год;

– при витраті води більше 600 м<sup>3</sup>/год – у флокуляторах діаметром 12 м [4]. Питоме гідравлічне навантаження при реагентній обробці приймають 8–9 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год.

Реагентну обробку передбачають поліакриламідом (ПАА), дозою 1 мг/л за активною речовиною і вапняним молоком у вигляді 5 %-вого розчину за СаО. Доза вапна за активною речовиною складає 70 мг/л. Реагенти вводять до очисних споруд.

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

Для запобігання утворенню гіпсових відкладень у системі оборотного водопостачання передбачають скид частини води у вигляді продувки. Кількість води, що скидають з продувкою системи, визначають розрахунком, приблизно складає 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 вводять перед очисними спорудами. Охолодження оборотної води не передбачають.

Склад твердої фази в шламовій пульпі, що направляють на збезводнення, повинен 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 складають від 5 до 13,5 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>/год, а для 250–300 т конвертора – 2 000 м<sup>3</sup>/год.

Стічні води конверторної газоочистки окрім високого вмісту завислих речовин характеризуються завищеним солемістом. 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 м<sup>3</sup>/год у флокуляторах діаметрах 12 м [4].

Питоме гідравлічне навантаження при реагентному обробленні приймають 6–7 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год, без оброблення реагентами – 3–3,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год;

– при витратах більших за 2 000 м<sup>3</sup>/год – у радіальних відстійниках діаметром 30 м з камерою флокуляції [5, 6]. Питоме гідравлічне навантаження приймають 1–1,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год, при реагентній обробці – 3 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·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 м<sup>3</sup>/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 Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> на 1 л оборотної води після відстійників у вигляді розчину концентрацією 5 % за Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>;

– 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 вуглекислою 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 електросталеплавильних печей здійснюють за оборотною схемою без продувки.

Питома витрата води на газоочистку – 1–2 м<sup>3</sup> на 1 000 м<sup>3</sup> газу. При виплавці 1 т сталі виділяється 1 500 м<sup>3</sup> 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 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год. Передбачають використання поліакриламідну 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.

#### *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 та ін.);

2) оборотний 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 маслозбірного 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 м<sup>3</sup>/год очистку здійснюють у горизонтальних відстійниках з механізованим видаленням осаду [3], при цьому питоме гідравлічне навантаження приймають до 2 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год. Збезводнення шламу, що



видаляється, передбачають в бункерах збезводнення, аналогічно збезводненню після первинних відстійників. При витраті води більше 1 500 м<sup>3</sup>/год приймають радіальні відстійники діаметром 30 м з камерою флокуляції [4] і питомим навантаженням до 4 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·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 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·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, а на двошарові – до м<sup>3</sup>/год·м<sup>2</sup>.

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 хвилин;
- 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  $1 \text{ мг-екв/л}$ , 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  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### **Цехи 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 1.4.

Таблиця 1.4 – 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
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 достатня очистка стічних вод у одну стадію у первинному відстійнику. Окалина, що видалається 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 1.5.

Таблиця 1.5 – 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 осадочної 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 м<sup>3</sup>/год для всіх типів прокатних станів – у горизонтальних відстійниках з механізованим видаленням осаду [3]. Питоме гідравлічне навантаження приймають 1 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год без використання реагентів;

– при витраті води більшій за 1 000 м<sup>3</sup>/год для листопркатних, дрібно-сортних і трубопркатних станів – у радіальних відстійниках діаметром 30 м з камерою флокуляції [3, 4]. Питоме гідравлічне навантаження при реагентному обробленні води приймають 3 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год, при безреагентній обробці – до 1,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год;

– при витраті води більше 1 000 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год, без коагуляції – до 1,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год. Усі споруди повинні бути обладнані пристроями для уловлювання масел.

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

Третій ступінь очистки (доочищення) – використовують для споживачів станів гарячої прокатки, які пред'являють 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 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год. Освітлену воду повертають у вторинні відстійники. При використанні коагулювання води навантаження можна підвищити до 1 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·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.

## 1.6 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.

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.

### 1.6.1 Розрахунок споруд локальної очистки

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

Від механічних домішок стічні води найчастіше очищують відстоюванням. Залежно від кількості стічних вод, що 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,  $m^2$ , приймають залежно від питомого гідравлічного навантаження:

$$F = \frac{Q}{q_{уд}}. \quad (1.7)$$

Довжина відстійника:

$$L = V_{cp} \cdot t, \quad (1.8)$$

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

$t$  – час перебування води у відстійнику, с.

$$t = \frac{H}{U_0}, \quad (1.9)$$

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:

$$B = \frac{Q}{V_{cp} \cdot H}. \quad (1.10)$$

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 НВО «Енергосталь». Технічні характеристики радіальних відстійників із вбудованою камерою флокуляції наведено у таблиці В.1 (дод. В).

Відстійник має в центральній частині глибину 6 м, біля стінки (на периферії) – 3,18 м. Максимальна продуктивність – 3 500 м<sup>3</sup>/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, м<sup>2</sup>:

$$F = \frac{Q}{q_{уд}}. \quad (1.11)$$

Площа зони осадження одного відстійника, м<sup>2</sup>:

$$F_1 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}, \quad (1.12)$$

де D – діаметр відстійника, 30 м;

d – діаметр камери флокуляції, 10 м.

Число відстійників:

$$n = \frac{F}{F_1}. \quad (1.13)$$

#### *Відкриті безнапірні гідроциклони і флокулятори*

Відкриті гідроциклони доцільно застосовувати для освітлення порівняно невеликої кількості стічних вод (100–200 м<sup>3</sup>/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 В.5 (дод. В).

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

$$q = 3,6 \cdot U_0, \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (1.14)$$

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 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год, а з застосуванням коагулянтів – 10–12 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год.

Площа одного гідроциклону, м<sup>2</sup>:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}. \quad (1.15)$$

Продуктивність одного апарату, м<sup>3</sup>/год:

$$Q_1 = q \cdot F. \quad (1.16)$$

Кількість споруд, шт.:

$$n = \frac{Q}{Q_1}. \quad (1.17)$$

*Флокулятор* – апарат, в якому суміщені конструктивні елементи відкритого гідроциклону та радіального відстійника. Діаметр флокулятора і висота 12 м. При очищенні стічних вод газоочисток питоме гідравлічне навантаження на апарат становить 7–8 м<sup>3</sup>/ м<sup>2</sup>·год, концентрація суспензії в очищеній воді – до 100 мг/л при вихідній 3–4 г/л; концентрація масел в очищеній воді не перевищує 40 мг/л при вихідній 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 В.2, В.3 (дод. В).

Порядок розрахунку флокуляторів наступний:

1. Визначають витрату води на один апарат, м<sup>3</sup>/год:

$$Q_1 = q_{num} \cdot S_{\phi}, \quad (1.18)$$

де  $q_{num}$  – питоме гідравлічне навантаження на один апарат, м<sup>3</sup>/ч;

$S_{\phi}$  – площа флокулятора, м<sup>2</sup>,  $S_{\phi} = 113 \text{ м}^2$ .

2. Визначають кількість апаратів, шт.:

$$n = \frac{Q}{Q_1}, \quad (1.19)$$

де  $Q$  – загальна витрата стічних вод, що надходять на очищення, м<sup>3</sup>/год.

3. Об'єм камери флокуляції, м<sup>2</sup>:

$$W_k = \frac{\pi}{4} (D_\phi^2 - D_k^2) \cdot H, \quad (1.20)$$

де  $D_\phi$  – 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, м<sup>3</sup>:

$$W_{\text{відст}} = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} \cdot H. \quad (1.21)$$

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 НВО «Енергосталь» наведено у таблиці В.4 (дод. В).

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

Загальна площа фільтрування визначається залежністю, м<sup>2</sup>:

$$F_\phi = \frac{\alpha \cdot Q}{V_\phi}, \quad (1.22)$$

де  $\alpha$  – 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, м<sup>3</sup>/год;

$V_\phi$  – швидкість фільтрування при нормальному режимі роботи, м/год.

Витрата води на промивку фільтру, м<sup>3</sup>/год:

$$q_\phi = \frac{F_\phi \cdot q_{np} \cdot t \cdot n}{24}, \quad (1.23)$$

де  $q_{np}$  – інтенсивність промивки фільтра, л/(с·м<sup>2</sup>), для піщаного завантаження і завантаження з мармурової крихти – 15 л/(с·м<sup>2</sup>), для подрібненого антрациту – 10 л/(с·м<sup>2</sup>);

$t$  – тривалість промивки  $t = 30$  хв.;

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

## 1.6.2 Охолодження оборотної води

### *Вибір типу охолоджувача*

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

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.

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 визивають заростання зазорів між елементами. Плівкові зрошувачі застосовують при

концентрації нафтопродуктів менше 25 мг/л і завислих речовин до 50 мг/л. При загальній концентрації в оборотній воді жирів і нафтопродуктів 25–125 мг/л застосовують краплинні або краплинно-плівкові зрошувачі, а при концентрації цих речовин більше 120 мг/л – бризкальні.

Таблиця 1.6 – Рекомендовані області застосування охолоджувачів

Охолоджувач	Область застосування охолоджувача води		
	Питоме теплове навантаження, тис. ккал/м <sup>2</sup> /год	Перепад температури р 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), м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·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 баштових градирень*

Розрахунок баштових градирень складається з аеродинамічного і теплового розрахунків.

У баштових градирнях тяга створюється за рахунок висоти башти. Охолоджуючий ефект залежить від конструкції зрошувача та швидкості руху повітря в 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 з використанням ЕОМ. Для спрощення теплового розрахунку баштових градирень використовують емпіричні графіки (дод. А).

При використанні баштових градирень для охолодження води розрахунок ведуть наступним чином. За графіком А при заданій щільності зрошення (гідралічному навантаженні) і перепаду температур  $\Delta t$ , визначають температуру охолодженої води  $t_2$  при стандартних умовах: температурі повітря 25 °С, 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 %.

При реконструкції баштових градирень з заміною зрошувача, модернізацією водорозподільної системи, встановленням водоуловлювача до графіку охолодження води слід вводити корегувальні коефіцієнти, що може бути здійснено при натурних випробуваннях градирень після реконструкції. Однією з основних складових робіт, пов'язаних з реконструкцією градирень є заміна дерев'яних і азбестоцементних зрошувачів на пластмасові з виконанням відповідних технологічних розрахунків (з визначення коефіцієнтів опору зрошувача, коефіцієнтів масовіддачі, сили тяжіння, теплових розрахунків тощо) для визначення температури охолодженої води та швидкості повітря в баштовій 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 підбраного 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  $q_{\text{макс}}$ , м<sup>3</sup>/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  $\theta$ , вологості повітря  $\varphi$  і температури за вологим термометром  $\tau$ .

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  $\theta$  і  $\tau$  і вологості  $\varphi$ ) 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

$$F_{op} = \frac{Q \cdot (t_1 - t_2) \sqrt{t_1 - t_2} \cdot 10^3}{K(V_g \cdot \rho)^{0,625} \cdot (t_1 - \tau)^{1,95}}, \quad (1.24)$$

де  $Q$  – витрата охолоджуваної води, м<sup>3</sup>/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;

$\rho$  – щільність зовнішнього повітря залежно від його температури за сухим термометром і його відносною вологістю, кг/м<sup>3</sup>;

$\tau$  – температура повітря за вологим термометром °С.

Швидкість руху повітря в градирні складає близько 2 м/с. Наприклад, у градирнях площею 16 м<sup>2</sup> ця швидкість становить 2,21 м/с; 64 м<sup>2</sup> – 2,17 м/с; 144 м<sup>2</sup> – 2,12 м/с; 192 м<sup>2</sup> – 1,9 м/с; 400 м<sup>2</sup> – 1,86 м/с; 380 м<sup>2</sup> – 1,97 м/с; 1200 м<sup>2</sup> – 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/м<sup>3</sup>;  $\theta = 22$  °С  $\rho = 1,16$ – $1,17$  кг/м<sup>3</sup>;  $\theta = 24$  °С  $\rho = 1,15$ – $1,16$  кг/м<sup>3</sup>;  $\theta = 26$  °С  $\rho = 1,14$ – $1,15$  кг/м<sup>3</sup>;  $\theta = 80$  °С  $\rho = 1,13$ – $1,14$  кг/м<sup>3</sup>.

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).

### 1.6.3 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 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 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:

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

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 000i – гідравлічний ухил;

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

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



Розрахунки напірних і самопливних трубопроводів, а також самопливних лотків виконують у вигляді таблиць гідравлічного розрахунку (табл. 1.7-1.9) з використанням [4-7].

Таблиця 1.7 – 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 1.8 – Напірні трубопроводи

Номер ділянки	Довжина ділянки $L, \text{ м}$	Загальна витрата води на ділянці		Нормальний режим				Аварійний режим			
		$\text{м}^3/\text{год}$	$\text{л/с}$	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 1.9 – Самопливні трубопроводи

Номер ділянки	Довжина ділянки $L, \text{ м}$	Загальна витрата на ділянці		Нормальний режим					Аварійний режим		
		$\text{м}^3/\text{год}$	$\text{л/с}$	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 [6, 7].

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

#### **1.6.4 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 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 сталеву 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

$$H_{II} = H_{II} + h_{BC} + h_{HC} + h_{B} + H_{B}, \quad (1.25)$$

де  $H_{II}$  – 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,  $h_{BC} = 0,5-1$  м;

$h_{HC}$  – втрати напору в комунікаціях насосної станції,  $h_{HC} = 4-6$  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 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.

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

$$Z_{np} = Z_c - h_n - h_p, \quad (1.26)$$

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 решітці або сітці, що встановлюють в водоприймальній камері. В решітці втрати напору  $h_p = 0,05-0,1$  м, в сітці  $h_p = 0,15-0,2$  м.

При безнапірному режимі руху води відмітка рівня води в приймальній камері складає:

$$Z_{np} = Z_c - i \cdot L - h - h_p \quad (1.27)$$

де  $i$  – ухил лотку або трубопроводу;

$L$  – довжина лотку або трубопроводу;

$h$  – глибина лотку.

### 1.6.5 Обробка води в системах оборотного 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.

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

$$L_d \cdot K_k \geq 3, \quad (1.28)$$

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 в теплообмінних апаратах і трубопроводах систем оборотного водопостачання ведуть наступними способами:

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

2) підкисленням (обробка кислотою);

3) фосфатуванням – (додавання в оборотну 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 оборотної води, % від витрати оборотної води, визначають за формулою

$$P_3 = \frac{P_1 \cdot \mathcal{J}_{\text{ДОБ}}^{\text{К}}}{\mathcal{J}_{\text{ГРАН}}^{\text{К}} - \mathcal{J}_{\text{ДОБ}}^{\text{К}}} - P_2, \quad (1.29)$$

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  $D_{\text{к}}$ , мг/л з розрахунку на підживлювальну воду визначають за формулою [8]:

$$D_{\text{к}} = e \left( L_{\text{Д}} - \frac{L_{\text{ОБ}}}{K_{\text{к}}} \right) \frac{100}{C_{\text{к}}}, \quad (1.30)$$

де  $C_{\text{к}}$  – вміст сірчаної або соляної кислоти % (для сірчаної кислоти  $C_{\text{к}} = 92$  %);

$e_{\text{к}}$  – еквівалентна маса кислоти, для сірчаної кислоти  $e_{\text{к}} = 49$  мг/мг-екв, для соляної кислоти  $e_{\text{к}} = 36,5$  мг/мг-екв.

Лужність оборотної води, мг-екв/л: (1.31)

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

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

$$N = \frac{\psi}{\sqrt{K_{\kappa}(Ca^{2+})_{\text{д}}}}; \quad (1.32)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт, що визначається залежно від загального солевмісту оборотної води та температури охолодженої води (табл. 1.10);

$(CO_2)_{\text{охол}}$  – концентрація вуглекислоти в оборотній воді після охолоджувача, мг/л, що визначається залежно від лужності підживлювальної води й коефіцієнта концентрування води в системі (табл. 1.11).

Загальний солевміст оборотної води:

$$S_{\text{об}} = S_{\text{оод}} K_{\kappa}. \quad (1.33)$$

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:

$$f^2 \cdot C_{Ca} \cdot C'_{SO_4} \cdot K_y^2 \leq PP_{CaSO_4}, \quad (1.34)$$

де  $f$  – коефіцієнт активності двохвалентних іонів (табл. 1.12), що визначається залежно від іонної сили розчину оборотної води.

Таблиця 1.11 – Концентрація  $(CO_2)_{\text{охол}}$  в оборотній воді, охолодженій в градирнях

Лужність підживлювальної води $L_{\text{д}}$ , мг-екв/л	Концентрація $(CO_2)_{\text{охол}}$ , 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:

$$\mu = \frac{K_y}{2} [(C'_{Cl^-} + C_{HCO_3^-} + C_{Na^+}) + 4(C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}} + C'_{SO_4^{2-}})], \quad (1.35)$$

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.

Таблиця 1.10 – Визначення коефіцієнта  $\psi$

Температура охлажденної води, $t_2$ °C	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

При підкисленні сірчаною кислотою:

$$C'_{SO_4} = C_{SO_4 \text{ дод}} + \frac{D_k \cdot C_k}{98\,000 \cdot 100}, \quad (1.36)$$

$$C'_{Cl} = C_{Cl \text{ дод}}. \quad (1.37)$$

При підкисленні соляною кислотою:

$$C'_{SO_4} = C_{SO_4 \text{ дод}}, \quad (1.38)$$

$$C'_{Cl} = C_{Cl \text{ дод}} + \frac{D_k \cdot C_k}{36\,500 \cdot 100} \quad (1.39)$$

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

Таблиця 1.12 – Коефіцієнт активності двохвалентних іонів

$\mu$ , Г-іон/кг	f	$\mu$ , Г-іон/кг	f	$\mu$ , 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

$$q_k = \frac{Q \cdot D_k}{1000}. \quad (1.40)$$

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

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

де –  $D_k$  – доза кислоти, г/м<sup>3</sup>.

### 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):

$$D_\phi = (3 + 0,2 \frac{E}{q_d}) \frac{100}{C}, \quad (1.41)$$

де E – об'єм води в системі, м<sup>3</sup>;

$q_d$  – кількість води, що додають до системи, м<sup>3</sup>/год;

C – вміст P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> у технічному реагенті, %.



Витрату тринатрійфосфату, кг/год, визначають за формулою

$$G_{\phi} = \frac{D_{\phi} \cdot q_{\text{доб}}}{1\,000}. \quad (1.42)$$

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

$$V_p = \frac{0,1 \cdot D \cdot q \cdot T}{1\,000 \cdot b}, \text{ м}^3 \quad (1.43)$$

де  $b$  – міцність розчину, %;

$T$  – тривалість роботи приготовленим розчином, год.

Витрата фосфату, г/м<sup>3</sup>:

$$Q = \left( d_{\phi} + \frac{5W}{24q_{\phi}} \right) \frac{100}{C_{\phi}}, \quad (1.44)$$

де  $C_{\phi}$  – вміст  $P_2O_5$  у технічному продукті % (для гексаметафосфату 50–52 %, тринатрій фосфату 17–18 %, суперфосфату 16–18 %).

$D_{\phi}$  – доза  $P_2O_5$ , приймають в межах 1,5–2,5 мг/л  $P_2O_5$ .

#### *Метод рекарбонізації*

Метод рекарбонізації оборотної 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 мг-екв/л і коефіцієнтах випаровування, що не перевищують 1,5.

Дозу вуглекислоти, мг/л, в перерахунку на витрату оборотної води:

$$D_{CO_2} = \frac{L_D^2}{N} \left( \frac{P}{P - P_1} \right)^2 - \frac{100 - P}{100} (CO_2)_{\text{охл}} - \frac{P}{100} (CO_2)_D \quad (1.45)$$

або

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

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

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

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ДО ВИКОНАННЯ РГЗ

1. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Под ред. В. Н. Самохина. – Изд 2-е. – М. : Стройиздат, 1981. – 639 с.
2. Защита водоемов от загрязнения сточными водами предприятий черной металлургии / Г. М. Левин, Г. С. Пантелят, И. А. Ванштейн, Ю. М. Супрун. – М. : Металлургия, 1978. – 216 с.
3. Вахлер Б. Л. Водоснабжение и водоотведение на металлургических предприятиях : справочник / Б. Л. Вахлер. – М. : Металлургия, 1977. – 320 с.
4. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 172 с.
5. Шевелев Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб : справ. пособие / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. – М. : Стройиздат, 1984. – 116 с.
6. ДБН В.2.5–75: 2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ : Межрегіон України. – 210 с.
7. 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. – 160 с.
8. Кучеренко Д. И. Обратное водоснабжение (системы водяного охлаждения) / Д. И. Кучеренко, В. А. Гладков. – М. : Стройиздат, 1980. – 168 с.

**2 ЗМІСТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИСЦИПЛІН Й  
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ  
«ТЕХНОЛОГІЯ ЕФЕКТИВНОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ У  
ПРОМИСЛОВОСТІ»**

**ЗМ 1.1 ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

***Тема 1 ЗАСТОСУВАННЯ ВОДИ В ПРОМИСЛОВОСТІ***

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

**Контрольні запитання**

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

***Тема 2 СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ***

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

**Контрольні запитання**

1. Існуючі схеми використання води на промислових підприємствах.

2. Послідовно-оборотні системи водопостачання. Їх переваги перед прямоточними системами.

3. Ускладнення в роботі діючих систем водопостачання та водовідведення промислових підприємств.

4. Чим відрізняються замкнені системи водопостачання від оборотних?

5. У чому полягає сутність раціонального використання води?

6. Сформулюйте основні тенденції раціонального водокористування на сучасному етапі.

### ***Тема 3 БАЛАНСИ ВОДИ ТА СОЛЕЙ В ОБОРОТНИХ ЦИКЛАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ***

1. Втрати води в оборотних системах. Водний баланс оборотних систем.

2. Поняття коефіцієнта концентрування солей або коефіцієнта випаровування. Визначення  $K_k$  на підставі водного балансу системи.

3. Визначення коефіцієнта концентрування через сольовий баланс системи.

4. Водно-хімічний режим оборотних систем.

#### **Контрольні запитання**

1. Поняття продувки й підживлення систем оборотного водопостачання.

2. Рівняння водно-сольового балансу.

3. Використання коефіцієнта концентрування добре розчинних солей для розрахунків водно-хімічного режиму роботи систем оборотного водопостачання.

### **ЗМ 1.2 ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ**

#### ***Тема 4 СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ***

1. Класифікація систем охолодження.

2. Система водяного охолодження. Принцип і схеми.

3. Випарне охолодження, принцип і схеми.

4. Техніко-економічні показники систем охолодження.

### **Контрольні запитання**

1. Наведіть класифікацію систем охолодження води.

2. Від чого залежить витрата охолоджуючої води?

3. Як здійснюють охолодження холодною водою?

4. У чому полягають переваги випарного охолодження в порівнянні з водяним?

### ***Тема 5 ОХОЛОДЖЕННЯ ОБОРотної ВОДИ***

1. Процеси охолодження в охолоджувачах.

2. Класифікація споруд для охолодження води.

3. Якісні і кількісні характеристики роботи охолоджувачів.

### **Контрольні запитання**

1. У яких випадках виникає необхідність охолодження води на підприємствах?

2. Як відбуваються процеси охолодження в охолоджувачах?

3. Класифікація споруд для охолодження води за способом передачі тепла й підведення повітря.

4. Від чого залежить витрата охолоджуючої води?

### ***Тема 6 ОХОЛОДЖУВАЧІ ВОДИ***

1. Водосховища-охолоджувачі.

2. Бризкальні басейни.

3. Класифікація градирень, їх конструкції.

4. Умови застосування охолоджувачів.

### **Контрольні запитання**

1. За яких умов доцільне застосування водосховищ-охолоджувачів?

2. Переваги й недоліки застосування водосховищ-охолоджувачів і бризкальних басейнів.

3. Типи градирень.

4. Водорозподільні системи й зрошувальні устрої градирень.

5. Типи зрошувачів.

6. Як відбувається охолодження води в градирнях відкритого типу?

7. Конструкція та умови використання баштових градирень.

8. В яких випадках застосовують вентиляторні градирні.

9. Малогабаритні градирні для охолодження води.

### ***Тема 7 ОБРОБКА ВОДИ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ***

1. Причини та види заростання труб і теплообмінних апаратів.

2. Поняття стабільності води, рівняння вуглекислотної рівноваги.

3. Методи обробки води для попередження карбонатних відкладень, корозії труб і теплообмінних апаратів.

#### **Контрольні запитання**

1. Основні причини порушення водно-хімічного режиму роботи діючих систем водопостачання та водовідведення ПП.

2. Визначення стабільності води.

3. Назвіть основні методи запобігання щільним сольовим відкладенням в оборотних системах водопостачання.

4. Які методи запобігання сольовим відкладенням застосовують в системах водопостачання газоочисток конверторних цехів?

ЗМ 1.3 МЕТОДИ ПІДГОТОВКИ ВОДИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ  
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

***Тема 8 МЕТОДИ ПІДГОТОВКИ ВОДИ ДЛЯ ПОТРЕБ ПРОМИСЛОВОГО  
ВОДОПОСТАЧАННЯ***

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

**Контрольні запитання**

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

***Тема 9 ЗМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ***

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

**Контрольні запитання**

1. У чому полягає сутність катіонообмінного методу зм'якшення води?
2. Які основні типи катіонообмінних матеріалів?
3. Опишіть хімізм катіонообмінного процесу.
4. Які є типи катіонообмінних фільтрів?

5. Назвіть переваги й недоліки процесу Na-катіонування при його організації в один і два ступеня.
6. Опишіть схему Na-катіонітового зм'якшення води.
7. Що таке повна й робоча обмінна ємкість катіоніта?
8. Опишіть H-катіонітове зм'якшення води.
9. Опишіть H-Na-катіонування води.

### **Тема 10 ЗНЕСОЛЕННЯ, ЗНЕКРЕМНЕННЯ ВОДИ**

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

#### **Контрольні запитання**

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

### **Тема 11 ВИДАЛЕННЯ З ВОДИ РОЗЧИНЕНИХ ГАЗІВ**

1. Основи процесу дегазації.



2. Фізичні методи видалення газів з води, типи дегазаторів.
3. Хімічні методи видалення розчинених газів.
4. Видаленні з води вільної вуглекислоти (декарбонізація води).
5. Термічна деаерація води.

#### **Контрольні запитання**

1. З якою метою організовують очистку води від розчинених газів?
2. Принципи очистки води від розчинених газів і типи дегазаторів.
3. Які реагенти використовують для хімічного зв'язування розчинених у воді  $O_2$  і  $CO_2$ ?

#### **Тема 12 БЕЗСТІЧНІ СХЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ НА ТЕС**

1. Сучасні технології підготовки води на ТЕС.
2. Стоки установок хімічної підготовки води та їх вплив на навколишнє середовище.
3. Принципи створення маловідходних (безстічних) технологій водопідготовки. Створення безстічних схем зворотного охолодження на ТЕС

#### **Контрольні запитання**

1. За якими напрямками ведеться створення безстічних установок підготовки води?
2. Безстічні методи зм'якшення катіонуванням з відновленням й повторним використанням стічних вод.
3. Які питання вирішують під час створення замкнених систем водяного охолодження й систем з мінімальним скидом води на ТЕС?

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ З ДИСЦИПЛІНИ

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. пособ. / 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. Тугай А. М. Водопостачання : підручник для вузів / А. М. Тугай, В. О. Орлов. – Рівне : РДТУ, 2001. – 429 с.
7. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник / А. К. Запольський. – Київ : Вища шк., 2005. – 671 с.
8. Кучеренко Д. И. Обратное водоснабжение (системы водяного охлаждения) / Д. И. Кучеренко, В. А. Гладков. – М. : Стройиздат, 1980. – 168 с.
9. Клячко В. А. Подготовка воды для промышленного и городского водоснабжения / В. А. Клячко, И. Э. Апельсин. – М. : Гос. изд. лит. по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. – 819 с.
10. Николадзе Г. И. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / Г. И. Николадзе, Д. М. Минц, А. А. Кастальский. – М. : Высш. шк., 1984. – 368 с.
11. Орлов В. О. Водопідготовка : навч. посібник / В. О. Орлов., А. М. Зошук. – Рівне : НУВГП, 2004. – 215 с.
12. Покровский В. Н. Очистка сточных вод тепловых электростанций / В. Н. Покровский, Е. П. Аракчеев. – М. : Энергия, 1980. – 256 с.

13. Отведение и очистка поверхностных сточных вод / В. С. Дикаревский, А. М. Курганов, А. П. Нечаев, М. И. Алексеев. – Ленинград : Стройиздат, 1990. – 224 с.
14. Молоков М. В. Очистка поверхностного стока с территории городов промышленных площадок / М. В. Молоков, В. Н. Шифрин. – М. : Стройиздат, 1977. – 104 с.
15. Алферова Л. А. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов / Л. А. Алферова, А. П. Нечаев. – М. : Стройиздат, 1984. – 272 с.
16. Рихтер Л. А. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов ТЭС / Л. А. Рихтер, Э. П. Волков, В. Н. Покровский. – М. : Энергоиздат, 1981. – 296 с.
17. Попов А. И. Безотходные системы очистки сточных вод и водоподготовок в промышленной энергетике / А. И. Попов, Г. Н. Малюта. – Саратов : Изд-во университета, 1992. – 199 с.
18. Стерман Л. С. Тепловые и атомные электрические станции / Л. С. Стерман, В. М. Лавыгин, С. Г. Тишин – 2-е изд., перераб. – М. : МЭИ, 2000. – 408 с.
19. Тепловые и атомные электрические станции : справочник / под ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 608 с. – (теплоэнергетика и теплотехника ; кн. 3).
20. Стерман Л. С. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС / Л. С. Стерман, В. Н. Покровский. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 327 с.
21. Фрог Б. Н. Водоподготовка / Б. Н. Фрог, А. П. Левченко ; под ред. Г. И. Николадзе. – М. : МГУСА, 1996. – 678 с.
22. Фейзиев Г. К. Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды / Г. К. Фейзиев. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.

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

Температура повітря за сухим термометром, °С	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, $\tau$ °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

Пункти спостереження	Забезпеченість параметрів атмосферного повітря, %								
	1			5			10		
	$\theta$	$\varphi$	$\tau$	$\theta$	$\varphi$	$\tau$	$\theta$	$\varphi$	$\tau$
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 <sup>2</sup>	1,5–3,5
≥ 400 м <sup>2</sup>	1,0–2,5
Відкриті градирні	1-3
Баштові градирні з площею зрошування, м <sup>2</sup> До 150	0,5–1,0
Більше 150	0,5
Більше 150 (з краплеуловлювачами)	0,05
Вентилятори градирні з краплеуловлювачами	0,2–0,5

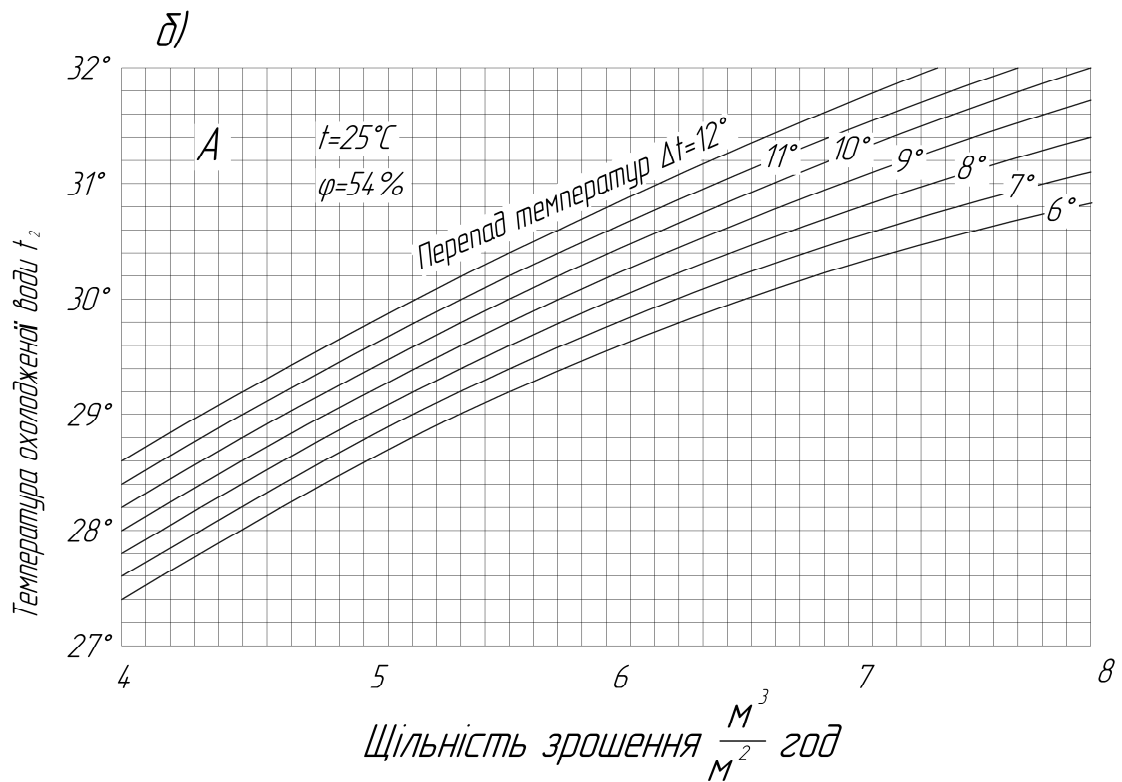
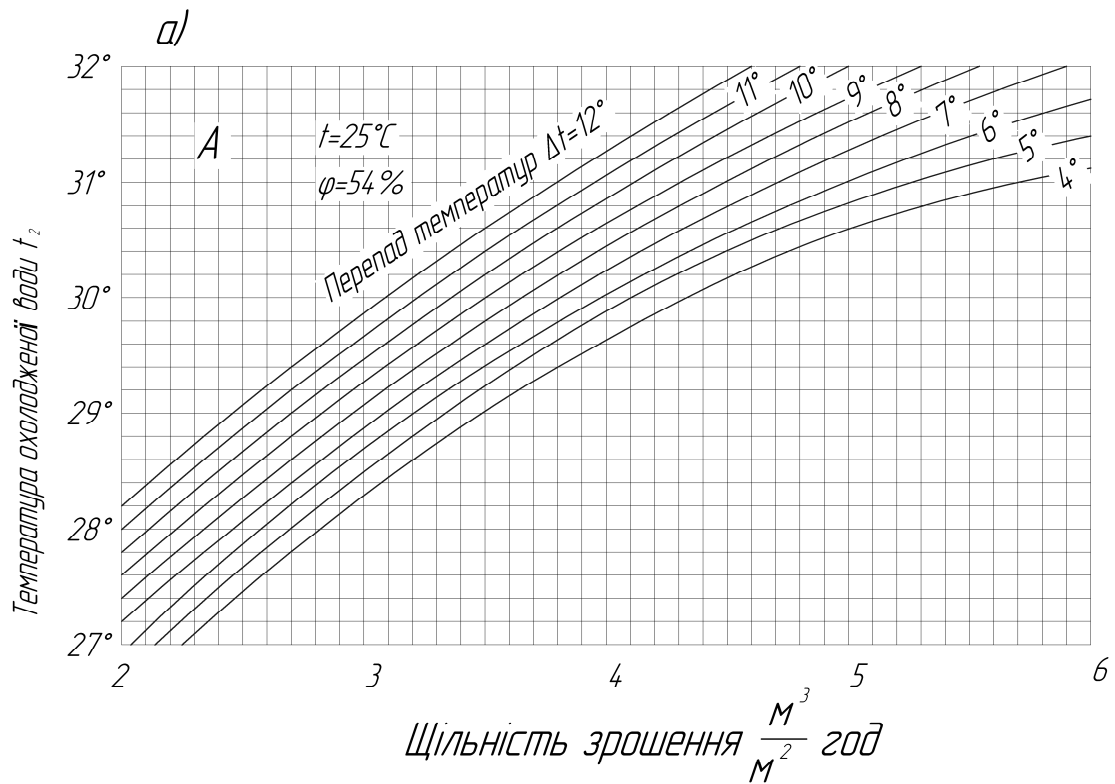


Рисунок А.1 – Номограма для розрахунку баштових градирень:  
а – краплинні градирні; б – плівкові градирні

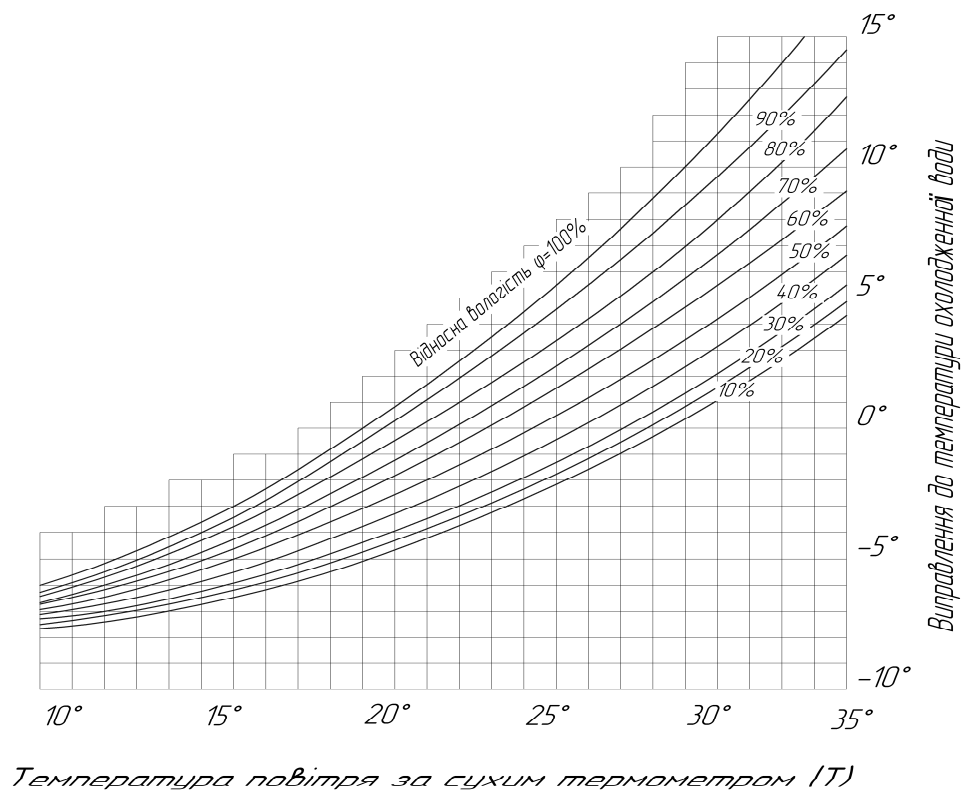
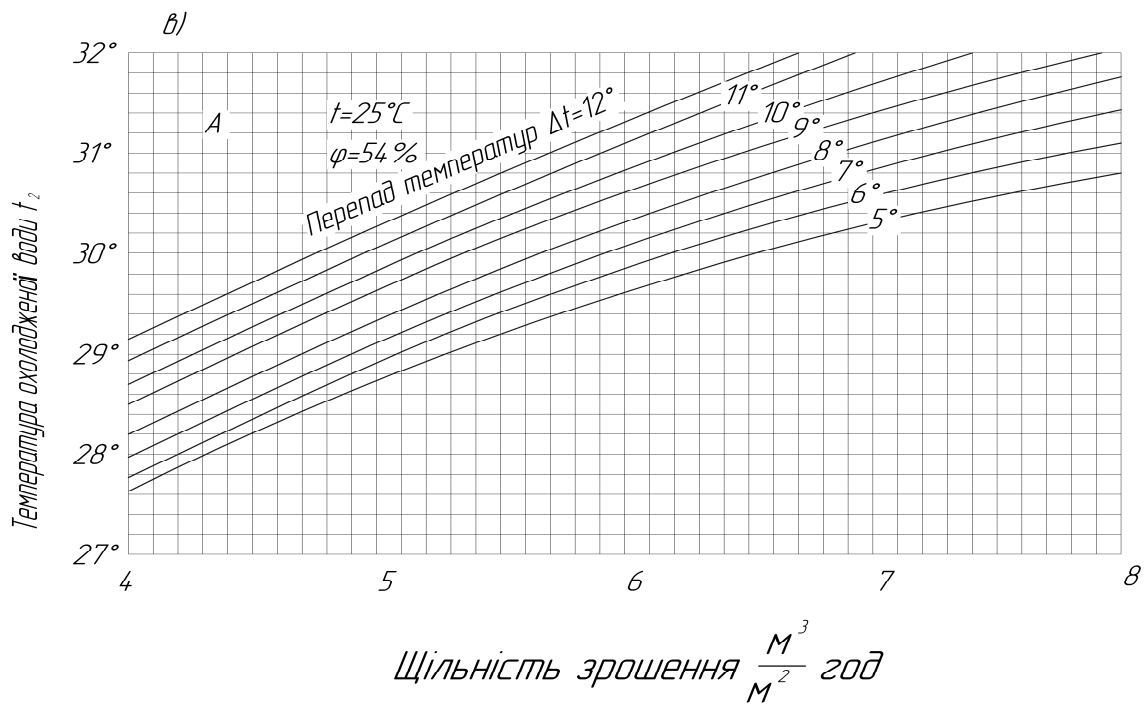


Рисунок А.2 – Номограма для розрахунку баштових градирень:  
в – краплинно-плівкові градирні

Таблиця А.5 - Типи вентиляторних градирень

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



## ДОДАТОК В

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

Показники	Значення
Навантаження	до 4 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·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	до 150 мг/л до 300 мг/л
Завислих речовин масел	50–100 мг/л 20– 30 мг/л
Потужність електроприводу	7,5 кВт
Діаметр	30 м

Таблиця В.2 – Технічні характеристики флокуляторів

Діаметр	6–12 м
Продуктивність	600–1 000 м <sup>3</sup> /год – при очищенні стічних вод газоочисток; 300–350 м <sup>3</sup> /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 В.3 – Технічні характеристики тонкошарових флокуляторів

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

Таблиця В.4 – Технічні характеристики  
напірних антрацито-кварцових фільтрів НВО «Енергосталь»

Показники	Значення
Швидкість фільтрування, м/год	до 50
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год: фільтр d 3,0 м фільтр d 2,0 м	до 350 до 160
Робочий тиск, кгс/см <sup>2</sup> (МПа)	до 6 (0,6)
Фільтруюче завантаження: кварцовий пісок і антрацит	
Концентрація забруднень, мг/дм <sup>3</sup> 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 В.5 – Технічні характеристики відкритих (безнапірних) гідроциклонів

Види стічних вод	Діаметр апарата, м	Питоме гідравлічне навантаження, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ×год	Продуктивність, м <sup>3</sup> /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 дрібносортних прокатних станів	6	2,5–4,0	75–120	100–200	50–80	Катіон-активні флокулянти

*Виробничо-практичне видання*

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ  
до виконання розрахунково-графічної роботи  
та самостійного вивчення дисципліни  
**«ТЕХНОЛОГІЯ ЕФЕКТИВНОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ У  
ПРОМИСЛОВОСТІ»**

*(для студентів 4 курсу денної та 5 курсу заочної форм навчання  
спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні  
технології)*

Укладач **АЙРАПЕТЯН** Тамара Степанівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *Є. Г. Панова*

План 2020, поз. 76М

---

Підп. до друку 20.07.2020. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 4.

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: [rektorat@kname.edu.ua](mailto:rektorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.