

**ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»**

**ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ  
ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ:**

**методичні рекомендації  
до виконання практичних завдань**

Запоріжжя 2025



УДК 628.1/.3:622:669(072)  
В62

Рекомендовано Науково-методичною радою  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
(протокол №2 від «21» листопада 2025 р.)

**Укладач**

Таврель М.І., старший викладач

**В62      Водопостачання та водовідведення підприємств гірничо-металургійного комплексу** : методичні рекомендації до виконання практичних завдань / уклад. М. І. Таврель. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025. 56 с.

Методичні рекомендації до виконання практичних завдань з дисципліни «Водопостачання та водовідведення підприємств гірничо-металургійного комплексу» включають інформацію щодо змісту та вихідних даних; містить перелік основної та додаткової літератури, критерії оцінювання практичних завдань, вимоги до оформлення та приклади розрахунків, включаючи зразок титульної сторінки.

УДК 628.1/.3:622:669(072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025



## ЗМІСТ

Вступ	4
Практична робота 1 Розрахунки хімічного складу стічних вод	6
Практична робота 2 Діаграми іонного складу	10
Практична робота 3 Вибір методів очищення стічних вод	13
Практична робота 4 Розрахунок берегового та руслового водозабору	18
Практична робота 5 Визначення стабільності стічної води	27
Практична робота 6 Розрахунки осереднювачів та відкритих гідроциклонів	30
Практична робота 7 Розрахунок тонкошарових відстійників	36
Практична робота 8 Очищення води від сполук заліза	43
Подання на перевірку практичних робіт та критерії оцінювання	54
Додаток А. Приклад оформлення титульного листа	56



## ВСТУП

Навчальна дисципліна «Водопостачання та водовідведення підприємств гірничо-металургійного комплексу» є вибірковим освітнім компонентом підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр».

Метою курсу є формування у майбутніх спеціалістів необхідного рівня знань про принципи організації систем водопостачання та водовідведення, технологічні процеси підготовки, очищення та повторного використання води, а також методи зменшення негативного впливу водогосподарської діяльності на навколишнє середовище.

Особливу увагу вивчення дисципліни приділено розумінню нормативно-правових аспектів водокористування, сучасним технічним рішенням у сфері очищення промислових і побутових стічних вод, принципам проектування та експлуатації систем водопостачання на підприємствах гірничо-металургійного комплексу. Курс також спрямований на вивчення екологічних наслідків водовідведення, способів утилізації осадів та впровадження технологій замкненого водообігу.

Дисципліна «Водопостачання та водовідведення підприємств гірничо-металургійного комплексу» відіграє важливу роль у підготовці фахівців, які здатні забезпечити раціональне використання водних ресурсів, ефективне функціонування систем водопостачання і водовідведення, створюючи умови для сталого розвитку промислових підприємств і збереження екологічної рівноваги. Вивчення курсу сприяє формуванню професійних компетенцій з оцінки стану водогосподарських систем, прийняття технічних рішень та впровадження сучасних технологій у сфері водопостачання та водовідведення.

Такий підхід до навчання дозволяє забезпечити комплексне розуміння проблематики водокористування та підготувати фахівців, які відповідатимуть сучасним вимогам у галузі промислового водопостачання та водовідведення.

### **Застереження щодо рівня попередніх знань.**

Для вивчення курсу «Водопостачання та водовідведення підприємств гірничо-металургійного комплексу» студенти повинні мати базові знання з природничо-наукового та математичного циклу, володіти навичками просторового та логічного мислення, умінням працювати з технічною та довідковою літературою, а також застосовувати елементи інженерних розрахунків та аналізу технологічних процесів.

Для успішного засвоєння матеріалу достатньо розуміння основ фізики (тиск, рух рідин), хімії (властивості води та домішок), а також уміння виконувати прості розрахунки, пов'язані з витратою води, швидкістю руху в трубопроводах, характеристиками насосів тощо. Знання основ екології



допоможе краще усвідомити вплив процесів водопостачання та водовідведення на стан довкілля.

Студенти повинні володіти методами інженерного аналізу, які дають змогу визначати ефективність систем водопідготовки, розраховувати параметри водопостачання, обґрунтовувати вибір обладнання та оцінювати його продуктивність. Важливим є також уміння користуватися нормативними документами та довідковими матеріалами, що регламентують вимоги до якості води та методів її очищення.

Такі попередні знання та навички дозволяють ефективно виконувати практичні завдання курсу, застосовувати теоретичні положення під час розв'язання інженерних задач і формують основу для подальшої професійної діяльності у сфері промислового водопостачання та водовідведення.

### **Результати навчання та їхня відповідність ОПП.**

- Визначати характеристики водних ресурсів та оцінювати їх ефективність використання на підприємствах.
- Планувати водоспоживання, водовідведення та повторне використання води, впроваджувати замкнені та маловідходні системи водного господарства.
- Впроваджувати повторне використання, утилізацію та очистку виробничих вод.
- Застосовувати реагентні, фізико-хімічні та фільтраційні методи очищення стічних вод.
- Використовувати методи знезараження, детоксикації та біологічної очистки води.
- Поєднувати теорію і практику для розробки ресурсозберігаючих рішень у водокористуванні.



## ПРАКТИЧНА РОБОТА 1 РОЗРАХУНКИ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СТІЧНИХ ВОД

### МЕТА РОБОТИ:

Навчитися розрахувати хімічний склад вихідної води та складати іонну діаграму складу вихідної води.

### ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА:

Хімічний склад води є одним із ключових показників, що визначає її придатність для використання у системах водопостачання. Вода природного походження містить різноманітні розчинені речовини — іони кальцію, магнію, натрію, гідрокарбонатів, сульфатів, хлоридів тощо. Їх концентрація залежить від геологічних і техногенних умов формування води. Надлишок окремих компонентів може зумовлювати підвищену жорсткість, корозійну активність або утворення накипу, що негативно впливає на роботу водопровідних систем і обладнання.

Оцінювання хімічного складу води та побудова іонних діаграм дозволяють визначити співвідношення основних катіонів і аніонів, встановити тип води та передбачити її вплив на технічні процеси. Ці дані є основою для вибору технологічних схем очищення, знесолення або стабілізації води у системах господарсько-питного та промислового водопостачання.

Хімічний склад стічної води розраховується за відомими (табл.1.1) ваговими концентраціями іонів.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад досліджуваної води

Продуктивність очисних споруджень, Q, м <sup>3</sup> /доб	Вміст зависі, C <sub>в</sub> , мг/л	Вміст нафтопродуктів, C <sub>нп</sub> , мг/л	% вміст крупнодис. зависі, % U <sub>о</sub> = 3,5 ... 4,5 мм/с, %	Концентрація іонів, г/м <sup>3</sup>					pH
				Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	
4600	190	0,3	18	160	45	235	550	490	8,0

Загальну твердість обумовлюють присутність у стічній воді солей Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, тому визначаємо загальну твердість води по формулі:

$$Ж_{заг} = Ca^{2+}/20 + Mg^{2+}/12,5, \text{ мг-екв/л}$$

де Ca<sup>2+</sup> - вміст іонів Ca<sup>2+</sup> у стічній воді, мг/л;

Mg<sup>2+</sup> - вміст іонів Mg<sup>2+</sup> у стічній воді, мг/л;

$$Ж_{заг} = 160/20 + 45/12,5 = 8+3,6= 11,6, \text{ мг-екв/л}$$

Визначаємо лужність стічної води по формулі:

$$Л_{заг.} = HCO_3^-/61, \text{ мг-екв/л}$$

де HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - вміст іонів HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> у стічній воді, мг/л.

$$Л_{\text{заг.}} = \text{HCO}_3^- / 61 = 235 / 61 = 3,85, \text{ мг-екв/л}$$

Некарбонатна твердість стічної води визначається по формулі:

$$Ж_{\text{нк}} = Ж_{\text{заг.}} - Л_{\text{заг.}}, \text{ мг-екв/л}$$

$$Ж_{\text{нк}} = Ж_{\text{заг.}} - Л_{\text{заг.}} = 11,6 - 3,85 = 7,75, \text{ мг-екв/л}$$

Визначаємо вміст у стічній воді іонів  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  у мг-екв/л:

$$\text{HCO}_3^- / 61, \text{ мг-екв/л}$$

$$\text{SO}_4^{2-} / 48, \text{ мг-екв/л}$$

$$\text{Cl}^- / 35,5, \text{ мг-екв/л}$$

$$\text{Na}^+ + \text{K}^+ = \text{HCO}_3^- / 61 + \text{SO}_4^{2-} / 48 + \text{Cl}^- / 35,5 - Ж_{\text{заг.}} \text{ мг-екв/л}$$

$$\text{HCO}_3^- / 61 = 235 / 61 = 3,85, \text{ мг-екв/л}$$

$$\text{SO}_4^{2-} / 48 = 550 / 48 = 11,4, \text{ мг-екв/л}$$

$$\text{Cl}^- / 35,5 = 490 / 35,5 = 13,8, \text{ мг-екв/л}$$

$$\text{Na}^+ + \text{K}^+ = \text{HCO}_3^- / 61 + \text{SO}_4^{2-} / 48 + \text{Cl}^- / 35,5 - Ж_{\text{заг.}} = 3,85 + 11,4 + 13,8 - 11,6 = 17,45 \text{ мг-екв/л}$$

Розрахуємо загальний солевміст у стічній воді:

$$P = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 25 * (\text{Na}^+ + \text{K}^+) + \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-, \text{ г/м}^3$$

$25 * (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$  – перехід з мг-екв/л до  $\text{г/м}^3$

$$P = 160 + 45 + 436,25 + 235 + 550 + 490 = 1916,25 \text{ г/м}^3$$

Вміст  $\text{CO}_2$  у стічній воді визначаємо по номограмі рис. 1.1.

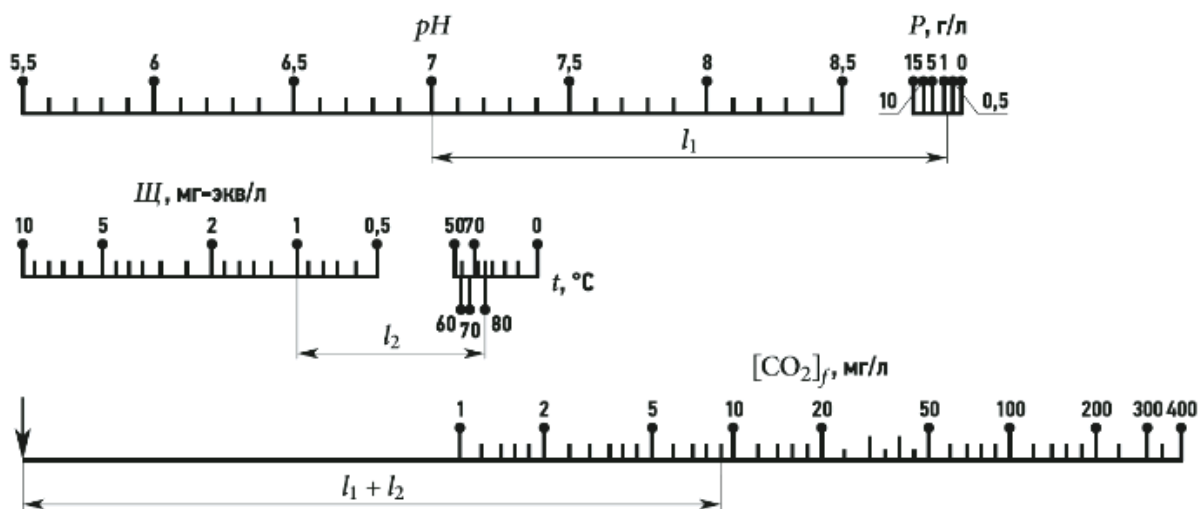


Рисунок 1.1 – Номограма для визначення вмісту  $\text{CO}_2$

Знаючи  $\text{pH}$  стічної води, визначаємо індекс насичення по формулі:

$$J = \text{pH} - \text{pH}_s,$$

де  $\text{pH}$  -  $\text{pH}$  стічної води;

$\text{pH}_s$  -  $\text{pH}$  стабільної води (рис. 1.2).

Якщо  $J$  більше нуля, то стічна вода перенасичена карбонатом кальцію, якщо менше – агресивна.

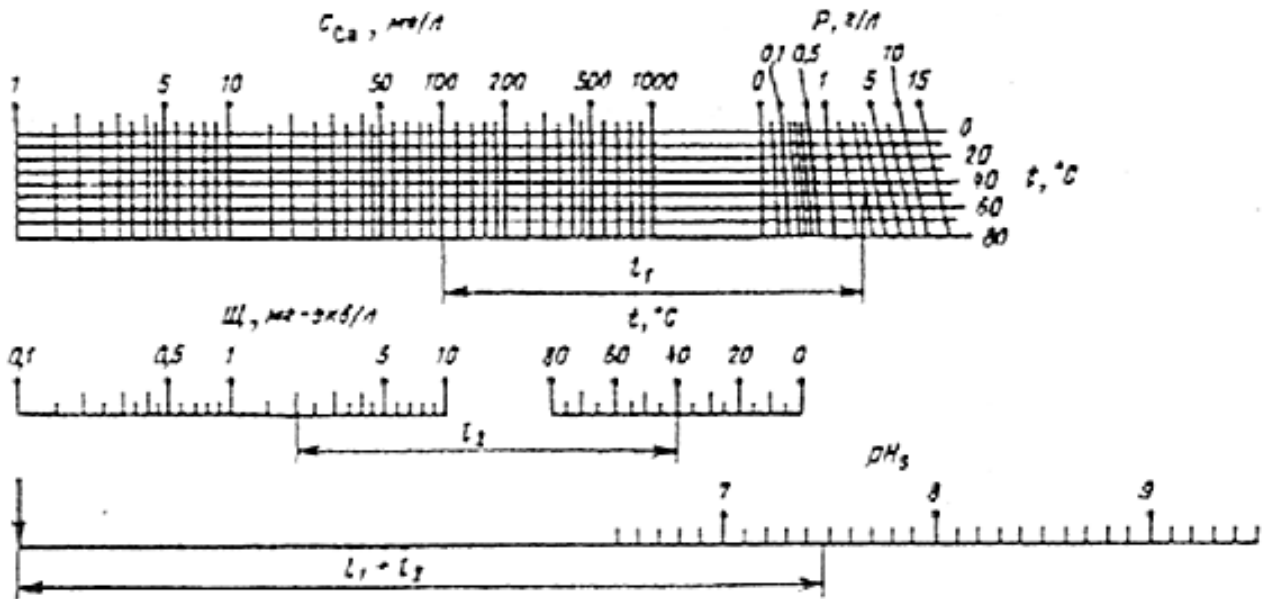


Рисунок 1.2 – Номограма для визначення рНs

Отримані дані по хімічному складу води зводимо в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 - Розрахунок хімічного складу води

Найменування показника	Один. вимір.	Формула для визначення	Результат
1. Загальна жорсткість	мг-екв/л	$J_{\text{заг}} = Ca^{2+} / 20 + Mg^{2+} / 12,5$	
2. Лужність	Те ж	$L_{\text{заг}} = / 61$	
3. Некарбонатна жорсткість	Те ж	$J_{\text{нк}} = J_{\text{заг}} - L_{\text{заг}}$	
4. Вміст іонів , , $Na^+ + K^+$	Те ж	$HCO_3^- / 61 =$ $SO_4^{2-} / 48 =$ $Cl^- / 35,5 =$ $Na^+ + K^+ = / 61 + / 48 + /$ $35,5 - J_{\text{заг}}$ $25 (Na^+ + K^+) =$	
5. Загальний солевміст	г / м <sup>3</sup>	$P = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+$ $+ HCO_3^- + SO_4^{2-} + Cl^-$	
6. Вміст CO <sub>2</sub> в шахтній воді	мг / л мг- моль/л	По номограмі $CO_2 / 44 =$	
7. рН шахтної води		рН	
8. рН рівноважне		рНs – по номограмі	
9. Індекс насичення		$J = рН - рНs$ Висновок про стабільність води -	
10. Сумарний вміст зважених речовин у воді, що поступає в очисні споруди	г / м <sup>3</sup>	$C_{\text{вх}} = C_{\text{в}} + C_{\text{нп}} + P$	

Таблиця 1.3 – Вихідні дані

Варіант	Продуктивність очисних споруджень, Q, м³/добу	Вміст завісі Св, мг/л	Вміст нафтопродуктів, Снп, мг/л	Вміст крупнодисперсної завісі, %	Концентрація іонів, г/м³					pH
					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	
1	3200	200	0,2	5	120	32,5	300	450	540	7
2	3600	220	0,3	7	210	26	200	470	440	7,2
3	3900	250	0,4	9	190	49	350	490	450	7,4
4	4000	280	0,6	13	290	25	450	310	650	7,3
5	3300	200	0,3	12	195	25	240	240	460	7,5
6	3500	280	0,4	5	180	39	210	360	560	7,3
7	4100	230	0,9	18	185	12,5	245	280	570	7
8	3800	210	0,6	6	175	36	220	310	470	7,3
9	4000	290	0,2	14	170	46	225	360	380	7,8
10	3100	210	0,2	5	120	32,5	300	450	390	7,6

### ЗАВДАННЯ:

Зробити розрахунки хімічного складу за прикладом-алгоритмом, на основі вихідних даних табл. 1.3, заповнивши таблицю 1.2. Зробити висновки.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [На заміну СНиП 2.04.02-84 ; чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ. 299 с. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id\\_doc=112674](https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=112674).
2. Про водовідведення та очищення стічних вод : Закон України від 12.01.2023 № 2887-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2887-20#Text> (дата звернення: 10.08.2025).
3. Гомеля М. Д., Шаблій Т. О., Радовенчик Я. В. Фізико-хімічні основи процесів очищення води : підручник. Київ : Кондор, 2019. 256 с.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА 2 ДІАГРАМИ ІОННОГО СКЛАДУ

### МЕТА РОБОТИ:

Навчитися будувати діаграми іонного складу води та робити розрахунки хімічного складу стічної води, використовуючи діаграми іонного складу..

### ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА:

Іонний склад води характеризує вміст основних катіонів ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) та аніонів ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ), які визначають її фізико-хімічні властивості, твердість, лужність та агресивність. Для аналізу співвідношення між цими іонами використовують діаграми іонного складу, що дозволяють наочно оцінити хімічний тип води, ступінь мінералізації та можливі процеси, які можуть відбуватись у системах водопостачання.

Графічне зображення результатів аналізу у вигляді іонних діаграм полегшує порівняння складу різних проб води, допомагає виявити відмінності між природними та стічними водами, а також оцінити ефективність роботи очисних споруд. Побудова таких діаграм є важливим етапом контролю якості води та вибору відповідних технологічних заходів для її підготовки до використання.

### Побудова діаграм іонного складу

Значення вмісту іонів у воді беремо з прагматичної роботи 1 даних методичних рекомендацій:

$$\text{Ca}^{2+} = 160/20 = 8 \text{ мг-екв/л}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 45/12,5 = 3,6 \text{ мг-екв/л}$$

$$\text{HCO}_3^- = 235/61 = 3,85 \text{ мг-екв/л}$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 550/48 = 11,4 \text{ мг-екв/л}$$

$$\text{Cl}^- = 490/35,5 = 13,8 \text{ мг-екв/л}$$

$$\text{Na}^+ + \text{K}^+ = 3,85 + 11,4 + 13,8 - 11,6 = 17,45 \text{ мг-екв/л}$$

Початкове (умовне) зображення діаграми іонного складу води наведено на рисунку 2.1.

	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$
$\text{CO}_2$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$

Рисунок 2.1 – Початкова діаграма іонного складу

Далі діаграма набуває зміни співвідношення іонів відповідно до обчислених значень концентрацій, отриманих під час розрахунку хімічного складу води (рис. 2.2). Де сума катіонів дорівнює суммі аніонів.



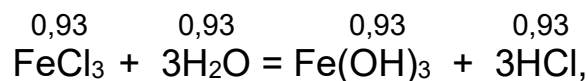
	8	3,6	17,45	Σ=29,05
	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup></b>	
CO <sub>2</sub>	<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	
	3,85	11,4	13,8	Σ=29,05

Рисунок 2.2 – Діаграма іонного складу у пропорційному співвідношенні іонів

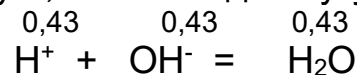
### Розрахунки зміни хімічного складу стічної води при обробці коагулянтами

Доза коагулянту по мутності 50 г/м<sup>3</sup> = 50/54 = **0,93** г-екв/м<sup>3</sup>.

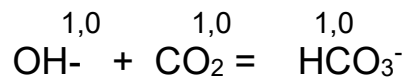
При введенні коагулянту йде реакція гідролізу:



Для зв'язування іонів Н<sup>+</sup> (Наприклад 0,43) і створення запасу лужності (1,0) вводимо у воду 1,43 мг-екв/дм<sup>3</sup> лугу



Надлишок при підлужуванні вапняним молоком



Усі розрахунки можуть бути представлені у вигляді діаграм (рис. 2.3)

	8	3,6	17,45	
	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup></b>	
CO <sub>2</sub>	<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	+
0,07	3,85	11,4	13,8	4,85
	4,85-3,85=1	8	3,6	17,45
=	<b>H<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup></b>
CO <sub>2</sub>	<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	+
0,07+3,85=4,92	3,85	11,4	13,8+4,85=18,65	2
				<b>Ca<sup>2+</sup></b>
				<b>OH<sup>-</sup></b>
				2

Рисунок 2.3 – Розрахунки у вигляді діаграм, лист 1



		8+2=10	3,6	17,45
=		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>
	CO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
	4,92-1=3,92	1	11,4	18,65

Рисунок 2.3 – Розрахунки у вигляді діаграм, лист 2

Після проведення освітлення виконується перерахунок солевмісту і робиться висновок про відповідність нормам водоспоживача.

Солевміст  $10 \cdot 20 + 3,6 \cdot 12,5 + 17,45 \cdot 25 + 11,4 \cdot 48 + 18,65 \cdot 35,5 = 1891 \text{ г/м}^3$ .

Для питного та побутового водопостачання така вода не відповідає нормам (майже вдвічі перевищує гранично допустиму мінералізацію 1000 мг/л). Для технічних потреб або деяких видів сільськогосподарського використання вода може бути прийнятною, але потрібно враховувати специфіку процесу (наприклад, можливе утворення накипу, корозія). Отже для споживачів як питної води – незадовільна без додаткового очищення чи змішування з м'якшою водою.

### ЗАВДАННЯ:

Використовуючі вихідні дані практичної роботи 1 виконати наступні завдання:

1. Побудувати діаграму іонного складу вихідної стічної води для обраного варіанту.
2. Виконати розрахунки зміни хімічного складу стічної води при її обробці коагулянтами (визначити нові концентрації основних іонів) у вигляді діаграм.
3. Перерахувати солевміст та зробити висновки.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [На заміну СНиП 2.04.02-84 ; чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ. 299 с. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id\\_doc=112674](https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=112674).
2. Про водовідведення та очищення стічних вод : Закон України від 12.01.2023 № 2887-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2887-20#Text> (дата звернення: 10.08.2025).
3. Гомеля М. Д., Шаблій Т. О., Радовенчик Я. В. Фізико-хімічні основи процесів очищення води : підручник. Київ : Кондор, 2019. 256 с.



## ПРАКТИЧНА РОБОТА 3 ВИБІР МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД

### МЕТА РОБОТИ:

Навчитися обирати та обґрунтовувати методи очищення стічних вод залежно від вимог споживача щодо каламутності, жорсткості та солевмісту, а також освоїти складання технологічних схем освітлення, пом'якшення та демінералізації води.

### ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА:

Після проходження відстійників і фільтрів концентрація завислих речовин та нафтопродуктів у воді зазвичай не перевищує 20 і 0,1 мг/л відповідно. Якщо ж споживач вимагає зниження каламутності до рівня 1,5 мг/л, то очищена шахтна вода додатково проходить обробку на швидких фільтрах.

У випадках, коли необхідно отримати воду з меншою жорсткістю, ніж вихідна стічна, проводять процес її пом'якшення. Залежно від необхідного ступеня зниження жорсткості застосовують реагентний або іонообмінний метод. Реагентне пом'якшення дозволяє знизити жорсткість до 1 мг-екв/л, тоді як іонообмінне до 0,03 мг-екв/л.

Для реагентного способу доцільно використовувати освітлювачі ВТІ (за великих обсягів води та переважанні магнієвої жорсткості) або вихрові реактори (за невеликої продуктивності та переважанні кальцієвої жорсткості). Як реагенти застосовують вапно та соду. Вапняне молоко усуває переважно карбонатну жорсткість, тому для більш глибокого пом'якшення воду додатково обробляють содою. Для підвищення ефективності процесу воду зазвичай підігривають, а до реакційної зони вводять флокулянт.

Коли необхідно отримати воду з жорсткістю менше 1 мг-екв/л, після реагентного пом'якшення її спрямовують на іонообмінні установки, які складаються з механічних фільтрів (для видалення завислих частинок після освітлення) та одного чи двох ступенів катіонітових фільтрів. Якщо зниження лужності не потрібне, застосовують натрій-катіонітові фільтри, а при необхідності її зменшення - водень-катіонітові, що працюють паралельно. Рекомендується використовувати напірну схему водопідготовки з іонообмінними фільтрами.

У випадках, коли потрібно видалити розчинений кисень із води (наприклад, для потреб котельних установок), застосовують вакуумні деаератори.

Для регулювання показника рН стічну воду піддають підлуженню або підкисленню. Підлуження виконують за допомогою вапняного молока, а підкислення розчином сірчаної кислоти.



Якщо склад води не відповідає нормативам за вмістом сульфатів і хлоридів, її очищення може здійснюватися шляхом фільтрування через аніонітові фільтри. Проте така система є досить складною та економічно затратною, тому в курсових проектах зазвичай пропонується розбавлення сульфітно-хлоридних стічних вод водопровідною або природною водою у визначених пропорціях. Такий самий метод доцільно застосовувати і для зменшення загального солевмісту.

Крім того, для досягнення необхідної жорсткості можна змішувати надмірно пом'якшену воду з незм'якшеною у відповідному співвідношенні.

Процес знезараження (хлорування) є обов'язковим для води, що скидається у природні водойми, а також для технологічних потреб зокрема, у лазнях, пральнях, системах пилопридушення та пожежогасіння.

### **Складання технологічної схеми освітлення стічних вод**

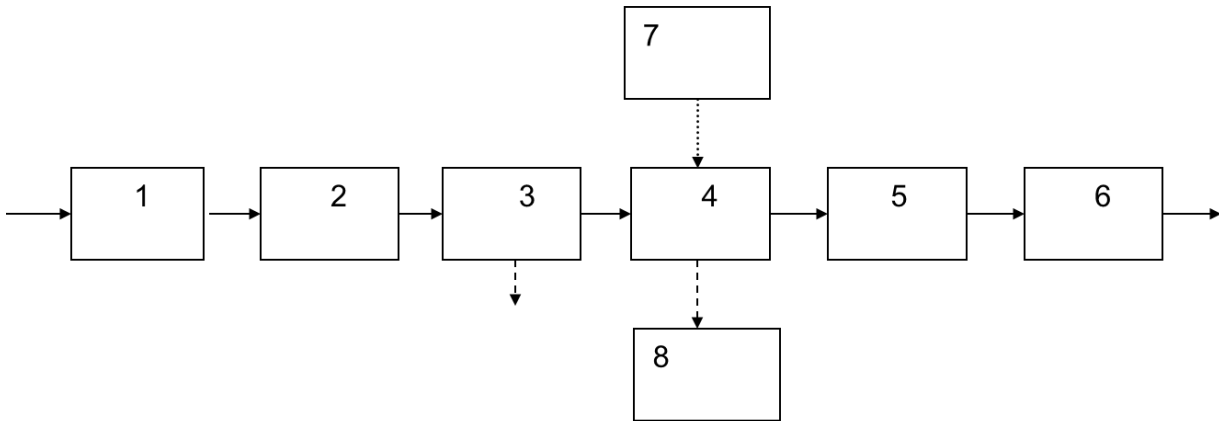
Оскільки стічні води надходять нерівномірно, а очисні споруди потребують стабільної подачі, на початку схеми очищення передбачають осереднювачі. З них насосами забезпечується рівномірне подавання води на подальше освітлення. Для видалення грубодисперсних частинок, зокрема піску, використовують відкриті гідроциклони, які виконують функцію споруд попереднього очищення. Осад, що накопичується у цих установках, видаляється самопливом у транспортні засоби (самоскиди) та далі вивозиться на полігони твердих побутових відходів або спрямовується на повторне використання.

Як споруди першого ступеня освітлення доцільно застосовувати тонкошарові відстійники або волокнисті фільтри, які забезпечують зниження каламутності води до 20 мг/л за умови попереднього введення реагентів, що сприяють агрегації дрібнодисперсних частинок. Найефективнішими реагентами є катіонні флокулянти. Для їхнього зберігання, приготування та дозування у воду необхідно мати спеціальне реагентне господарство, а для змішування реагенту з потоком води можуть використовуватися шайбові змішувачі.

Відходи від споруд першого ступеня подаються у ущільнювачі та накопичувачі, що дозволяє повторно використовувати відділену воду після осідання.

У разі, якщо споживач висуває підвищені вимоги до ступеня очищення, відстояна вода додатково фільтрується на швидких зернистих фільтрах, після чого концентрація завислих речовин у фільтраті не перевищує 1,5 мг/л.

Запропонована технологія освітлення наведена у вигляді блок-схеми на рис.3.1 та на рис. 3.2.



1- осереднювач, 2- насос, 3- відкритий гідроциклон,  
4- шайбовий змішувач, 5- споруда 1-го ступеня освітлення, 6- швидкий  
фільтр, 7- реагентне господарство, 8- споруди обробки осаду, штрихові  
лінії – відходи, крапки – реагент  
Рисунок 3.1 – Схема освітлення води



ВНС – водопровідна насосна станція; НС – насосна станція; СТАБ  
– стабілізатор напруги для насосної станції; 1 - усереднювач; 2 – насос;  
3 - відкритий гідроциклон; 4 - шайбовий вузол; 5 - тонкошаровий  
відстійник; 6 – вугільний склад; 7 – бак флокулянту; 8 – резервуар  
освітленої води

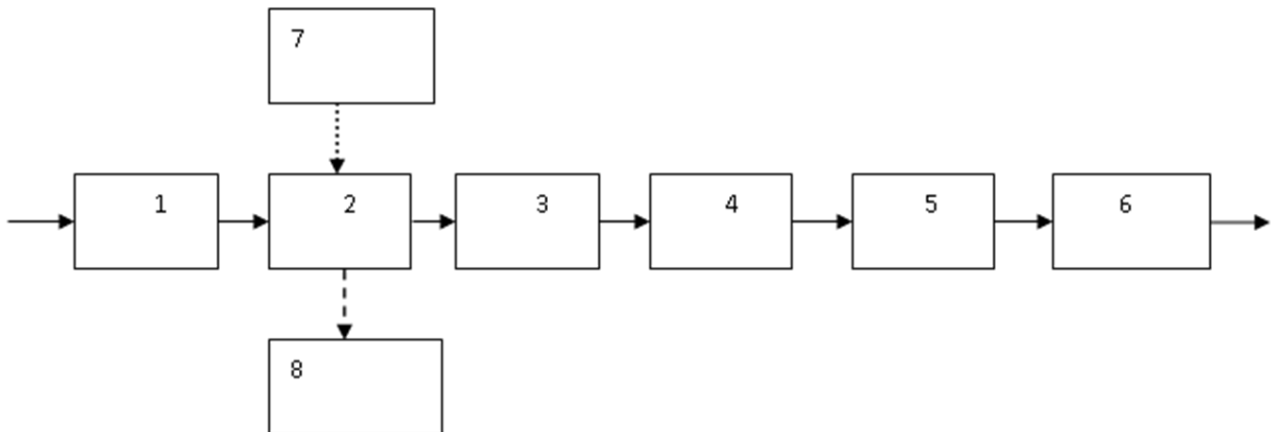
Рисунок 3.2 - Блок схема освітлення стічних вод

### Складання технологічної схеми пом'якшення стічних вод

Для отримання вод з жорсткістю менше 1 мг-екв/л, після реагентного зм'якшування воду подають на іонообмінні установки, які включають послідовно мехфільтри для вилучення завислих речовин після



освітлювачів, одну або два ступеня катіонітових фільтрів. Схема водопідготовки наведена на рис.3.3.

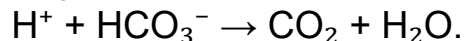


1 - підігрівач, 2- споруда реагентного пом'якшення, 3- бак пом'якшеної води, 4- насос, 5- механічний фільтр, 6- катіонітовий фільтр, 7- реагентне господарство, 8- споруди обробки осаду, штрихові лінії – осад, крапки – реагент

Рисунок 3.3 – Схема пом'якшення стічних вод

### **Складання технологічної схеми демінералізації стічних вод**

Технологічна схема ґрунтується на попередньому пом'якшенні стічних вод за описаним раніше методом. Після обробки в Н-катіонітових фільтрах із води необхідно вилучити вуглекислий газ, що утворюється внаслідок реакції нейтралізації:



З цією метою після катіонітових фільтрів встановлюють декарбонізатори — споруди для дегазації води, які видаляють із неї  $\text{CO}_2$ .

Після декарбонізації у воді залишаються залишкові катіони кальцію, магнію, натрію, калію, а також водневі іони, нейтралізації яких не вистачило лужності, і аніони — переважно сульфати та хлориди.

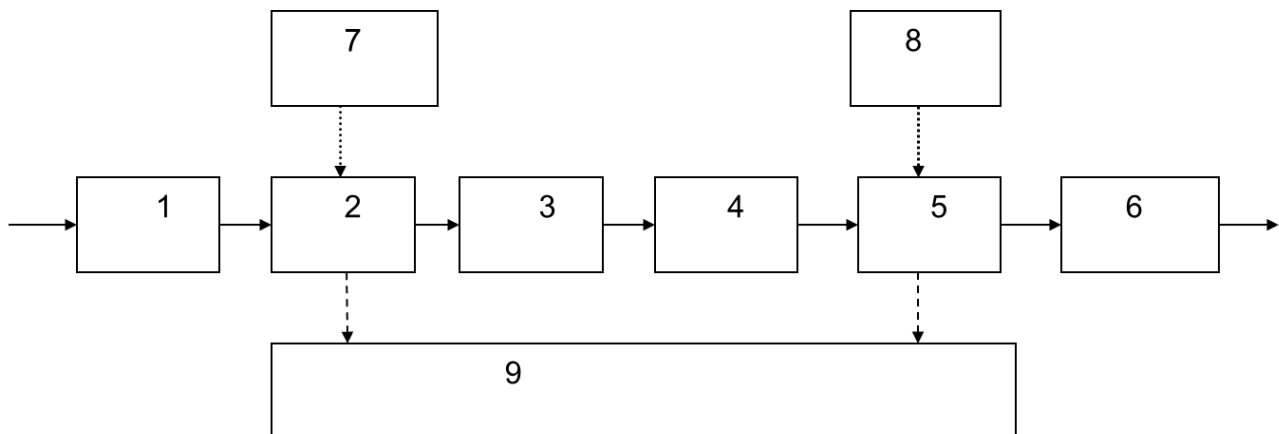
Для їх видалення вода з резервуару декарбонізатора подається насосами на ОН-аніонітові фільтри. У процесі фільтрування водневі іони нейтралізуються гідроксильними групами, які переходять у фільтрат у результаті іонного обміну з сульфатами та хлоридами. У результаті цього у фільтраті залишається лише незначна кількість катіонів і аніонів.

Залежно від необхідного ступеня знесолення система іонообмінних фільтрів може бути одноступеневою або двоступеневою. Для регенерації іонообмінних матеріалів застосовують розчини сірчаної кислоти та луг (їдкий натр), для приготування яких передбачаються спеціальні реагентні господарства. Відпрацьовані розчини після регенерації направляються до баків-нейтралізаторів.

Наведена технологія забезпечує солеміст очищеної стічної води на рівні 5 – 20 г/м<sup>3</sup>. Блок-схема технології наведена на рис. 3.4. Можливі



альтернативні технології демінералізації електродіалізом, зворотним осмосом, дистиляцією.



1- споруди реагентного пом'якшення, 2- Н-катіонітовий фільтр, 3- декарбонізатор, 4- насос, 5- ОН-аніонітовий фільтр, 6- бак демінералізованої води, 7- реагентне господарство кислоти, 8- реагентне господарство лугу, 9- баки нейтралізатори, штрихові лінії – відпрацьовані регенераційні розчини, крапки – розчини кислоти та лугу

Рисунок 3.4 - Схема демінералізації стічних вод

### **ЗАВДАННЯ:**

На основі вивченого матеріалу розробіть та намалюйте власну схему повторного використання води, що:

- після технологічного процесу пройшла охолодження,
- була попередньо освітлена (видалені крупні домішки та зависі),
- та очищена від дрібнодисперсних завислих речовин.

*Вимоги до схеми:*

1. Покажіть основні етапи руху води від моменту її забору до повторного використання у виробництві.

2. Обов'язково включіть такі елементи:

- джерело або резервуар вихідної води;
- систему охолодження (наприклад, градирня чи теплообмінник);
- блоки попереднього освітлення (відстійник, фільтр тощо);
- установку для тонкого очищення від зависів (наприклад, фільтрація, коагуляція);
- ємність для зберігання підготовленої води перед повторним поданням у процес.

Позначте стрілками напрямки руху води та вкажіть, на якому етапі видаляються певні види забруднень. Додайте короткі підписи до кожного блоку.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Про затвердження Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами : Постанова Каб. Міністрів України від 25.03.1999 № 465 : станом на 30 жовт. 2013 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/465-99-п#Text> (дата звернення: 19.08.2025).

2. Нові високоефективні методи очищення води від розчинних та нерозчинних поллютантів : монографія / І. М. Трус та ін. Київ : Кондор, 2020. 270 с.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА 4 РОЗРАХУНОК БЕРЕГОВОГО ТА РУСЛОВОГО ВОДОЗАБОРУ

### МЕТА РОБОТИ:

Навчитися виконувати розрахунки берегового та руслового водозаборів, визначати площу і розміри водоприймальних отворів, площу сміттєзатримувальних сіток, а також проектувати самопливні та сифонні водоводи для забезпечення надійної подачі води до очисних споруд або споживачів.

### ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА:

#### Розрахунок берегового водозабору

Щоб забезпечити безперервну роботу водозабірної системи, а також можливість періодичного очищення та ремонту без зупинки подачі води, водоприймальні сітчасті колодязі поділяють поздовжніми перегородками на кілька секцій (щонайменше дві), які працюють паралельно. На практиці кількість таких секцій зазвичай відповідає числу насосів насосної станції першого підйому або кількості всмоктувальних трубопроводів, що забезпечує рівномірну подачу води та зручність експлуатації.

Площу і розміри водоприймальних отворів колодязя слід визначати для одночасної роботи всіх секцій і отворів одного ярусу за формулою:

$$S_3 = 1,25 \frac{Q_B}{V} K$$

де  $S_3$  - загальна площа водоприймальних отворів колодязя, м<sup>2</sup>;

1,25 - коефіцієнт, що враховує засміченість отворів;

$Q_B$  - розрахункова продуктивність водозабору, м<sup>3</sup>/с;

$V$  - допустима швидкість втікання води у водоприймальні отвори, звичайно приймається в межах 0,2 - 0,6 м/с;

$K$  - коефіцієнт, за яким враховується зайнятість отворів стрижнями решітки і приймається рівним величині співвідношення  $(a + c)/a$ , де  $a$  - відстань між стрижнями решітки;  $c$  - діаметр (товщина) стрижнів решітки.



Найменша необхідна площа сміттеутримувальних сіток може визначатися за величиною коефіцієнта  $K$ , рівного квадратові співвідношення  $(a + c)/a$ , тобто  $[(a + c)/a]^2$ .

За невеликої (до  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ ) та середньої продуктивності ( $1\text{--}6 \text{ м}^3/\text{с}$ ) водозаборів, а також незначних коливань рівня води у джерелі (до  $6\text{--}8 \text{ м}$ ) і використанні насосів із допустимою висотою всмоктування понад  $3\text{--}4 \text{ м}$ , доцільно застосовувати береговий водозабір роздільного компонування.

У цьому випадку насосна станція першого підйому розміщується на певній відстані від берегового водоприймального сітчастого колодязя, на ділянці з міцнішими ґрунтовими основами та меншим заглибленням, що забезпечує кращі умови роботи електросилового обладнання.

Обидві споруди водоприймальний колодязь і насосна станція мають порівняно невелику площу та з'єднуються між собою всмоктувальними трубопроводами, які часто прокладаються у прохідній галереї для зручності експлуатації й обслуговування.

**Приклад 1.** *Визначити необхідну площу та встановити розміри водоприймальних отворів, а також розрахувати площу та обрати тип сміттезатримувальної сітки берегового водозабору за технологічними даними.*

Загальну площу водоприймальних отворів одного ярусу берегового водоприймального колодязя визначають прийнявши товщину стрижнів решітки  $c = 1,5 \text{ см}$ , просвіт між стрижнями  $a = 10 \text{ см}$  і швидкість втікання води у водоприймальні отвори з урахуванням шуги у воді  $V = 0,3 \text{ м/с}$ :


$$S_3 = 1,25 \frac{Q_B}{V} K = 1,25 \frac{1,8}{0,3} \left( \frac{10 + 15}{10} \right) = 8,63 \text{ м}^2$$

Прийнявши, що береговий водоприймальний сітчастий колодязь є двосекційним, з двома водоприймальними отворами в кожній секції (всього 4 отвори), визначають площу одного водоприймального отвору:

$$S_1 = \frac{S_3}{n} = \frac{8,63}{4} = 2,16 \text{ м}^2$$

Розміри отворів визначають виходячи з умов можливого їх вертикального розташування за мінімальної глибини води в річці  $H_{\min} = 4,2 \text{ м}$ , товщині льоду  $h_{\text{л}} = 1,1 \text{ м}$  (за умовою приклада) необхідної мінімальної відстані від дна до низу отвору  $0,5 \text{ м}$ , та від нижньої кромки льоду до верху отвору -  $0,2 \text{ м}$ . Згідно з цими умовами можливий вертикальний розмір отвору:

$$H'_{\text{от}} = H_{\min} - h_{\text{л}} - 0,5 - 0,2 = 4,2 - 1,1 - 0,5 - 0,2 = 2,4 \text{ м}.$$



Відповідно до необхідної площі одного отвору ( $S_1 = 2,16 \text{ м}^2$ ) і можливої його висоти ( $H = 2,4 \text{ м}$ ) прийнято розміри отвору, які дорівнюють  $1260 \times 2000 \text{ мм}$ , площею  $S = 2,52 \text{ м}^2$ , а решітки площею  $2,8 \text{ м}^2$ .

Необхідну загальну площу сміттєзатримуючих сіток визначають також за наведеною формулою, приймаючи  $K = [(a+c)/a]^2$ , швидкість проціджування (руху води через сітку)  $V_c = 0,2 \text{ м/с}$ , товщину дротів сітки  $c = 2 \text{ мм}$ , а відстань між дротами в просвіті  $a = 5 \text{ мм}$  (тобто з розмірами вічок  $5 \times 5 \text{ мм}$ ).

$$S_3 = 1,25 \frac{Q}{V} K = 1,25 \frac{1,98}{0,2} \left( \frac{0,005 + 0,002}{0,005} \right)^2 = 22 \text{ м}^2$$

Сітки встановлюються в кожній секції колодязя, отже,

$$\omega = \frac{S_3}{m} = \frac{22}{2} = 11 \text{ м}^2$$

Враховуючи невелику продуктивність водозабору, шугу у воді та малий вміст наносів, прийнято сітки з лобово-зовнішнім підводом води, що обертаються, та шириною полотна  $B_c = 2,2 \text{ м}$ . Необхідна глибина занурення сітки під мінімальний рівень води, за якої буде забезпечена прийнята швидкість проціджування  $V_c = 0,2 \text{ м/с}$ , при цьому становитиме:

$$H_c = \frac{\omega_1}{B_c} = \frac{11}{2,2} = 5 \text{ м.}$$

### **Розрахунок руслового водозабору**

Руслові водозабори являють собою комплекс інженерних споруд, призначених для забору води з відкритого водного джерела на певній відстані від берега, її транспортування до водоприймального сітчастого колодязя, попереднього очищення та подачі на очисні споруди або безпосередньо до водопровідної мережі.

До складу такого водозабору входять: водоприймальний оголовок, розташований у водному об'єкті; самопливні або сифонні водоводи, які сполучають оголовок із водоприймальним сітчастим колодязем, де здійснюється первинне очищення води; а також насосна станція першого підйому, що забезпечує подальше транспортування води.

Залежно від конструктивного вирішення, руслові водозабори поділяються на два типи:

- роздільного компонування, коли водоприймальний колодязь і насосна станція розташовані в окремих спорудах і функціонують незалежно;
- суміщеного компонування, коли обидві споруди поєднані в одному будівлі чи споруді.



Такі водозабори застосовують переважно на ділянках річок із широкою заплавою, пологими берегами та нескельними ґрунтами, де відсутні достатні глибини поблизу берега.

У випадку, коли вода у джерелі є відносно чистою, а продуктивність водозабору невелика, конструкцію можна спростити без використання самопливних або сифонних водоводів та водоприймального колодезя. Тоді до складу системи входять лише водоприймальний оголовок, всмоктувальний трубопровід і насосна станція першого підйому. При цьому сітка оголовка виконує функцію грубого очищення, замінюючи традиційні решітки на водоприймальних отворах.

Можливість обслуговування таких споруд, зокрема огляду, очищення, заміни сміттєзатримувальних решіток та рибозахисних пристроїв, є важливою перевагою. Однак вони помітно впливають на гідродинаміку річкового потоку та можуть знижувати надійність роботи водозабірної системи. З цієї причини їх рідко застосовують на судноплавних або лісосплавних річках, де такі перешкоди недопустимі.

Незатоплювальні оголовки - це конструкції, що залишаються над рівнем води за будь-яких коливань її рівня у джерелі. Вони забезпечують найвищу надійність роботи водозабору і є зручними в експлуатації, проте мають високу вартість будівництва. Тому такі оголовки зазвичай встановлюють лише на водозаборах середньої та великої продуктивності, коли спорудження берегового водозабору є неможливим або економічно недоцільним. Конструктивно вони складаються з кількох незалежних секцій, а водоприймальні отвори (вікна) зазвичай розташовують у два або більше ярусів, що дозволяє забирати воду з найчистіших шарів.

Розрахунок оголовків руслових водозаборів включає визначення площі водоприймальних вікон або фільтруючої поверхні, а також перевірку їхньої стійкості до перекидання, зсуву, а для дерев'яних конструкцій до спливання.

Площа водоприймальних отворів визначається за відповідною формулою з урахуванням того, що допустима швидкість втікання води у них не повинна перевищувати 0,1–0,3 м/с, а в складних гідрологічних умовах до 0,05 м/с.

Коефіцієнт  $K$ , який враховує гідравлічний опір решіток, визначають аналогічно до берегових водозаборів. Для фільтруючих оголовків цей коефіцієнт обернено пропорційний пористості фільтруючого завантаження ( $P$ ), тобто  $K = 1/P$ . Зазвичай пористість приймають рівною 0,5, відповідно  $K = 2$ .

Фільтруючі оголовки також виконують функцію рибозахисних пристроїв, але лише за умови, що швидкість руху води в порах фільтра не перевищує критичну швидкість плавання молоді риб, яка визначається співвідношенням  $V < V_{кр} \approx 10L$ , де  $L$  - довжина рибини.

Після визначення необхідної площі водоприймальних отворів або фільтруючих поверхонь розраховують кількість отворів та їхні розміри.



При цьому слід враховувати, що оголовок повинен мати щонайменше два вхідні отвори, розміри яких узгоджуються з параметрами сміттєзатримувальних решіток.

Габарити цих отворів або фільтруючих поверхонь визначають загальні розміри оголовка, з урахуванням його форми та положення у воді. Відстань від дна до нижнього краю отворів має становити не менше 0,5 м, а від нижнього краю льоду або мінімального рівня води до верхньої частини оголовка чи отворів не менше 0,2–0,3 м. Також враховується глибина занурення оголовка у дно.

Самопливні та сифонні водоводи забезпечують зв'язок між оголовками і водоприймальними сітчастими колодязями. Для безперебійної подачі води усі ключові елементи системи, включно з водоводами, передбачаються у подвійному виконанні, тому таких ліній має бути не менше двох, що зазвичай відповідає кількості секцій берегового колодязя.

Самопливні водоводи прокладають відкритим способом при малій глибині залягання або безтраншейним методом за значної глибини. Матеріал труб вибирають залежно від умов: залізобетон, чавун або сталь.

Сталеві труби додатково захищають зовні гідроізоляційним покриттям і дерев'яними рейками, а зсередини цементним чи іншим антикорозійним шаром, залежно від агресивності води.

Траса самопливних водоводів повинна бути плавною, без різких поворотів, звужень або розширень, які сприяють осіданню наносів, сміття та шуги й ускладнюють промивання системи.

Нахил водоводів може бути як від колодязя до оголовка (для систем із зворотною промивкою), так і від оголовка до колодязя (при прямій промивці). Для захисту від механічних пошкоджень водоводи заглиблюють у дно: на 0,4–0,8 м відповідно для несудноплавних і судноплавних річок. Підключення водоводів до колодязів здійснюється через сальникові з'єднання, що гарантує герметичність.

Сифонні водоводи застосовують лише у водозаборах II та III категорій надійності, а також у випадках, коли геологічні або гідрогеологічні умови роблять будівництво самопливних ліній складним або економічно недоцільним.

Розміри самопливних і сифонних водоводів визначають за розрахунками за формулою:

$$S = \frac{Q_B}{V}$$

де  $S$  – площа перерізу водоводів;

$Q_B$  – розрахункова продуктивність водозабору;

$V$  – швидкість руху води у водоводах.

Для нормальної роботи водоводів швидкість води в них повинна бути в межах 0,7–1,5 м/с. При виборі розрахункової швидкості руху води в



водоводах слід мати на увазі, що вони транспортують каламутну та засмічену воду, тому ця швидкість повинна бути достатньою для того, щоб не допустити випадання в трубах завислих частинок, що може призвести до замулювання трубопроводів.

Тому розміри водоводів, розрахованих за наведеною формулою перевіряють на замулюваність за формулою:

$$P \leq 0,11 \left(1 - \frac{\delta}{U}\right)^{4,3} \cdot \frac{V^3}{g\delta D}$$

де  $P$  – каламутність води,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\delta$  – середньозважена гідравлічна крупність завислих частинок,  $\text{м/с}$

$U$  – швидкість осідання частинок,  $\text{м/с}$ ;

$V$  – розрахункова швидкість руху води у водоводі,  $\text{м/с}$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;

$D$  – діаметр трубопроводу,  $\text{м}$ ;

$C$  – коефіцієнт Шезі.

Якщо дотримано зазначеної умови, можна вважати, що обрана швидкість руху води запобігає замулюванню трубопроводів. Водночас надмірно висока швидкість має й негативні наслідки зростають гідравлічні втрати напору та прискорюється зношування матеріалу труб.

Тому швидкість течії в трубопроводах слід приймати вищою за мінімальну замулюючу, але нижчою за максимально допустиму для конкретного типу труб.

Для сифонних водоводів додатково визначають їх висотне положення, яке повинно забезпечувати сталу роботу системи навіть за мінімального розрахункового рівня води у джерелі. Для цього повинна виконуватися умова:

$$P_{\text{вак}} \leq P_{\text{ат}} - P_{\text{нп}},$$

де  $P_{\text{вак}}$  – вакуум у найвищій точці водоводу;

$P_{\text{ат}}$  – атмосферний тиск;

$P_{\text{нп}}$  – тиск насичених парів при розрахунковій температурі.


Значення вакууму  $P_{\text{вак}}$  визначається за формулою:

$$P_{\text{вак}} = H + \frac{V^2}{2g} + \sum h$$

де  $H$  – висота розташування найвищої точки сифонного водоводу над рівнем води в джерелі,  $\text{м}$ ;

$V$  – швидкість руху води у водоводі,  $\text{м/с}$ ;

$\sum h$  – сума втрат напору у водоводі протягом руху води до точки, що розглядається.



Звичайно на практиці визначають можливу висоту розташування найвищої точки сифона, виходячи з того, що стійка робота сифона забезпечується при величині вакууму в цій точці, яка не перевищує 8 м водяного стовпа, тоді:

$$H_{\text{доп}} = P_{\text{вак}} - \frac{V^2}{2g} - \sum h = 8 - \frac{V^2}{2g} - \sum h$$

Для надійного функціонування руслових водозаборів обов'язково передбачають систему зворотної промивки водоводів та оголовків. З цією метою у водозабірному вузлі забезпечується підключення самопливних або сифонних водоводів до напірних трубопроводів насосної станції першого підняття за умови достатнього напору в них, або встановлення спеціальних промивних насосів.

Промивка за такою схемою не потребує значних витрат води чи високого напору, достатньо лише створити зворотний потік зі швидкістю понад 1–1,2 м/с. У разі значного засмічення решіток оголовків або замулювання водоводів застосовують імпульсну чи гідропневматичну промивку, що дає змогу ефективно відновити пропускну здатність системи.

У водозаборах, які забирають воду з чистіших джерел і мають значні коливання рівнів води, може використовуватись пряма промивка, коли напрямок потоку збігається з робочим, але швидкість руху води суттєво вища. Однак така схема ефективна лише за високих рівнів води, що є її недоліком.

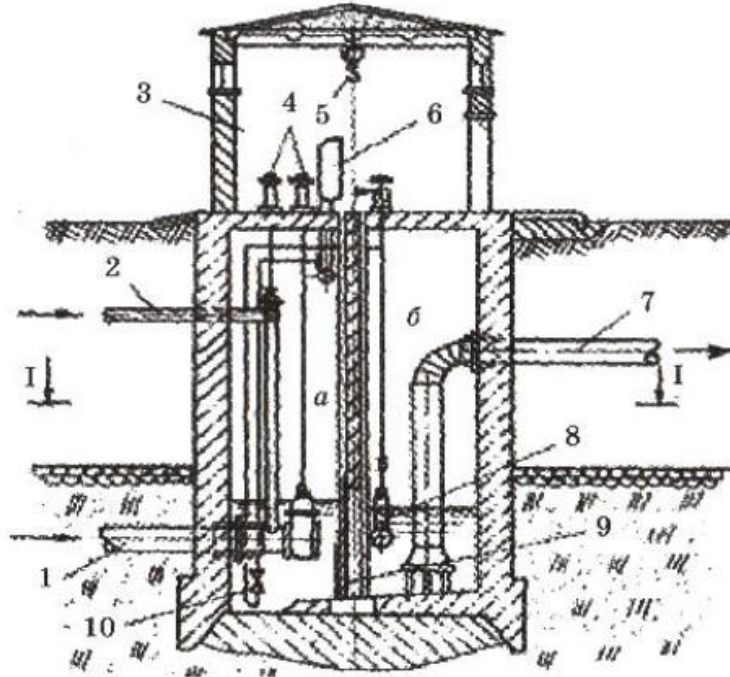
Водоприймальні сітчасті колодязі руслових водозаборів за конструкцією подібні до берегових, проте мають складніше обладнання (рис.4.1). Водоводи, які входять у колодязь, оснащуються запірною арматурою - засувками або клапанами. У разі використання сифонних водоводів колодязь додатково обладнується вакуум-насосом або вакуум-котлом, що забезпечує пуск сифону і підтримання в ньому вакууму.

Часто в таких колодязях розміщують також трубопроводи для зворотної промивки та арматуру для її керування. Іноді водоприймальні сітчасті колодязі поєднують із насосною станцією першого підняття у цьому випадку їхні розміри визначаються габаритами насосної станції, а глибина занурення залежить від розташування сміттєзатримувальних сіток.

При роздільному розміщенні водоприймального сітчастого колодязя та насосної станції першого підняття розміри й глибина колодязя визначаються габаритами встановлених сіток і запірної арматури на самопливних або сифонних водоводах.

Подібно до берегових водозаборів, водоприймальні сітчасті колодязі руслових водозаборів повинні мати щонайменше дві секції. Під час проектування їх кількість зазвичай прирівнюють до числа водоводів, що підводять воду до колодязя. Водночас кількість секцій всмоктувального

відділення відповідає кількості всмоктувальних трубопроводів, а отже, і числу насосів насосної станції першого підняття. Такий підхід забезпечує рівномірну роботу всієї системи та можливість обслуговування окремих елементів без зупинки подачі води.



1 – самовпливний або сифонний трубопровід; 2 – промивний трубопровід; 3 – наземний павільйон; 4 – управління засувками; 5 – таль; 6 – ванно-трап для промивання сітки; 7 – всмоктувальний трубопровід; 8 – з'єднувальна труба із засувкою; 9 – плоска сміттєзатримувальна сітка; 10 – ежектор

Рисунок 4.1 - Водоприймальний сітчастий колодязь руслового водозабору роздільного компонування: а) водоприймальне відділення; б) всмоктувальне відділення

Іноді до схеми руслового водозабору (як і берегового) додають відстійник або ківш, що сприяє осіданню зважених частинок і покращує якість води, яка надходить у систему. Однак спорудження таких елементів значно підвищує капітальні та експлуатаційні витрати, тому їх застосовують лише за складних природних умов джерела водопостачання або при водозаборах середньої та великої продуктивності, коли це технічно та економічно виправдано.

**Приклад 2.** *Визначити необхідну площу та розміри водоприймальних отворів, а також обрати тип водоприймача (оголовка) та діаметри самопливних водоводів руслового водозабору за технологічними даними.*

Загальну площу водоприймальних отворів оголовка визначають приймаючи товщину стрижнів решітки  $s = 1,2$  см, просвіт між стержнями



$a=10$  см і швидкість надходження води у водоприймальні отвори з урахуванням шуги у воді  $V = 0,15$  м/с.

Загальну площу вхідних отворів(вікон) оголовка визначаємо за формулою:

$$S_{\text{бп}} = 1,25 \frac{Q_{\text{в}}}{V} K$$

де

$$K = \frac{a + c}{a}$$

Тоді:

$$S_{\text{бп}} = 1,25 \frac{0,33}{0,15} \left( \frac{10 + 1,2}{10} \right) = 3,08 \text{ м}^2$$

Тип оголовка вибираємо з урахуванням продуктивності водозабору  $Q_{\text{в}} = 0,33 \text{ м}^3/\text{с}$ , наявності шуги у воді, судноплавства, товщини льоду  $h_{\text{л}}=1,1$  м, мінімальної глибини в річці  $H_{\text{min}} = 2,6$  м. Найбільш прийнятним для цих умов є залізобетонний захищений оголовок з бічним прийомником води з чотирма водоприймальними отворами, висотою  $H = 1,4$  м.

Розміри водоприймальних отворів установлюють виходячи з площі одного отвору

$$S_1 = \frac{S_{\text{бп}}}{4} = \frac{3,08}{4} = 0,752 \text{ м}^2$$

і можливої висоти

$$H_{\text{от}} = H_{\text{min}} - h_{\text{л}} - 0,5 - 0,2 = 0,8 \text{ м.}$$

де  $0,5$  — мінімальна відстань від низу водоприймального отвору до дна, а  $0,2$  - мінімальна відстань від верху водоприймального твору до льоду. Відповідно до цих даних маємо розміри вхідних вікон  $800$  на  $1000$  мм, площею  $0,8 \text{ м}^2$  кожне.

Оголовок з береговим водоприймальним сітчастим колодязем з'єднується двома самопливним водоводами. Площі перерізу одного водоводу визначають взявши швидкість руху води у водоводах  $V = 1$  м/с:

$$S_1 = \frac{Q_{\text{в}}}{2V} = \frac{3,08}{2 \cdot 1} = 0,165 \text{ м}^2$$

Діаметр водоводу:

$$D = \sqrt{\frac{S_1}{\pi}} = 0,229 \text{ м}$$

Приймають розмір одного водоводу  $d_y=250$  мм, площа  $0,165 \text{ м}^2$ .

### ЗАВДАННЯ:

1. За прикладом 1 визначити необхідну площу та встановити розміри водоприймальних отворів, а також розрахувати площу та обрати тип сміттєзатримувальної сітки берегового водозабору за технологічними даними. Вихідні дані наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Вихідні дані для розрахунку берегового водозабору

Варіант	$H_{\min}$ м	$h_{л}$ м	$V_c$ м/с	$B_c$ м
1	4,4	0,9	0,3	2,1
2	3,8	1,0	0,3	2,0
3	4,5	1,1	0,2	2,1
4	4,1	1,2	0,3	2,0
5	3,8	1,6	0,2	2,1
6	3,9	0,8	0,3	2,2
7	4,2	0,95	0,2	2,2
8	4,8	0,78	0,2	2,0
9	3,6	1,0	0,3	2,0
10	3,9	1,2	0,2	2,1

2. За прикладом 2 визначити необхідну площу та розміри водоприймальних отворів, а також обрати тип водоприймача (оголовка) та діаметри самопливних водоводів руслового водозабору за технологічними даними. Вихідні дані наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Вихідні дані для розрахунку руслового водозабору

Варіант	$H_{\min}$ м	$h_{л}$ м	$Q_B$ м <sup>3</sup> /с	$H$ м
1	2,4	0,9	0,36	1,2
2	2,3	1,0	0,32	1,0
3	2,1	1,1	0,29	1,2
4	2,6	1,2	0,36	1,1
5	2,2	1,6	0,33	1,3
6	2,3	0,8	0,26	1,1
7	2,4	0,95	0,38	1,0
8	2,2	0,78	0,36	1,0
9	2,1	1,0	0,28	1,3
10	2,1	1,2	0,29	1,2

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Хоружий П. Д., Хомутецька Т. П., Хоружий В. П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. Київ : Аграрна наука, 2008. 534 с.



## ПРАКТИЧНА РОБОТА 5 ВИЗНАЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ СТИЧНОЇ ВОДИ

### МЕТА РОБОТИ:

Знайомство з методиками розрахункової та дослідної оцінок стабільності стічної води.

### ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА:

**Стабільною** вважається стічна вода, яка з одного боку не викликає корозії бетонних конструкцій і розчинення карбонатних відкладень, а з другого боку не дає карбонатних відкладень в трубах та на теплообмінних поверхнях.

Стабільність води оцінюється індексом стабільності (Ланжельє):

$$J = \text{pH}_o - \text{pH}_s$$

де  $\text{pH}_o$  - водневий показник проби досліджуваної води (за методикою),

$\text{pH}_s$  - водневий показник стабільної води (визначається розрахунком або дослідом).

*Якщо індекс буде від'ємним, вода буде агресивною, якщо позитивним – пересиченою.*

### Методика визначення стабільності води

1. Досліджувану воду заливають в 2 конічні колби з притертими корками на 250 мл, засипають в кожну по 3 г попередньо промитого та висушеного порошку  $\text{CaCO}_3$  та ставлять на магнітну мішалку.

2. В залишку висхідної води визначають лужність, вміст іонів кальцію, температуру, рН (за методиками аналізу). Обчислюють приблизно загальний вміст солей, виходячи з того, що вміст гідрокарбонатів складає приблизно чверть від загальної кількості іонів.

3. Обчислюють величину рН та індексу насичення  $J_p$  по номограмі.

4. Через годину знімають колби з магнітної мішалки і в невідстоєній пробі визначають рН, відфільтровують пробу на вакуум-фільтрі, визначають в цій пробі величину лужності  $L$  та обраховують індекс насичення  $J$ .

5. Порівнюють розрахункове та дослідне значення індексу насичення і роблять висновок щодо стабільності води, дефіциту чи надлишку  $\text{CaCO}_3$ .

### Визначення лужності води

Визначається титруванням розчином соляної кислоти. Відбирають 100 досліджуваної води (або менший об'єм доводять до 100 мл



дистильованою водою), додають 2 краплі (0,1 мл) розчину метилового оранжевого. Потім титрують на білому фоні 0,1N розчином соляної кислоти до моменту переходу забарвлення метилового оранжевого жовтого в оранжеве.

Лужність визначається по формулі:

$$K = 100 a / V$$

де  $a$  - об'єм 0,1 N розчину реагенту, витраченого на титрування, мл;  
 $V$  - об'єм проби, взятої для титрування (без урахування дистильованої води, використаної для доведення проби до 100 мл) мл.

### **Визначення вмісту кальцію**

Відбирають 100 мл досліджуваної води або менший об'єм. Менший об'єм доводять дистильованою водою до 100 мл. Потім додають приблизно 2 мл N розчину їдкого натру та від 0.1 до 0.2 г суміші індикатора мурексиду, після чого повільно титрують комплексоном III (трилоном Б) до появи інтенсивного фіолетового забарвлення.

При проведенні аналізу варто звернути увагу на наступні особливості: проба, яка титрується, не повинна мати лужність більше 6 мг-екв/л, рН 12-13. Крім того, при додаванні NaOH в осад не повинен випадати карбонат кальцію. У такому випадку лужність нейтралізують 0,1 N розчином HCl.

Концентрацію кальцію (мг-екв/л) визначають по формулі:

$$K = 100 a / V$$

Вагову концентрацію в мг/л отримують множенням отриманого значення на 20.

### **Визначення величини рН іономіром**

#### **1. Принцип дії.**

У основу роботи приладу покладений метод потенціометра вимірювання рН і контрольованого розчину. При вимірюванні рН розчинів використовується система, що складається з вимірювального і допоміжного електродів. Як вимірювальний електрод при вимірюванні рН використовується скляний електрод, а як допоміжний -хлорсрібний електрод. Для рН-150М обидва електроди суміщено в комбінований електрод.

Електродна система при зануренні в контрольований розчин розвиває ЕДС лінійно залежну від активності іонів і температури розчину. Контакт допоміжного електроду з контрольованих розчином здійснюється за допомогою електролітичного ключа насиченого розчину KCl, що забезпечує закінчення в контрольований розчин.

Розчин хлористого калію безперервно просочується через електролітичний ключ, запобігаючи проникненню з контрольованого розчину в систему допоміжного електроду сторонніх іонів, які могли б



змінити величину потенціалу електроду. ЕДС електродної системи перетвориться і прочитується з індикатора рН-метра.

## 2. Вимірювання рН розчину

1. Промити електродну систему дистильованою водою та видалити потім залишки фільтрувальним папером.

2. Установити температурну компенсацію. Нажати кнопку одного з діапазонів виміру, крім "-1-19"; нажати кнопку "t°" і ручкою "ТЕМПЕРАТУРА РОЗЧИНУ" установити стрілку приладу на значення по шкалі 0... 100 відповідно до вимірюваної температури розчину.

3. Нажати кнопки: "АНІОНИ/КАТІОНИ". "рХ" та "-1...19" (по шкалі «-1...19» виконується грубий вимір величини рН, і визначається діапазон виміру величини по одній з вузьких шкал "-1...4", "4...9" й "9...14").

4. Нажати кнопку обраного вузького діапазону виміру.

5. Зробити відлік показань рН після повної зупинки стрілки.

Примітка. Звичайний час установлення показань не перевищує 3 хв, однак, у деяких розчинах воно може досягати 10 хв.

6. Обчислити значення рН контрольованого розчину (підсумувати сталі показання приладу зі значенням, що відповідає початку діапазону. Наприклад, значення величини рН, що встановилася на вузькому діапазоні "4...9" дорівнює 3,55, тоді величина рН досліджуваного розчину дорівнює 7,55 ( $4 + 3,55 = 7,55$ ).

7. Нажати кнопки "АНІОНИ/КАТІОНИ", «рН» і діапазон "1...19".

8. Знову промити електродну систему дистильованою водою, промокнути фільтрувальним папером і занурити в склянку з дистильованою водою.

## **ЗАВДАННЯ:**

Дайте відповіді на контрольні питання:

1. Що означає термін «стабільність стічної води» і чому він є важливим для водопостачання та водовідведення?

2. Які наслідки може мати агресивна та пересичена вода для інженерних споруд і обладнання?

3. Що таке індекс стабільності Ланжельє і за якою формулою він визначається?

4. Яке значення має від'ємний та додатний індекс стабільності?

5. Які природні чинники (геологічні, кліматичні, гідрохімічні) впливають на стабільність природних та стічних вод?

6. Чому важливо контролювати стабільність води у системах оборотного водопостачання підприємств металургійного комплексу?

7. Які сучасні методи кондиціювання води (додавання реагентів, використання інгібіторів корозії та накипоутворення) застосовуються для забезпечення її стабільності?

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Фізико-хімічні методи очищення води. Управління водними ресурсами / за редакцією І. М. Астреліна, Х. Ратнавіри. Київ : «Ніка-Центр», 2015. 614 с.
2. Гомеля М. Д., Шаблій Т. О., Радовенчик Я. В. Фізико-хімічні основи процесів очищення води : підручник. Київ : Кондор, 2019. 256 с.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА 6 РОЗРАХУНКИ ОСЕРЕДНЮВАЧІВ ТА ВІДКРИТИХ ГІДРОЦИКЛОНІВ

### МЕТА РОБОТИ:

Навчитися розраховувати параметри водоочисних установок.

### ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА:

#### Розрахунок осереднювачів

В якості осереднювача використовуємо секції шахтного відстійника, що є на шахті, з довжиною  $L=10\dots30$  м, шириною  $b= 3,0; 4,5; 6,0$  м, завглибшки  $h= 3\dots5$  м. Кількість секцій  $n \geq 2$ .

Об'єм розраховується по формулі:

$$W = n \cdot L \cdot b \cdot h, \text{ м}^3.$$

Тривалість усереднювання має бути не менше 3, але не більше 6 годин, вона розраховується по формулі:

$$T=W / Q, \text{ годин},$$

де  $Q$  – годинна продуктивність очисних споруд,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

Результати розрахунку представити у вигляді таблиці (табл. 6.1)

Таблиця 6.1 - Розрахунок усереднювача шахтних вод

Найменування показника	Один. виміру	Формула для визначення	Результат
1. Тип і кількість секцій		Шахтний відстійник, $n =$	
2. Розміри секції усереднювача	м	$L \times b \times h$	
3. Об'єм усереднювача	$\text{м}^3$	$W = n L b h =$	
4. Тривалість усереднювання	годин	$T = W / Q =$ Не менше 3 годин	0,0
5. Спосіб змучування		Циркуляція від насоса по донних дірчастих трубах	

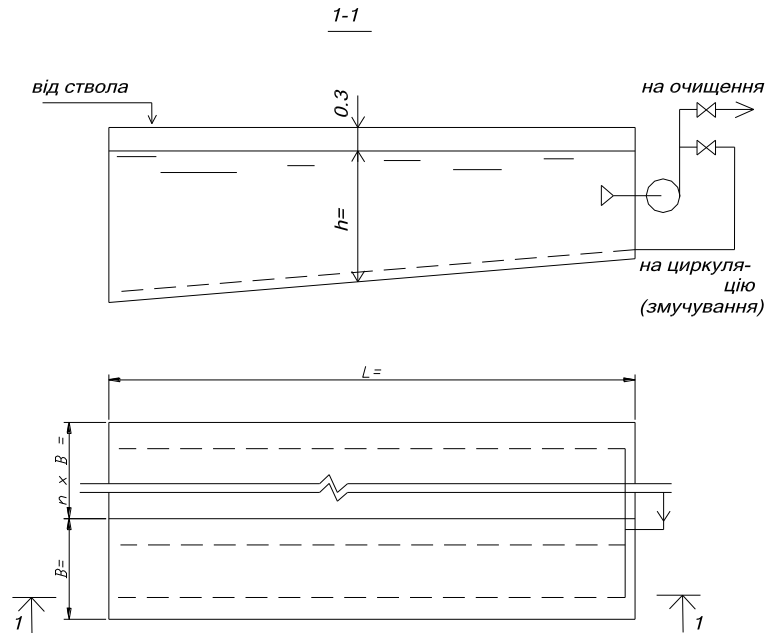


Рисунок 6.1 - Осереднювач шахтних вод

### Розрахунок відкритих гідроциклонів

Для видалення грубодисперсних завислих речовин, представлених вугільними частинками з розміром більше 1 мм, передбачаються відкриті гідроциклони (ВГЦ) (рис. 10.2). При розрахунку ВГЦ мають бути визначені наступні величини: діаметр ВГЦ ( $D$ ); висота циліндрової частини ( $H_{ц}$ , м); висота конічної частини ( $H_{к}$ , м); діаметр впускного патрубку ( $d$ , м); періодичність видалення осаду ( $\tau$ , год).

Спочатку задаємося кількістю ВГЦ ( $N = 2; 4$  шт.), починаючи з меншого значення. Потім визначаємо витрати води на один ВГЦ ( $Q_1$ , м<sup>3</sup>/ч):

$$Q_{од} = Q / N ,$$

де  $Q$  – годинна продуктивність очисних споруд, м<sup>3</sup>/год.

Розраховуємо площу одного апарату ( $F$ , м<sup>2</sup>):

$$F = Q_{од} / q ,$$

де  $q$  - питома витрата води, м<sup>3</sup>/ год м<sup>2</sup>

$$q = 4.32 U_{min} ,$$

де  $U_{min}$  - мінімальна гідравлічна крупність затримуваних часток ( $U_{min}=4 \div 6$ ), мм / с.

Діаметр відкритого гідро циклону



$$D = \sqrt{4 F / \pi}.$$

Якщо діаметр ВГЦ перевищує граничне значення, пов'язане з максимальним габаритом вантажів для перевезення залізничним транспортом ( $D = 3,5$  м), тоді збільшуємо кількість ВГЦ або варіюємо значенням мінімальної гідравлічної крупності затримуваних в апараті часток суспензії ( $U_{\min}$ ).

Висота циліндрової частини ( $H_{\text{ц}}$ , м) дорівнює діаметру ВГЦ:

$$H_{\text{ц}} = D$$

Висота конічної частини для накопичення осаду ( $H_{\text{к}}$ , м) дорівнює:

$$H_{\text{к}} = 0.5 D \operatorname{tg} 60^{\circ}$$

Об'єм конічної частини (зони накопичення осаду)

$$W_{\text{к}} = \pi D^2 H_{\text{к}} / 3, \text{ м}^3$$

Діаметр впускного патрубку ( $d$ , м) визначається із співвідношення:

$$d = 0.1 D$$

Оскільки труби випускаються стандартних діаметрів, то з табл. 6.2 вибираємо значення діаметру найбільш близьке до отриманого.

Таблиця 6.2 – Труби сталеві електрозварювані

Діаметр труб сталевих електрозварюваних, мм		
25	80	250
32	100	300
40	125	350
50	150	400
60	175	450
75/65	200	500, 600 ...

Періодичність видалення осаду ( $\tau$ , год) розраховується по формулі:

$$\tau = W_{\text{к}} / W_1,$$

де  $W_1$  - об'єм осаду, що випадає за одну годину,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

$$W_1 = P C_{\text{вх}} Q_{\text{од}} / \rho 10^6,$$

де  $P$  - відсотковий вміст часток суспензії більших за 1 мм, %;  
 $C_{\text{вх}}$  – вміст завислих речовин в шахтній воді,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;

$\rho$  - щільність осаду ( $\rho = 1,6$ ), т / м<sup>3</sup>.

Періодичність видалення осаду не повинна перевищувати 500 годин.

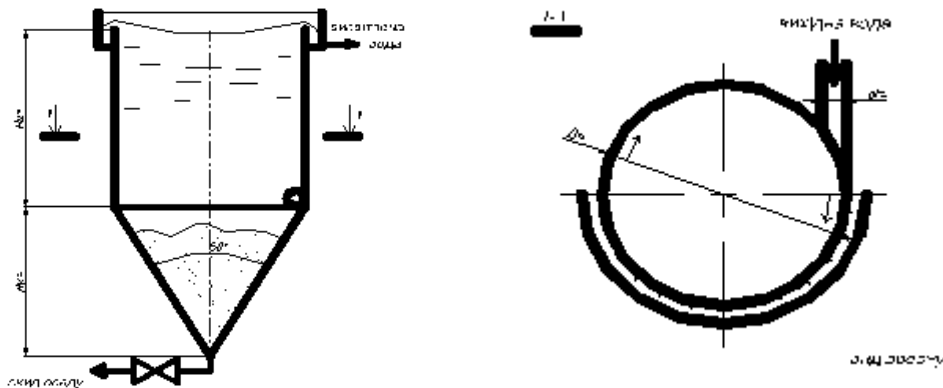


Рисунок 6.2 - Відкритий гідроциклон

Результати розрахунку представити у вигляді таблиці (табл. 6.3).

Таблиця 6.3 - Розрахунок відкритих гідроциклонів

Найменування показника	Один. виміру	Формула для визначення	Результат
1	2	3	4
1. Кількість гідроциклонів	шт.	$N = 2 ; 4$	
2. Витрата води на один гідроциклон	м <sup>3</sup> / год	$Q_{од} = Q / N =$	
3. Мінімальна гідравлічна крупність затримуваної суспензії	мм / с	$U_{min} = 4 - 6$	
4. Питома витрата води	м <sup>3</sup> /год*м <sup>2</sup>	$q = 4.32 U_{min} =$	0,0
5. Площа одного апарату	м <sup>2</sup>	$F = Q_{од} / q =$	0,0
6. Діаметр гідроциклону	м	$D = \sqrt{4 F / \pi} =$ $D \leq 3.5$	0,0
7. Висота циліндричної частини	м	$H_{ц} = D$	0,0
8. Висота конічної частини	м	$H_{к} = 0.5 D \operatorname{tg} 600 =$	0,0
9. Об'єм конічної частини	м <sup>3</sup>	$W_{к} = \pi D^2 H_{к} / 3 =$	0,0
10. Діаметр впускного патрубку	м	$d = 0,1 D =$ Приймаємо (стандартний)	
11. Щільність осаду	т / м <sup>3</sup>	$\rho = 1,6$	
12. Відсотковий вміст суспензії більший за 1 мм	%	P із завдання	
13. Об'єм осаду, який випадає за одну годину	м <sup>3</sup> / год	$W_1 = P \operatorname{Cвх} Q_{од} / \rho 10^6 =$	0,0
14. Періодичність видалення осаду	годин	$\tau = W_{к} / W_1 =$ $\leq 300$	0

## ЗАВДАННЯ:

Використовуючи вихідні дані таб.6.4 виконати наступні завдання:

1. Виконати розрахунок осереднювачів заповнюючи таблицю 6.1.
2. Виконати розрахунок відкритих гідроциклонів заповнюючи таблицю 6.3

**Таблиця 6.4 – Вихідні дані**

Варіант	Продуктивність очисних споруджен	Вміст зависі $S_v$ , мг/л	Вміст нафтопродуктів, Снп, мг/л	Вміст крупнодисперсної зависі, %	Концентрація іонів, г/м <sup>3</sup>					рН
					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	
1	3200	200	0,2	5	120	32,5	300	450	540	7
2	3600	220	0,3	7	210	26	200	470	440	7,2
3	3900	250	0,4	9	190	49	350	490	450	7,4
4	4000	280	0,6	13	290	25	450	310	650	7,3
5	3300	200	0,3	12	195	25	240	240	460	7,5
6	3500	280	0,4	5	180	39	210	360	560	7,3
7	4100	230	0,9	18	185	12,5	245	280	570	7
8	3800	210	0,6	6	175	36	220	310	470	7,3
9	4000	290	0,2	14	170	46	225	360	380	7,8
10	3100	210	0,2	5	120	32,5	300	450	390	7,6

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Навчально-методичний посібник "Технології захисту водного середовища" / уклад.: О. В. Степова, Г. Г. Трохименко. Полтава, 2022. 306 с. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi73/0054281.pdf>.

2. Петрук В. Г., Северин Л. І., Васильківський І. В., Безвозюк І. І. Природоохоронні технології : навч. посіб. Ч. 2 : Методи очищення стічних вод. Вінниця : ВНТУ, 2014. 258 с. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi73/0054240.pdf>.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА 7 РОЗРАХУНОК ТОНКОШАРОВИХ ВІДСТІЙНИКІВ

### МЕТА РОБОТИ:

Навчитися розраховувати параметри водоочисних установок.

### ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА:

#### Розрахунок тонкошарових відстійників

Знаходимо витрату води:

$$Q_{од} = Q_1 / (2 * 3,6) , л/с$$



де  $Q_1$  – годинна продуктивність очисних споруд,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

$$Q_1 = Q - q,$$

де  $Q_1$  - добова витрата шахтних вод після ВГЦ,  $\text{м}^3/\text{доб}$ ;  
 $q$  - об'єм осаду, який випадає за одну добу в ВГЦ,  $\text{м}^3/\text{доб}$ .

### **Розрахунок габаритів в плані**

Для визначення габаритних розмірів відстійників розрахуємо їх загальну площу ( $F$ ,  $\text{м}^2$ ):

$$F = Q_2/q,$$

де  $Q_2$  – годинна продуктивність тонкошарових відстійників,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  
 $q$  - питоме гідравлічне навантаження,  $\text{м}^3/\text{год} \cdot \text{м}^2$ .

$$Q_2 = Q_1 + q_2,$$

де  $Q_2$  - добова витрата шахтних вод після шайбового вузла введення реагенту (катіонний флокулянт),  $\text{м}^3/\text{доб}$ ;

$q_2$  – добова витрата розчину флокулянту для шайбового вузла,  $\text{м}^3/\text{доб}$ .

$$q_2 = (D \cdot Q_1) / (C \cdot \rho \cdot 10)$$

де  $D$  – доза реагенту  $5 \dots 10 \text{ г}/\text{м}^3$

$C$  - концентрація розчину реагенту  $0,1 \dots 0,5\%$  (мах  $1,0; 2,0$ )

$\rho$  - щільність розчину  $1005 \text{ кг}/\text{м}^3$

Для визначення габаритних розмірів відстійників розрахуємо їх загальну площу ( $F$ ,  $\text{м}^2$ ):

$$F = Q_2/q,$$

де  $Q_2$  – годинна продуктивність тонкошарових відстійників,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  
 $q$  - питоме гідравлічне навантаження,  $\text{м}^3/\text{год} \cdot \text{м}^2$ . (табл 7.1)

$$Q_2 = Q_1 + q_2,$$

де  $Q_2$  - добова витрата шахтних вод після шайбового вузла введення реагенту (катіонний флокулянт),  $\text{м}^3/\text{доб}$ ;

$q_2$  – добова витрата розчину флокулянту для шайбового вузла,  $\text{м}^3/\text{доб}$ .

$$q_2 = (D \cdot Q_1) / (C \cdot \rho \cdot 10)$$

де  $D$  – доза реагенту  $5 \dots 10 \text{ г}/\text{м}^3$

$C$  - концентрація розчину реагенту  $0,1 \dots 0,5\%$  (мах  $1,0; 2,0$ )

$\rho$  - щільність розчину  $1005 \text{ кг}/\text{м}^3$

Таблиця 7.1 - Питоме гідравлічне навантаження тонкошарових відстійників

Характеристика води за вмістом завислих речовин	Вміст завислих речовин С <sub>вх</sub> , г/м <sup>3</sup>	Питоме гідравлічне навантаження q, м <sup>3</sup> /год м <sup>2</sup>
Малокаламутніводи	< 50	3,0 ÷ 3,5
Средньокаламутні води	50 - 250	3,6 ÷ 4,5
Каламутніводи	>250	4,6 ÷ 5,5

Загальна довжина відстійників (L, м) рівна:

$$L = F/V,$$

де V- ширина однієї секції (V = 3), м.

Довжина однієї секції l = 6...12 м. Тоді кількість секцій (N, шт.):

$$N = L / l$$

Кількість секцій має бути не менше 2шт.

Висота циліндрової частини (H<sub>ц</sub>, м) дорівнює діаметру ВГЦ:

$$H_{ц} = D$$

Висота конічної частини для накопичення осаду (H<sub>к</sub>, м) дорівнює:

$$H_{к} = 0.5 D \operatorname{tg} 60^{\circ}$$

Об'єм конічної частини (зони накопичення осаду)

$$W_{к} = \pi D^2 H_{к} / 3, \text{ м}^3$$

Діаметр впускного патрубка (d, м) визначається із співвідношення:

$$d = 0.1 D$$

### Розрахунок тонкошарових елементів

Розрахунок тонкошарових елементів почнемо з визначення тривалості відстоювання по формулі:

$$t_{в} = 1000 h/U \cos \beta K_{с}$$

де h - висота тонкошарового елемента (h = 0,02...0,05), м;

U - мінімальна гідравлічна крупність затримуваних частинок суспензії (табл. 7.2), мм/с;

β - кут нахилу пластин (β = 60°), град;

$K_c$  - коефіцієнт затримання потоку сповзаючим осадом ( $K_c = 0,7 \dots 0,8$ ).

Таблиця 7.2 – Параметри роботи тонкошарового каналу

Характеристика води за вмістом завислих речовин	Вміст завислих речовин $C_{вх}$ , г/м <sup>3</sup>	Мінімальна гідравлічна крупність затримуваних частинок суспензій $U$ , мм/с	Середня швидкість руху води в каналі відстійника $v$ , мм/с
Малокаламутні води	< 50	0,35 ÷ 0,45	6 ÷ 8
Средньокаламутні води	50 - 250	0,45 ÷ 0,5	7 ÷ 10
Каламутні води	>250	0,5 ÷ 0,6	9 ÷ 12

Довжина тонкошарового елемента ( $l_T$ , м) розраховується по формулі:

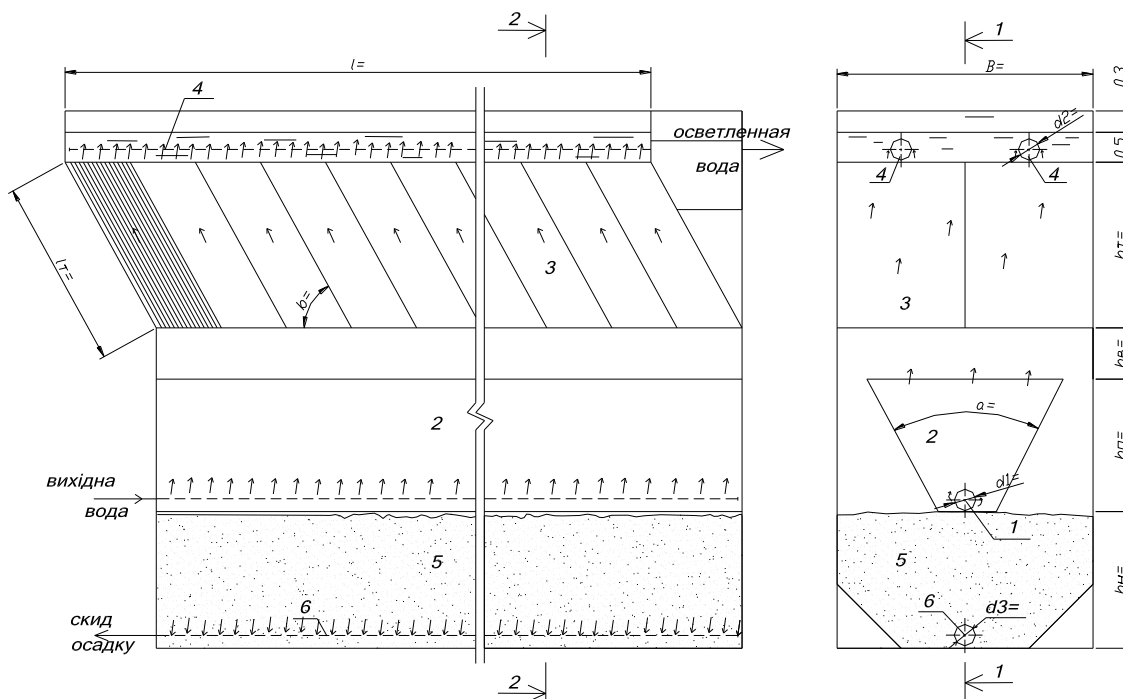
$$l_T = K_v \cdot v \cdot t_0 / 1000$$

де  $K_v$  - коефіцієнт об'ємного використання відстійника ( $K_v = 1,1$ );  
 $v$  - середня швидкість руху води в каналі відстійника (див. табл. 7.2), мм/с;

$t_0$  - тривалість відстоювання, с.

Висота тонкошарового блоку ( $h_T$ , м) розраховується по формулі:

$$h_T = l_T \sin \beta .$$



1 - дірчаста труба впуску та розподілу води, 2- камера утворення пластівців, 3- токошарові елементи, 4- водозбірні труби, 5- зона накопичення осаду, 6- труба скиду осаду

Рисунок 7.1 - Тонкошаровий відстійник



## Труба підведення і розподілу початкової води

Витрати води на один відстійник ( $q_1$ , м<sup>3</sup>/с):

$$q_1 = Q_2 / N$$

де  $Q_2$  – секундна витрата шахтної води, м<sup>3</sup>/с.

Оскільки воду розподіляє одна труба, витрата на неї ( $q_1$ , м<sup>3</sup>/с) буде рівна  $Q_2$ .

Площу перетину труби ( $f$ , м<sup>2</sup>) визначаємо по формулі:

$$f = q_1 / V$$

де  $V$  - швидкість води в трубі ( $V = 0,5 \dots 0,6$ ), м/с.

Звідси знаходимо діаметр труби ( $d_1$ , мм):

$$d_1 = 1000 \sqrt{4 \frac{f}{\pi}}$$

та приймаємо стандартне значення діаметру труби, найбільш близьке до розрахункового (див. табл. 6.2).

## Розрахунок вихрової камери утворення пластівців

Тривалість перебування води в камері ( $t_x$ , хв) вибираємо в межах  $t_x = 6 \dots 12$  хв. Тоді загальний об'єм камери ( $W$ , м<sup>3</sup>) буде рівний:

$$W = Q_2 t_x / 60 \text{ N}$$

Висота призматичної частини камери ( $h_p$ , м):

$$h_p = 0,5 (B - 1 - 2d_1/1000) \text{ ctg } \alpha / 2$$

де  $d_1$  – діаметр труби підводу води, мм;

$\alpha$  - кут між стінками камери ( $\alpha = 50 \dots 90^\circ$ ), град.

Об'єм призматичної частини ( $W_p$ , м<sup>3</sup>):

$$W_p = 0,5 * l * h_p (B - 1 - 2 d_1/1000).$$

Об'єм верхньої частини камери ( $W_v$ , м<sup>3</sup>):

$$W_v = W - W_p$$

Висота верхньої частини камери ( $h_v$ , м):



$$h_B = W_B / B * I$$

а повна висота камери ( $h_K$ , м):

$$h_K = h_{\Pi} + h_B .$$

### Розрахунок зони накопичення осаду

Об'єм осаду, що випадає в відстійнику за одну добу ( $W$ ,  $m^3$ ):

$$W = Q_2 (C_{\text{поч}} - C_{\text{осв}}) / \rho ,$$

де  $Q$  - добова витрата води,  $m^3/\text{доб}$ ;

$C_{\text{поч}}$  – вміст завислих речовин в шахтній воді на вході в відстійник, мг/л;

$$C_{\Pi} = C_{\text{вх}} (1 - P / 100)$$

де  $P$  – див. ВГЦ;

$C_{\text{осв}}$  - концентрація суспензії в освітленій воді на виході з відстійника ( $C_{\text{осв}} = 15 \dots 20$ ), мг/л;

$\rho$  - щільність осаду ( $\rho = 50000$ ), г /  $m^3$ .

Необхідний об'єм зони накопичення осаду ( $W_n$ ,  $m^3$ ):

$$W_n = W * t_n / 24$$

де  $t_n$  - тривалість періоду між чищеннями відстійника, год.

Тривалість періоду між чищеннями відстійника 6; 12; 24; 36 год, для малокаламутних вод можливе збільшення періоду до 48; 60; 72 год.

Висоту зони накопичення осаду ( $h_n$ , м) визначаємо по формулі:

$$h_n = W_n / B * N * I$$

Повна висота відстійників ( $H$ , м) буде дорівнювати:

$$H = h_n + h_K + h_T + 0,8$$

Таблиця 7.3 - Розрахунок тонкошарових відстійників

Найменування показника чи елементу	Один. виміру	Формула для визначення	Результат
1. Загальна витрата води на усі відстійники	$m^3/\text{год}$	$Q_2$	
2. Питоме гідравлічне навантаження	$m^3/\text{год} \cdot m^2$ $q$	3,0...3,5 для малокаламутних вод 3,6...4,5 для середньокаламутних вод 4,6...5,5 для каламутних вод	

3. Загальна площа відстійників	м <sup>2</sup>	$F = Q_2/q =$	0,0
4. Ширина однієї секції	м	$B = 3$	
5. Загальна довжина відстійників	м	$L = F/B =$	0
6. Довжина однієї секції	м	$l = 6...12$	
7. Кількість секцій	шт.	$N = L / l =$ (не менше 2)	0
<b>Розрахунок тонкошарових елементів</b>			
8. Кут нахилу пластин	град	$\beta$	60
9. Мінімальна гідравлічна крупність затримуваних часток суспензій	мм/с U	0,35...0,45 для малокаламутних вод 0,45...0,5 для середньокаламутних вод 0,5...0,6 для каламутних вод	
10. Висота тонкошарового елемента	м	$h = 0,02...0,05$	
11. Коефіцієнт стиснення потоку сповзаючим осадом		$K_c = 0,7...0,8$	
12. Середня швидкість руху води в каналі відстійника	мм/с	$v = 6...8$ для малокаламутних вод $v = 7...10$ для середньокаламутних вод $v = 9...12$ для каламутних вод	
13. Тривалість відстоювання	с	$t_0 = 1000 h/U \cos \beta K_c =$	0
14. Величина коефіцієнта об'ємного використання		$K_{и} = 1,1$	
15. Довжина тонкошарового елемента	м	$l_T = K_{и} v t_0 / 1000 =$	0,0 1...2
16. Висота тонкошарового блоку	м	$h_T = l_T \sin \beta =$	0,0 1...2
<b>Розрахунок вихрової камери утворення пластівців</b>			
17. Прийнята тривалість перебування води в камері	хв	$t_x = 6...12$	
18. Об'єм камери	м <sup>3</sup>	$W = Q_2 t_x / 60 N =$	
19. Прийнятий кут між стінками камери	град	$\alpha = 50...90$	
20. Висота призматичної частини	м	$h_{п} = 0,5 (B - 1 - 2d_1/1000) \operatorname{ctg} \alpha / 2 =$	
21. Об'єм призматичної частини	м <sup>3</sup>	$W_{п} = 0,5 l h_{п} (B - 1 - 2 d_1/1000) =$	
22. Об'єм верхньої частини	м <sup>3</sup>	$W_{в} = W - W_{п} =$	0,0
23. Висота верхньої частини	м	$h_{в} = W_{в} / B l =$	0,0 0,5...1
24. Повна висота камери	м	$h_{к} = h_{п} + h_{в} =$	0,0
<b>Зона накопичення осаду</b>			
25. Добова витрата води	м <sup>3</sup> /доб	$Q_2$	
26. Концентрація суспензії в початковій воді	мг/л	$C_{п} = C_{вх} (1 - P / 100) =$ P – див. ВГЦ	

27. Концентрація суспензії в відстоєній воді	мг/л	$C_{ocb} = 15...20$	
28. Прийнята тривалість періоду між чищеннями відстійника	годин	$t_n = 6, 12, 24...72$	
29. Щільність осаду	г/м <sup>3</sup>	$\rho = 50000$	
30. Об'єм осаду, що випадає за одну добу	м <sup>3</sup>	$W = Q (C_n - C_{ocb}) / \rho =$	
31. Об'єм зони накопичення осаду	м <sup>3</sup>	$W_n = W t_n / 24 =$	0,0
32. Висота зони накопичення осаду	м	$h_n = W_n / B N I =$	0,0 > 0,5
33. Повна висота відстійників	м	$H = h_n + h_k + h_t + 0,8 =$	0,0 4...6

### ЗАВДАННЯ:

Виконати розрахунки параметрів водоочисних установок. Результати розрахунку представити у вигляді таблиці (табл. 7.3)

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Навчально-методичний посібник "Технології захисту водного середовища" / уклад.: О. В. Степова, Г. Г. Трохименко. Полтава, 2022. 306 с. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi73/0054281.pdf>.
2. Петрук В. Г., Северин Л. І., Васильківський І. В., Безвозюк І. І. Природоохоронні технології : навч. посіб. Ч. 2 : Методи очищення стічних вод. Вінниця : ВНТУ, 2014. 258 с. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi73/0054240.pdf>.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА 8 ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД СПОЛУК ЗАЛІЗА

### МЕТА РОБОТИ:

Навчитися визначати вміст заліза у воді та досліджувати методи його видалення з метою покращення якості води.

### ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА:

Вода є одним із найважливіших ресурсів у функціонуванні підприємств металургійного комплексу. Вона використовується у процесах охолодження агрегатів, підготовки технологічних розчинів, газоочистки, промивання сировини і готової продукції. Крім того, металургійні підприємства часто мають власні джерела господарсько-питного водопостачання для забезпечення потреб персоналу. Тому якість води напряму впливає як на надійність виробничих процесів, так і на



санітарно-гігієнічні умови роботи. Одним із найпоширеніших небажаних компонентів води є залізо у різних формах - як двовалентне ( $\text{Fe}^{2+}$ ), так і тривалентне ( $\text{Fe}^{3+}$ ).

Наявність сполук заліза у воді створює низку проблем. У технічному водопостачанні воно сприяє утворенню осадів та накипу на стінках трубопроводів і теплообмінного обладнання. Ці відкладення погіршують умови циркуляції, знижують ефективність теплопередачі, а також створюють додаткові умови для розвитку корозійних процесів. Металургійне виробництво відзначається надзвичайно високим рівнем теплових навантажень, тому будь-яке зменшення ефективності охолоджувальних систем може призводити до аварійних ситуацій, вимушених зупинок та додаткових фінансових витрат. Таким чином, очищення води від заліза є важливим чинником збереження надійності та довговічності систем оборотного і прямоточного водопостачання.

Не менш значущим є питання забезпечення якості питної та господарсько-побутової води на підприємстві. Підземні води, які часто використовуються для цих цілей, зазвичай містять підвищені концентрації заліза. Воно проявляється у вигляді характерного жовто-бурого забарвлення, неприємного присмаку, а після відстоювання утворює осад, що робить воду непридатною для споживання. З точки зору санітарних норм, допустимий вміст заліза у воді для питних потреб становить 0,2–0,3 мг/л, тоді як у природних водоносних горизонтах цей показник часто перевищує 1–2 мг/л і більше. Вживання такої води без попереднього знезалізнення не лише погіршує її органолептичні властивості, але й створює ризики для здоров'я, особливо для людей із чутливими системами травлення та обміну речовин.

Очищення від заліза необхідне також у контексті водовідведення. Стічні води металургійного комплексу характеризуються значними концентраціями сполук заліза, що потрапляють у результаті промивання газів у скруберах, охолодження металу та продуктів його переробки, а також із відпрацьованих оборотних систем. Якщо такі стоки скидати без належного очищення, у водних об'єктах відбувається накопичення заліза у донних відкладеннях, порушення кисневого балансу, пригнічення біологічних процесів. Вода набуває характерного червонувато-бурого відтінку, ускладнюється процес фотосинтезу водоростей, зменшується прозорість і втрачається природна цінність водойм. Крім того, в осадах можуть формуватися щільні шари гідроксидів заліза, які змінюють природну структуру ґрунту та негативно впливають на гідробіоценоз. Це прямо суперечить вимогам природоохоронного законодавства та створює ризики накладення штрафних санкцій на підприємства.

Необхідність видалення сполук заліза у металургійному комплексі зумовлена і прагненням до підвищення ефективності повторного використання води. В умовах сучасної промисловості все більшого значення набувають замкнені та оборотні цикли водопостачання. Високий



вміст заліза у таких системах призводить до накопичення відкладень у трубопроводах та резервуарах, що ускладнює роботу насосного обладнання, збільшує енерговитрати і потребу в частому ремонті. Тому очищення від заліза дозволяє забезпечити більш стабільне функціонування оборотних систем, знизити витрати свіжої води і мінімізувати скиди стічних вод.

З точки зору технологій очищення, видалення сполук заліза може здійснюватися різними методами: від простого відстоювання та аерації до реагентного осадження, сорбційних і мембранних процесів. Вибір конкретного методу залежить від вихідної концентрації заліза, форми його перебування у воді, а також від вимог до кінцевої якості. Важливо, що всі ці технології вже добре відпрацьовані й широко застосовуються як на централізованих водоочисних станціях, так і безпосередньо на металургійних підприємствах.

Таким чином, видалення із води сполук заліза у металургійному комплексі має комплексне значення. Воно забезпечує стабільність та безпеку технологічних процесів, покращує якість питної води для персоналу, зменшує корозійні й енергетичні втрати в обладнанні, сприяє виконанню екологічних нормативів та запобігає негативному впливу на довкілля. В умовах сучасних вимог до раціонального природокористування та підвищення екологічної відповідальності підприємств очищення води від заліза перестає бути лише технічним завданням і стає важливою складовою стратегії сталого розвитку металургійної галузі.

Залізо, що міститься у підземних водах, може перебувати у різних формах: у вигляді іонів двовалентного заліза, колоїдних органічних і неорганічних сполук, а також у складі розчинених органічних сполук дво- та тривалентного заліза. Зазвичай концентрація заліза у таких водах не перевищує 5 мг/дм<sup>3</sup>, проте в окремих регіонах, особливо на півночі України, цей показник може сягати понад 10 мг/дм<sup>3</sup>. У водах глибоких горизонтів залізо переважно присутнє у формі іонів Fe<sup>2+</sup>, які залишаються стабільними за наявності вільної вуглекислоти та відсутності окисників.

Після виходу води на поверхню землі стан заліза змінюється, воно піддається впливу кисню, вуглекислого газу, води, органічних речовин та діяльності мікроорганізмів.

Кількість розчиненого у воді кисню значною мірою визначає форму перебування заліза. Вважається, що в ядрі Землі воно переважно існує у вигляді металевого заліза в поєднанні з нікелем, у глибших шарах земної кори у вигляді сульфідів, ближче до поверхні - у вигляді карбонатів (зокрема залізного шпату), а на самій поверхні - у формі оксидів.

Процес окиснення заліза під дією атмосферного кисню супроводжується виділенням значної кількості тепла. Згідно з принципом Ле-Шательє, цей процес найінтенсивніше відбувається за відносно низьких температур..



Згідно із діаграмами Пурбе (рис. 8.1)  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  утворює гель тільки за рН 6,5, а  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  випадає в осад за рН 3,5. Сполуки  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  зустрічаються у водах річок, озер та ґрунтових водах, гідроксид заліза тільки в кислих ґрунтових водах (рН 3) торфових ґрунтів.

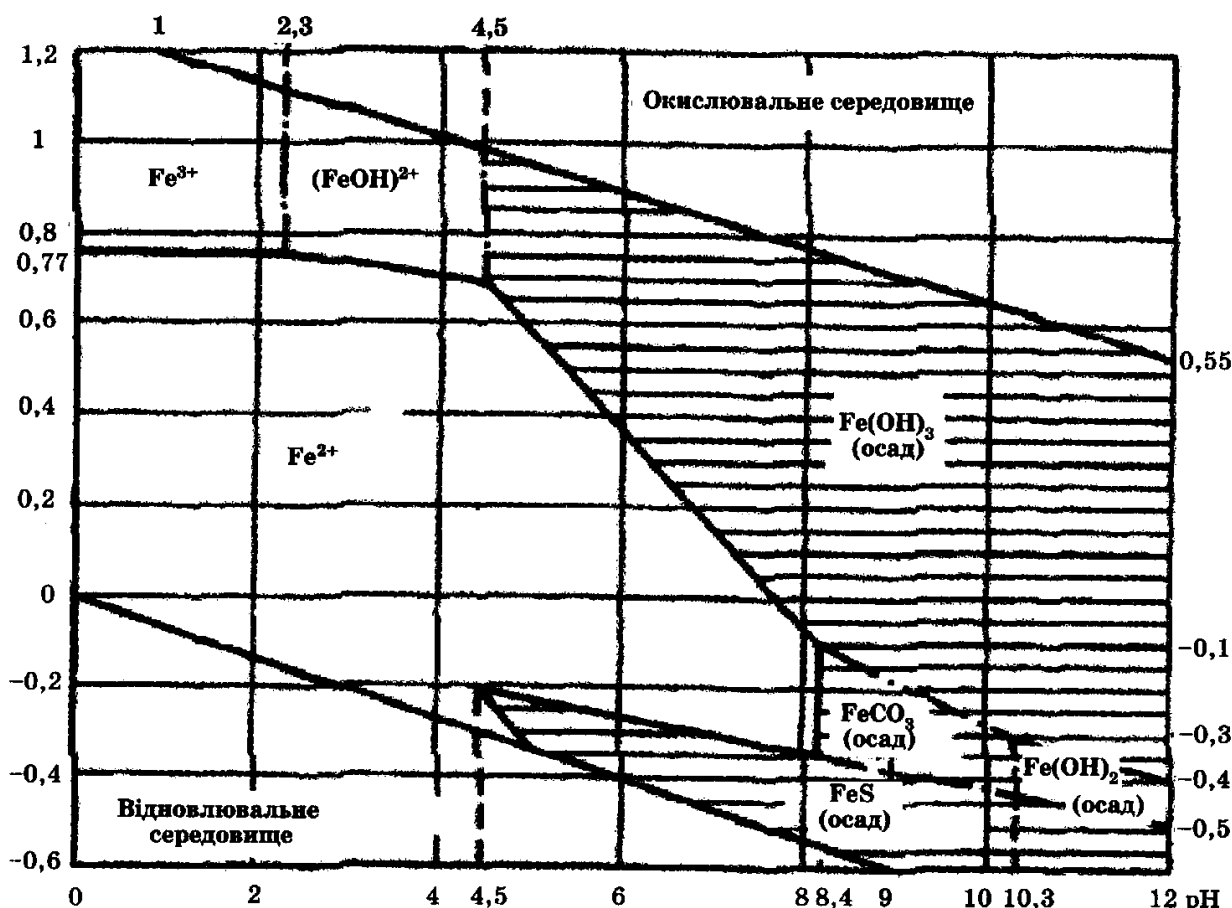


Рисунок 8.1 - Діаграма Пурбе стійкості заліза у підземних водах

У підземних водах, що проходять через нафтоховища, найстійкішими формами сполук заліза є негативно заряджені комплекси, утворені з органічними кислотами - лимонною, щавлевою, гуміною та фульвокислотами. Наявність у структурі гумінових і фульвокислот карбоксильних, фенолгідроксильних та аміногруп сприяє утворенню стабільних комплексних сполук заліза з компонентами гумусових речовин.

У підземних водоносних шарах, сформованих породами, що містять залізний шпат ( $\text{FeCO}_3$ ), під дією вуглекислоти та артезіанської води двовалентні сполуки заліза легко переходять у розчин, утворюючи гідрокарбонат  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ .

Вибір методу знезалізнення визначається хімічним складом води, необхідним ступенем очищення, продуктивністю станції та результатами

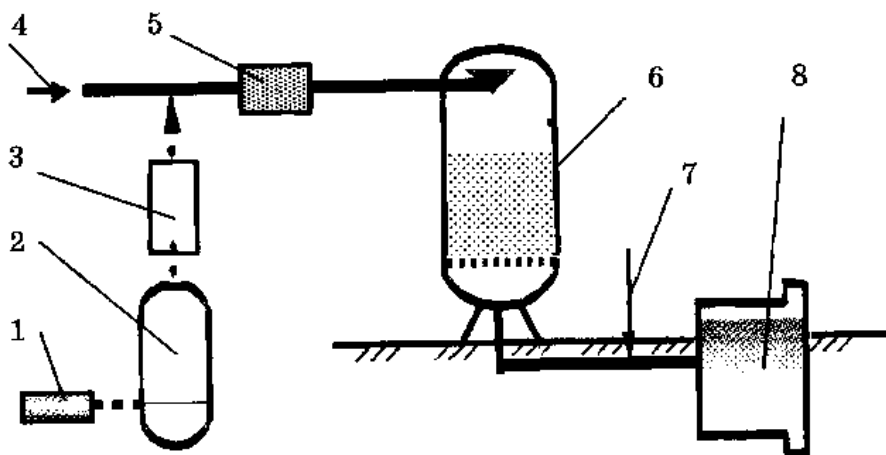
технологічних випробувань. Найпоширенішим є безреагентний метод, оскільки він є найпростішим і найбільш економічним. Його суть полягає в насиченні води киснем у процесі аерації, внаслідок чого частково видаляється вугільна кислота, а залізо переходить у окислену форму. Після цього вода відстоюється в резервуарах і проходить фільтрацію, під час якої з неї вилучаються пластівці гідроксиду заліза.

Якщо безреагентне знезалізнення не забезпечує потрібного результату, застосовують реагентний метод, який передбачає введення у воду окисників - хлору, перманганату калію, вапна або соди. Для очищення поверхневих вод, як правило, використовують саме реагентний спосіб, який дозволяє одночасно досягти знезалізнення, освітлення та знебарвлення води..

### Безреагентні методи знезалізнення

Аерацію можна проводити в спеціальних пристроях або використовувати спрощену. Спрощену аерацію використовують, якщо вміст заліза становить до  $10 \text{ мг/дм}^3$ , у тому числі двовалентного не менше як 70 %, рН не менше ніж 6,8, лужність понад  $(1 + \text{Fe}^{2+}/28) \text{ мг/дм}^3$ .


Якщо продуктивність станції до  $3200 \text{ м}^3/\text{добу}$  та вміст заліза до  $5 \text{ мг/дм}^3$ , то застосовують установки за напірною схемою (рис. 8.2).



- 1 – компресор; 2 – повітрозбірник; 3 – редукційний клапан;  
 4 – подача вихідної води; 5 – змішувач; 6 – напірний фільтр;  
 7 – введення хлору для знезараження; 8 – резервуар чистої води  
 Рисунок 8.2 – Схема напірної установки для знезалізнення води

Потрібне для окиснення заліза повітря подає компресор. Витрати повітря ( $Q_{\text{пов}}$ ,  $\text{м}^3/\text{год}$ ) визначаються за формулою:

$$Q_{\text{пов}} = qmC \cdot 10^{-3}$$



де  $q$  - розрахункова продуктивність станції,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  $m$  - витрати повітря на окислення заліза ( $2 \text{ дм}^3$  на  $1 \text{ мг}$  заліза);  $C$  - концентрація заліза,  $\text{мг}/\text{дм}^3$ .

За наявності у вихідній воді вільної вуглекислоти більше  $40 \text{ мг}/\text{дм}^3$  та сірководню більше  $0,5 \text{ мг}/\text{дм}^3$  перед напірним фільтром передбачається проміжна місткість із вільним виливом води в неї, а введення повітря в трубопровід не передбачається. Використовують напірні фільтри діаметром 1, 2, 3, 4 м, які завантажені кварцовим піском.

На станціях із великою продуктивністю зазвичай застосовують швидкі фільтри, заповнені кварцовим піском із розміром зерен  $0,8\text{--}1,8 \text{ мм}$ , коефіцієнтом неоднорідності  $1,5\text{--}2$  та шаром завтовшки близько  $1 \text{ м}$ . При цьому розрахункова швидкість фільтрування становить  $5\text{--}7 \text{ м}/\text{год}$ . У деяких випадках використовують засипку з більшими фракціями  $1\text{--}2 \text{ мм}$  при товщині шару  $1,2 \text{ м}$  і швидкості фільтрування  $7\text{--}10 \text{ м}/\text{год}$ .

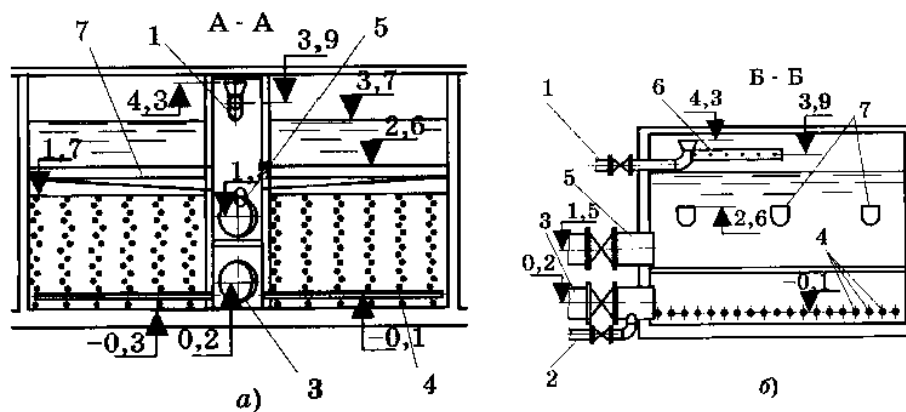
Сучасні системи очищення дедалі частіше обладнують фільтрами з щєбеневою засипкою крупністю  $5\text{--}10 \text{ мм}$ , товщиною шару до  $2,1 \text{ м}$ , які забезпечують швидкість фільтрування до  $20 \text{ м}/\text{год}$ .

Характерною особливістю таких фільтрів є спосіб подачі води: вихідний потік спрямовується суцільним струменем у бічну камеру (кишеню) з висоти не менше ніж  $0,5 \text{ м}$ , що забезпечує рівномірний розподіл потоку та підвищує ефективність фільтрації (рис. 8.3). Для покращення аерації пропонується вилив зі спеціального жолоба або дірчастої труби.

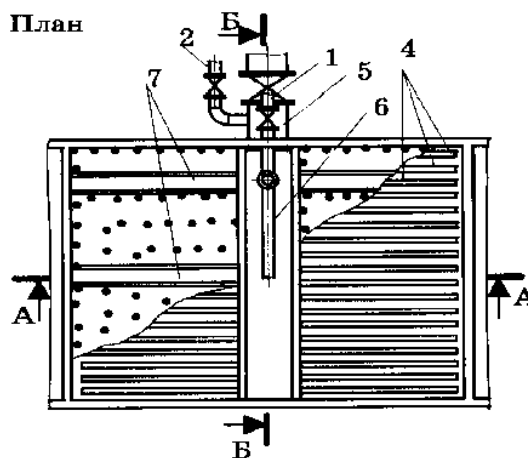
Для очищення води, вміст заліза в якій становить  $5\text{--}15 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , застосовують двоступеневу схему фільтрування: спочатку вода проходить через контактний фільтр, а потім через прояснювальний. При цьому швидкість фільтрування на контактному фільтрі перевищує швидкість прояснювального на  $50\text{--}60\%$ .

Коли концентрація заліза сягає  $25 \text{ мг}/\text{дм}^3$  і більше, для безреагентного знезалізнення використовують спеціальні установки, що складаються з вакуумно-ежекційного аератора та пінополістирольного фільтра. У процесі роботи вода спочатку подається в аератор, де насичується киснем, після чого надходить у регулятор швидкості фільтрування, а далі у пінополістирольний фільтр, який може функціонувати як із шаром завислого осаду, так і без нього.

Якщо вміст заліза не перевищує  $10 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , застосовують спрощену схему аерації - розбризкування води з висоти близько  $0,5 \text{ м}$  у регуляторі швидкості фільтрування. У цьому випадку шар завислого гідроксиду заліза (III) у нижній частині фільтра не формується.



План

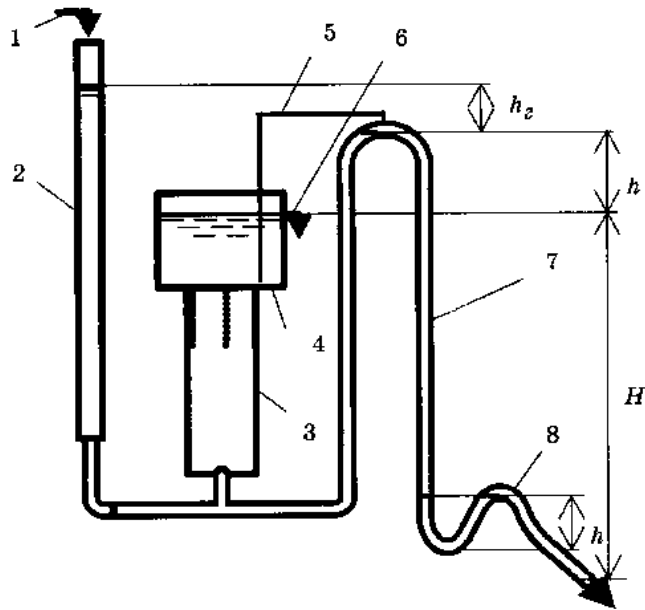


в)

1 – подавальний трубопровід; 2 – відведення фільтрату; 3 – подача промивної води; 4 – розподільні відгалуження; 5 – відвід промивної води; 6 – аератор; 7 – жолоби

Рисунок 8.3 – Загальний вигляд фільтра з грубою засипкою для знезалізнення: а, б) фільтр з грубою засипкою у розрізі; в) план фільтра з грубою засипкою

Фільтрувальний матеріал зазвичай складається з пінополістиролу фракцією 0,5–1 мм і товщиною шару 0,5–0,7 м. Оптимальна швидкість фільтрування становить до 4 м/год за наявності шару завислого осаду та до 7 м/год - без нього. Такі установки часто обладнані системою гідроавтоматики, що забезпечує автоматичне перемикання фільтра з робочого режиму на режим промивки і навпаки (рис. 8.4). Вихідна вода вільно виливається з висоти 0,5 м у регулятор швидкості фільтрування.



1 – подача води; 2 – регулятор швидкості фільтрування;  
 3 – пінополістирольний фільтр; 4 – промивний бак; 5 – повітряна трубка;  
 6 – відведення знезалізненої води; 7 – промивний сифон; 8 – гідрозатвор  
 промивного сифона

Рисунок 8.4 – Принципова схема гідроавтоматичної установки знезалізнення води.

З нижньої частини регулятора вода надходить у нижню зону пінополістирольного фільтра, де проходить через фільтруюче завантаження з пінополістиролу. У процесі проходження через цей шар відбувається видалення сполук заліза, після чого знезалізнена вода збирається у промивному баку (6). З його верхньої частини очищена вода відводиться у резервуар чистої води.

У міру роботи фільтра втрати напору поступово зростають, що спричиняє підвищення рівня води в регуляторі (2). Коли вода досягає максимального рівня, автоматично вмикається сифон гідрозатвора (8), а згодом промивний сифон (7), після чого фільтр переходить у режим промивки.

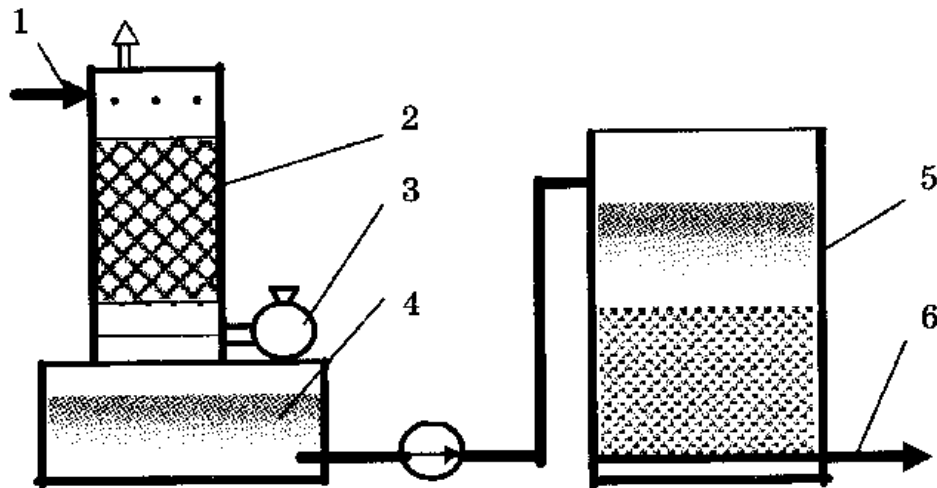
Під час промивання зворотний потік води видаляє накопичені забруднення з фільтруючого шару. Коли промивний бак повністю спорожніє, через повітряну трубку в промивний сифон потрапляє повітря, що припиняє його дію. Після цього фільтр повертається у робочий режим.

Промивний сифон розраховується на пропуск необхідної витрати промивної води ( $Q$ ). Її визначають з урахуванням інтенсивності промивки  $10\text{--}12 \text{ дм}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$  та площі фільтра. Витрати промивної води регулюють зміною діаметра сифона або його конструктивних параметрів. При цьому перевищення верхньої точки промивного сифона над рівнем води у надфільтровому просторі має становити  $0,7\text{--}1,5 \text{ м}$ .



Фільтри для знезалізнення розраховують аналогічно до прояснювальних фільтрів, приймаючи швидкість фільтрування 5–7 м/год.

Метод знезалізнення підземних вод із великою концентрацією заліза передбачає глибоку аерацію на вентиляторних або контактних градирнях, закінчення процесу окиснення заліза в контактному резервуарі та наступному фільтруванні на відкритих фільтрах (рис. 8.5).



1 – подача вихідної води; 2 – вентиляторна градирня; 3 – вентилятор; 4 – контактний резервуар; 5 – відкритий прояснювальний фільтр; 6 – відведення знезалізненої води

Рисунок 8.5 – Схема установки для знезалізнення з вентиляторною градирнею.

За продуктивності установок до 75 м<sup>3</sup>/год зазвичай застосовують контактні градирні, а при більшій продуктивності — вентиляторні.

Контактна градирня являє собою споруду з жалюзійними стінками, усередині якої розміщено ящики з перфорованим дном. У ці ящики завантажують кокс, пемзу або щебінь. Під час роботи вода розбризкується у верхній частині градирні, стікає крізь кілька шарів завантаження і, проходячи через них, збагачується киснем, що сприяє окисненню заліза.

Сучасною альтернативою є метод знезалізнення “Віредокс”. Його суть полягає у нагнітанні в підземний водоносний горизонт попередньо аерованої води за допомогою спеціальної нагнітальної свердловини. У процесі цього залізо окиснюється безпосередньо у водоносному пласті, де й відкладаються сполуки гідроксиду заліза. Очищена від заліза вода потім видобувається сусідньою водозабірною свердловиною.

Інший підхід - метод “сухої” фільтрації, який застосовується при вмісті гідрокарбонатного або карбонатного заліза до 6 мг/дм<sup>3</sup>. За цією технологією вода спочатку насичується повітрям, а потім фільтрується через незатоплений шар завантаження під дією невеликого вакууму. На поверхні зерен формується дегідратована плівка, що містить сполуки



сидериту, гетиту, магнетиту й гематиту. Ці речовини мають вищу щільність і менший об'єм включень порівняно з гідроксидом заліза (у 4–5 разів).

Швидкість фільтрування підтримують у межах 6–20 м/год, тому один фільтроцикл може тривати від місяця до року. Ефективність знезалізнення визначається рН води, ступенем диспергованості суміші повітря та води, а також параметрами фільтрування. Для відновлення завантаження використовують 0,5–1% розчин дитіоніту або 5–10% розчин інгібованої соляної кислоти.

**Приклад.** Розрахувати установку для знезалізнення для потужності  $Q_{\text{доба}}=9100 \text{ м}^3/\text{добу}$ , або  $Q_{\text{год}}=380 \text{ м}^3/\text{год}$  ( $9100/24$ ). Вміст у вихідній воді феруму (II) становить 6 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Для виділення вільної вуглекислоти застосовують аерацію води на вентиляторній градирні.

Необхідна площа вентиляторної градирні:

$$F_{\text{гр}} = \frac{Q_{\text{год}}}{\Phi} = \frac{380}{60} = 6,33 \text{ м}^2$$

де  $\Phi$  – питома витрата води на 1 м<sup>2</sup> площі вентиляторної градирні, приймається для насадки з кілець Рашига 60 м<sup>3</sup>/год і для дерев'яної хордової насадки 40 м<sup>3</sup>/год. Висота шару насадки з кілець Рашига при лужності (карбонатній жорсткості) вихідної води 6 мг-екв/дм<sup>3</sup> приймається  $h_{\text{кр}}=3\text{м}$  (табл. 1).

Таблиця 8.1 - Рекомендована висота шару насадки вентиляторної градирні для аерації води при її знезалізненні

Насадка	Висота шару $h_{\text{кр}}$ , м при загальній лужності води, мг-екв/дм <sup>3</sup>					
	2	3	4	5	6	8
кілець Рашига розміром 25×25×3 мм	1,5	1,75	2	2,5	3	4
хорда з дерев'яних брусків	2	2,5	3	3,5	4	5

Продуктивність вентиляторів градирні:

$$Q_{\text{вент}} = Q_{\text{год}} Q_0 = 380 \cdot 10 = 3800 \text{ м}^3/\text{год}$$

де  $Q_0$ – необхідна продуктивність вентилятора на 1 м<sup>3</sup> пропущеної води, яку зазвичай приймається 10 м<sup>3</sup>.

Напір, який розвивається вентилятором, повинен бути:

$$h_{\text{вент}} = h_{\text{кр}} \cdot 30 = 3 \cdot 30 = 90 \text{ мм. вод. ст.}$$



Ємність контактеного резервуара:

$$W = \frac{Q_{\text{год}} t}{60} = \frac{380 \cdot 30}{60} = 190 \text{ м}^3$$

де  $t = 30 \dots 40$  хв – час перебування води в контактеному резервуарі.

Розмір (у плані) контактеного резервуара об'ємом  $190 \text{ м}^3$  при глибині шару води, який дорівнює 4 м, буде: 6,9х6,9 м.

Напірні вертикальні фільтри для закінчення процесу флокуляції гідроксиду феруму (III) і його видалення обираються відповідно з потужністю та конструкційними особливостями.

Для завантаження фільтрів використовують пісок з крупністю зерна 0,5-1,2 мм при висоті фільтрувального шару 1200 мм.

При швидкості фільтрування 6 м/год (від 5 до 7) необхідна площа фільтрів:

$$\sum f = \frac{380}{6} = 63,3 \text{ м}^2$$

Приймаємо сім робочих фільтрів і один резервний серійного виготовлення діаметром  $D=3,4$ м (у всіх) і площею кожного  $9,04 \text{ м}^2$  ( $63,3/7$ ).

При застосуванні напірних фільтрів потрібно забезпечити подачу повітря у прийомний трубопровід у кількості приблизно  $2 \text{ дм}^3$  на 1 г Fe(II).

Спрощена аерація є допустимою за дотримання таких показників якості вихідної води:

- загальний вміст заліза не більше  $10 \text{ мг/дм}^3$ , причому двовалентна форма повинна становити не менше 70% від загального вмісту;
- показник рН  $\geq 6,8$ ;
- лужність води повинна бути більшою, ніж  $(1 + (\text{Fe}^{2+}/28)) \text{ мг-екв/дм}^3$ ;
- концентрація сірководню не перевищує  $0,5 \text{ ммоль/дм}^3$ ;
- перманганатна окиснюваність не більше  $0,15 \cdot (\text{Fe}^{2+}) + 5 \text{ мг/дм}^3 \text{ O}_2$ .

Якщо будь-яка з перелічених умов не виконується, слід передбачити попередню аерацію у відповідних аераторах з додатковим внесенням необхідних реагентів (наприклад перманганату калію, хлору тощо).

### **ЗАВДАННЯ:**

Розрахувати установку для знезалізнення за прикладом. Вихідні дані наведені в табл. 8.2

Таблиця 8.2 – Вихідні дані для розрахунків

Варіант	Q <sub>добу</sub>	Fe <sup>2+</sup>
1	8600	6
2	9900	8
3	6900	6
4	8450	3
5	8600	2
6	9050	4
7	8740	6
8	6200	6
9	9060	8
10	7800	6

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання : підручник. Київ : Знання, 2009. 735 с.

2. Технологія та обладнання одержання питної та технічної води: Конспект лекцій : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / уклад.: Н. А. Мешкова-Клименко, І. В. Косогіна, Н. М. Толстопалова. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 141 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/fe1c4145-90d2-4032-8420-a27300e82408/content>

## ПОДАННЯ НА ПЕРЕВІРКУ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Контроль за виконанням, поданням на перевірку та представленням завершеної практичної роботи здійснюється через освітню платформу Moodle, де створюється відповідний елемент для завантаження виконаних завдань. Студенти подають готові роботи у встановлені терміни відповідно до графіка навчального процесу.

Після отримання файлів викладач протягом одного тижня проводить перевірку, надає коментарі, зауваження та рекомендації щодо вдосконалення. З урахуванням цих зауважень студент має право внести необхідні корективи. Підсумкова оцінка виставляється лише після завершення доопрацювання.

Кожна практична робота оцінюється за п'ятибальною шкалою. Оцінювання здійснюється за такими критеріями (табл. 1):

- Якість виконання: правильність розрахунків і відповідність методичним вимогам;
- Дотримання термінів подання роботи;
- Оформлення: послідовність, структурованість, дотримання встановлених норм;
- Аргументованість відповідей: логічність висновків, повнота розкриття теми.

Оцінка за практичні роботи є невід'ємною складовою загальної успішності студента та враховується під час підсумкового оцінювання з дисципліни «Водопостачання та водовідведення підприємств гірничо-металургійного комплексу».

Таблиця 1 - Критерії оцінювання практичної роботи

Кількість балів	Критерії оцінювання
1	2
0 балів	Робота не виконана
1 бал	Робота виконана поверхово, без розкриття суті завдання. Теоретичні основи не відображені, практичне вирішення задачі відсутнє або некоректне. Завдання виконане частково або містить грубі помилки. Оформлення роботи значно відхиляється від встановлених вимог.
2 бали	Робота свідчить про недостатнє розуміння теоретичних основ і практичних аспектів завдання. Висновки нечіткі або нелогічні. Методи виконання роботи вибрані некоректно, завдання виконані неповністю або з серйозними помилками. Оформлення роботи не відповідає вимогам.



3 бали	Робота виконується з опорою на теоретичні основи, але є помітні неточності у формулюванні висновків. Методи виконання роботи частково коректні або застосовані непослідовно. Завдання виконані частково, допускаються помилки. Оформлення роботи містить значні недоліки.
4 бали	Текст роботи демонструє розуміння теоретичних основ і здатність до практичного їх застосування. Висновки сформульовані, але допускаються незначні неточності чи неповнота. Методи виконання роботи здебільшого коректні. Завдання виконані з незначними відхиленнями від вимог. Оформлення роботи відповідає вимогам із дрібними зауваженнями.
5 балів	Текст роботи свідчить про узагальнення і творче осмислення теоретичних основ та практичне вирішення поставлених завдань. Висновки сформульовані чітко, логічно та обґрунтовано. Методи виконання роботи підібрані та застосовані коректно. Завдання виконані у повному обсязі, а оформлення відповідає встановленим вимогам.



Додаток А

**ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА**  
**ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»**

**«ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ»**

Практична робота № \_\_\_\_\_

Варіант № \_\_\_\_

Група \_\_\_\_\_

ПІБ \_\_\_\_\_

Перевірив: \_\_\_\_\_  
(ПІБ викладача)

2025

56



*Навчально-методичне видання*

**Таврель Марина Ігорівна**

**ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПІДПРИЄМСТВ  
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ:**

**методичні рекомендації  
до виконання практичних завдань**

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції