

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра водопостачання, водовідведення та бурової справи

03-06-116

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять та самостійної роботи
з навчальної дисципліни
«Якісні показники природних та стічних вод»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Водопостачання і
водовідведення» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна
інженерія» всіх форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою
з якості ННІ БА
Протокол №6 від 23.06.2020 р.

Рівне – 2020

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Якісні показники природних та стічних вод» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Водопостачання і водовідведення» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання [Електронне видання] / Квартенко О. М. – Рівне : НУВГП, 2020. – 42 с.

Укладач: Квартенко О. М., д-р.техн.наук, доцент, професор кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Відповідальний за випуск: Мартинов С. Ю., д-р.техн.наук, професор, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Керівник групи забезпечення спеціальності: Бабич Є. М., д-р.техн.наук, професор.

© Квартенко О. М., 2020
© НУВГП, 2020

ЗМІСТ

Вступ	3
1 Тема 1. Розрахунок рН та Eh водного середовища.	4
2 Тема 2. Визначення вмісту вільного, агресивного та рівноважного диоксиду вуглецю у воді. Визначення ступеня агресивності природних та стічних вод.	10
3 Тема 3. Визначення швидкості хімічних та ферментативних реакцій. Визначення питомої швидкості росту біомаси в аеротенку.	15
4 Тема 4. Визначення кратності розбавлення зворотних вод у водотоках	22
5 Тема 5. Розрахунок ГДС забруднюючих речовин у поверхневій водній об'єкті.	25
6 Тема 6. Розрахунок кількості реагентів для видалення із води солей жорсткості	29
7 Самостійна робота	33
7.1. Рекомендовані завдання для самостійної роботи	
7.2. Оформлення звіту про самостійну роботу	
Рекомендована література	35
Додатки	37

ВСТУП

Дисципліна «Якісні показники природних і стічних вод» знайомить студентів із властивостями природних, оборотних та стічних вод, як складних багатокомпонентних систем, які використовуються в різних галузях народного господарства.

Основною метою даних методичних вказівок є ознайомлення студентів з розрахунками деяких основних якісних показників природних та зворотних вод. У процесі виконання практичної роботи здобувач вищої освіти повинен оволодіти вміннями:

- проводити розрахунки величин рН-Eh водного середовища;
- розраховувати концентрації вільного, агресивного та рівноважного диоксиду вуглецю у природних водах;
- визначати ступінь агресивності природних та зворотних вод, а також дози реагентів необхідні для їх стабілізації;
- визначати швидкості хімічних та ферментативних реакцій;

- проводити розрахунки ГДС забруднюючих речовин у поверхневій джерела;
- визначати кратність розбавлення зворотних вод при їх скиді у поверхневій джерела;
- розраховувати кількість реагентів для видалення із води солей жорсткості, визначати іонний склад води.

Тема 1. Розрахунок рН та Eh водного середовища

Розрахунок рН водного середовища. Активну реакцію води визначає її кислотність або лужність. Вода, як і кислоти, солі та луки, частково дисоціює на іони:



Ступінь дисоціації води дуже незначна: з 55,56 молів води, які містяться у 1 дм³, дисоціює лише 10⁻⁷ молей. У хімічно чистій воді концентрація іонів водню дорівнює концентрації гідроксид-іона:

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ моль/дм}^3.$$

При 22°C добуток концентрації цих іонів:

$$k_w = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14}. \quad (1)$$

Цей добуток, який має назву йонного добутку води, зберігає постійне значення і в присутності речовин, які утворюють під час дисоціації йони водню та гідроксид-іони: $k_w = \text{const}$. Це означає, що досить визначити концентрацію одного з іонів (H⁺ або OH⁻), щоб вирахувати кількість іншого.

На практиці знаходять концентрацію іонів водню і позначають її з допомогою **водневого показника рН**, який являє собою від'ємний десятковий логарифм концентрації йонів водню:

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]. \quad (2)$$

Величина рН характеризує стан водного середовища: в нейтральному середовищі $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ моль/дм}^3$, тож рН = 7;

якщо $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$, рН < 7 – середовище кисле;

якщо $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$, 7 < рН < 14 – середовище лужне.

Активна реакція води – один із найважливіших показників її якості, що визначає характер протікання хімічних і біохімічних процесів у природних водах та очисних спорудах. Від рН залежить

розвиток та життєдіяльність водних організмів, форма існування у воді цілого ряду хімічних сполук, корозійна активність води відносно металів та бетону тощо. Значення рН річкової води коливається в межах 6,5...8,5, болотної води – 5,5...6,0, океанської – 7,0...8,3. Величина рН води залежить від сезону: взимку для більшості річкових вод спадає (6,8...7,4), влітку піднімається (7,4...8,2). ДержСанПіН України [12] регламентує рН у межах 6,5...8,5.

Окисно-відновний потенціал (ОВП), який також носить назву редокс-потенціалу (від англійської RedOx - Reduction/Oxidation), характеризує ступінь активності електронів в окислювально-відновних реакціях, тобто реакціях, пов'язаних з приєднанням або передачею електронів [2, 17].

Величина окисно-відновного потенціалу, виражається в мілівольтах і може мати як позитивне, так і негативне значення. У природній воді значення Eh коливається в межах від - 400 до +700 мВ, що визначається всією сукупністю окисних та відновних процесів які відбуваються в ній [17].

В умовах рівноваги значення ОВП певним чином характеризує водне середовище, а його величина дозволяє робити деякі загальні висновки щодо хімічного складу води.

В залежності від величин ОВП природні води класифікуються за різними станами:

1. Окиснювальний. Характеризується величинами $Eh > + (100 - 150)$ мВ, присутністю у воді вільного кисню, а також цілого ряду елементів у вищій формі своєї валентності (Fe^{3+} , Mo^{6+} , As^{5-} , V^{5+} , U^{6+} , Sr^{4+} , Cu^{2+} , Pb^{2+}). Цей стан системи найбільш характерний для поверхневих вод.

2. Перехідний окиснювано-відновний. Визначається величинами Eh від 0 до +100 мВ. Характерний для нестійких геохімічних режимів із змінним вмістом сірководню і кисню. У цих умовах протікає як слабе окиснення, так і слабе відновлення цілого ряду металів.

3. Відновний. Характеризується значеннями $Eh < 0$ мВ та є типовим для підземних вод, де присутні метали низьких ступенів валентності (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Mo^{4+} , V^{4+} , U^{4+}), а також сірководень.

Окислювально-відновний потенціал водного розчину визначається активністю окиснювачів та відновників. Формула для

потенціалу нейтрального (платинового) електрода, який розміщено у розчині, що містить окиснювач і відновник, має вигляд:

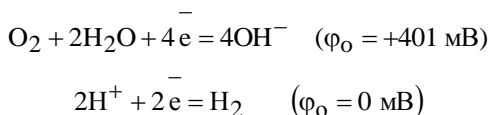
$$E_h = \phi_0 + \frac{59,15}{z} \lg \frac{[ox]}{[red]}, \text{ мВ} \quad (3)$$

де $[ox]$ і $[red]$ – концентрації окисленої та відновленої форм; ϕ_0 – стандартний електродний потенціал (мВ) за реакцією:



z – кількість електронів які передаються за 1 акт окиснення–відновлення.

Окисно-відновний потенціал чистої води визначають із рівноваги:



Із цих рівнянь можливо робити висновок, що вода завжди буде мимовільно розкладатися з утворенням водню і кисню, хоча рівноважний тиск цих газів дуже мало. Воно становить для водню $2 \cdot 10^{-28}$ атм і 10^{-28} атм для кисню [17].

Таким чином, в чистій воді окиснювачем є катіон водню H^+ , який може прийняти електрон, а відновником - аніон гідроксилу OH^- , який може віддати електрон. При рівновазі в нейтральному розчині з величиною $pH = 7$, коли $[H^+] = [OH^-]$ ОВП води, яка не містить розчинені гази, дорівнює нулю.

Якщо у воді розчинені речовини, які є окиснювачами та відновниками, і не взаємодіють з продуктами дисоціації води (іонами H^+ та OH^-), то вираз для окислювально-відновного потенціалу розчину можна записати у вигляді:

$$ОВП = \phi_0 + \frac{59,15}{z} \lg \frac{[ox]}{[red]} - 59,15 \cdot pH \quad (5)$$

Виходячи із стану рівноваги для водню і кисню в чистій воді, залежність від pH потенціалів водневого і кисневого

електродів при тиску газів 1 атм визначається співвідношеннями:

$$\varphi_{H_2} = -59,15 \cdot pH \quad (6)$$

$$\varphi_{O_2} = 1230 - 59,15 \cdot pH \quad (7)$$

У звичайній воді при $pH = 7$ показник ОВП = $(-413) + 1227 = (+814)$ мВ. Це є верхня межа термодинамічної стійкості води при даному значенні pH (рис. 1). Рівняння нейтральності водного розчину можливо записати у вигляді:

$$Eh = 0,817 - 0,059 pH \quad (8)$$

Рекомендована література [2, 3, 4, 7, 17].

Приклади рішення задач.

Задача 1. Визначити концентрацію іонів OH^- , якщо до чистої води, додали кислоту, в результаті чого концентрація іонів H^+ стала $1 \cdot 10^{-5}$ моль/дм³.

Розв'язок.

Виходячи із іонного добутку води, знаходимо:

$$[OH^-] = \frac{K_{H_2O}}{[H^+]} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{1 \cdot 10^{-5}} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ моль/дм}^3$$

Задача 2. Обчислити концентрацію іонів H^+ по концентрації іонів OH^- , яка дорівнює: $7.4 \cdot 10^{-6}$ моль/дм³.

Розв'язок.

$$[H^+] = \frac{K_{H_2O}}{[OH^-]} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{7.4 \cdot 10^{-6}} = \frac{1 \cdot 10^{-8}}{7.4} = 1.35 \cdot 10^{-9} \text{ моль/дм}^3$$

Задача 3. Обчислити pH розчину, якщо концентрація іонів OH^- у розчині $1.8 \cdot 10^{-5}$ моль/дм³.

Розв'язок.

$$[H^+] = \frac{K_{H_2O}}{[OH^-]} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{1.8 \cdot 10^{-5}} = 5.5 \cdot 10^{-10} \text{ моль/дм}^3 ;$$
$$pH = -\lg[H^+]$$

$$\lg[H^+] = -(\lg 5.5 + (-10)) = -\lg 5.5 + 10 = -0.74 + 10 = 9.26,$$

$$pH = 9.26$$

Задача 4. Обчислити рН розчину за концентрацією іонів OH^- яка дорівнює: $1.7 \cdot 10^{-13}$ моль/дм³

Розв'язок.

$$[OH^-] = 1.7 \cdot 10^{-13} \text{ моль/дм}^3$$

$$K_{H_2O} = [H^+] \cdot [OH^-]$$

$$[H^+] = \frac{K_{H_2O}}{[OH^-]} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{1.7 \cdot 10^{-13}} = 0.59 \cdot 10^{-1} = 0.059 \text{ моль/дм}^3$$

$$pH = -\lg 0.059 = 1.23$$

Задача 5. Визначити, при якому значенні Eh водного середовища вода буде мати нейтральні властивості, якщо рН=3.

Розв'язок. Рівняння нейтральності водного розчину:

$$Eh = 0,817 - 0,059 pH$$

$$Eh = 0,817 - 0,059 \cdot 3 = 0,64 \text{ В}$$

Графічне місцезнаходження точки А з визначеними параметрами рН-Eh (рис.1) вказує, що дана точка знаходиться в зоні термічної стабільності води **2а**.

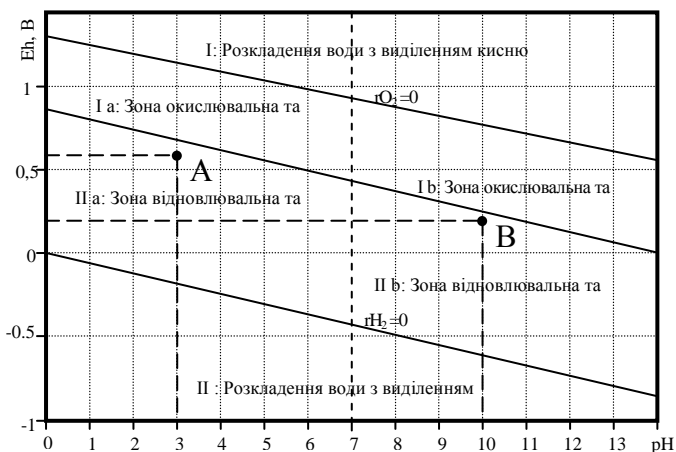


Рис. 1. Діаграма стабільності води (25°C)

Задача 6. Визначити, при якому значенні Eh водного середовища вода буде мати нейтральні властивості, якщо рН=10.

Розв'язок. Рівняння нейтральності водного розчину:

$$Eh = 0,817 - 0,059 pH$$

$$Eh = 0,817 - 0,059 \cdot 10 = 0,227 \text{ В}$$

Графічне місцезнаходження точки **В** з визначеними параметрами рН-Eh (рис.1) вказує, що дана точка знаходиться в зоні термічної стабільності води **2б**.

Вода термічно стабільна в зонах 1а, 1б, 2а, 2б (Рис. 1). В цих зонах тільки досить сильні окисники або відновники реагують з водою з великою швидкістю.

Задача 7. Обчислити рН 10^{-5} М розчину азотної кислоти.

Розв'язок. Так як $C_{HNO_3} < 10^{-4}M$, при розрахунку рН слід враховувати дисоціацію води і для розрахунку використовувати вирази:

$$[H^+] = [HNO_3] + K_w [OH^-];$$

$$[H^+] = (10^{-5} + \sqrt{10^{-10} + 4 \cdot 10^{-14}}) / 2 = 1.01 \cdot 10^{-5} \text{ моль/дм}^3;$$

$$pH = -\lg 1.01 \cdot 10^{-5} = 4.99$$

Задачі для самостійного опрацювання

Задача 1. Обчислити рН розчину, якщо концентрація іонів водню дорівнює $4 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³.

Задача 2. Обчислити концентрацію іонів Н⁺ і ОН⁻ у розчині, рН якого дорівнює: 3,5

Задача 3. Обчислити рН розчину, якщо концентрація гідроксид іонів дорівнює $7 \cdot 10^{-8}$ моль/дм³

Задача 4. Обчислити рН розчину за концентрацією іонів Н⁺, яка дорівнює: $1.2 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³

Задача 5. Обчислити рН розчину за концентрацією іонів Н⁺, яка дорівнює: 0.001 моль/дм³

Задача 6. Обчислити рН розчину за концентрацією іонів ОН⁻, яка дорівнює: $2.4 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³

Задача 7. Обчислити концентрацію іонів Н⁺ і ОН⁻ у розчині, рН якого дорівнює: 4,5.

Задача 8. Обчислити концентрацію іонів H^+ і OH^- у розчині, рН якого дорівнює: 8.

Задача 9. Обчислити концентрацію іонів H^+ по концентрації іонів OH^- , яка дорівнює: $7.4 \cdot 10^{-6}$ моль/дм³;

Задача 10. Обчислити рН розчину, якщо концентрація іонів водню дорівнює $4 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³

Задача 11. Обчислити 0.5 М вугільної кислоти. Константа дисоціації вугільної кислоти $K=3 \cdot 10^{-7}$.

Задача 12. Визначити 0.5 н розчину гідроксиду заліза. Константа дисоціації гідроксиду заліза $K=1.82 \cdot 10^{-11}$.

Задача 13. Визначити, при якому значенні E_h водного середовища вода буде мати нейтральні властивості, якщо рН=5,5

Задача 14. Визначити, при якому значенні E_h водного середовища вода буде мати нейтральні властивості, якщо рН=3,5 .

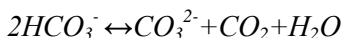
Тема 2. Визначення вмісту вільного, агресивного та рівноважного діоксиду вуглецю у воді. Визначення ступеня агресивності природних та стічних вод.

Для підтримання в розчині визначеної концентрації гідрокарбонатних іонів необхідно, щоб в ньому знаходилась певна кількість вільної вуглекислоти (рівноважна вуглекислота) що відповідає заданій концентрації [2, 3]. Якщо вуглекислота, яка знаходиться у воді, перевищує рівноважну концентрацію, то надлишок CO_2 вступає в реакцію з металом, викликаючи корозію з твердим карбонатом кальцію та розчинення захисної карбонатної плівки на трубах по реакції:



1) Визначаємо вміст вільного діоксиду вуглецю у воді

Між різними формами вугільної кислоти існує динамічна рівновага:



Концентрація агресивної вуглекислоти визначається за формулою:

$$[CO_2]_{agr.} = [CO_2]_{вільна} - [CO_2]_{рівновж.}, \text{ мг/дм}^3$$

3 номограми (додаток 1) визначають вміст у воді вільної вуглекислоти за вихідними параметрами води, яка буде проходити стабілізаційну обробку. 3 номограми (додаток 2) визначають значення величини параметра А, використовуючи параметри солемісту. За номограмою (додаток 3). визначають рівноважну концентрацію вуглекислоти.

2) Необхідність стабілізаційної обробки води визначаємо за індексом Ланжельє:

$$I_L = pH - pHs, \quad (9)$$

де pH – водневий показник води, яка досліджується; pHs - водневий показник, при якому вода з концентраціями іонів кальцію і гідрокарбонатів при даній температурі води і загальному вмісті солі є стабільною, визначаємо за формулою:

$$pHs = f(t) - f(Ca^{2+}) - f(J) + f(P), \quad (10)$$

де $f(t)$ – функція температури води; $f(Ca^{2+})$ – функція концентрації в воді іонів кальцію, приймаємо $f(J)$ – функція лужності води; $f(P)$ – функція солемісту води (додаток 4).

Якщо $I_L < 0$ – вода корозійна; $I_L > 0$ – вода схильна до карбонатних відкладень; $I_L \approx 0$ – вода стабільна [7, 13, 18].

Необхідність стабілізаційної обробки води визначають також за методом Різнера:

$$I_R = 2pHs - pH, \quad (11)$$

Якщо $I_R = 6...7$ – вода стабільна; $I_R > 7$ – вода агресивна; $I_R < 6$ – вода схильна до карбонатних відкладень. Якщо вода у джерелі водопостачання є агресивною і корозійною вона потребує стабілізаційну обробку.

Згідно [7, 15, 18] для стабілізації води використовуємо вапно $NaOH$ ($CaOH$).

3). Визначають необхідну кількість реагентів для стабілізації води:

$$D_B = e \cdot \beta_B \cdot K_T \cdot L \cdot 100 / p \quad (\text{мг} / \text{дм}^3), \text{мг} / \text{дм}^3 \quad (12)$$

де β_e – коефіцієнт, який залежить від pH і індексу стабільності води [15, 18], e – еквівалентна вага луку: для $NaOH$ 40 мг/мг-екв; для Na_2CO_3 53 мг/мг-екв; для $Ca(OH)_2$ 28 мг/мг-екв (в перерахунку на CaO); p – вміст активної речовини в технологічному продукті,

%; K_m - коефіцієнт, який залежить від температури, приймаємо $K_m = 1,0$.

Рекомендована література [2, 3, 7, 13, 15, 16, 18].

Приклади рішення задач.

Задача 8. Визначити кількість вільного диоксиду вуглецю у підземних слабокислих водах (рН 6,7) із величиною загальної лужності 4,0 ммоль/дм³, солевмістом 450 мг/дм³, температурою 10 °С.

Розв'язок. Концентрацію вільного диоксиду вуглецю у вихідній воді знаходять за номограмою рис. 2 (за величинами рН води та її лужності). Номограму складено для температури води 25 °С та солевмісту 20 мг/дм³. Кількість вільного диоксиду вуглецю $C_{\text{поч}}$ для інших значень температури та солевмісту визначається за формулою:

$$C_{\text{поч}} = C_{\text{ном}} \cdot \alpha \cdot \beta \quad (13)$$

де $C_{\text{ном}}$ – вміст диоксиду вуглецю за номограмою рис. 2; α – поправка на температуру (табл. 1); β – поправка на солевміст (табл. 2).

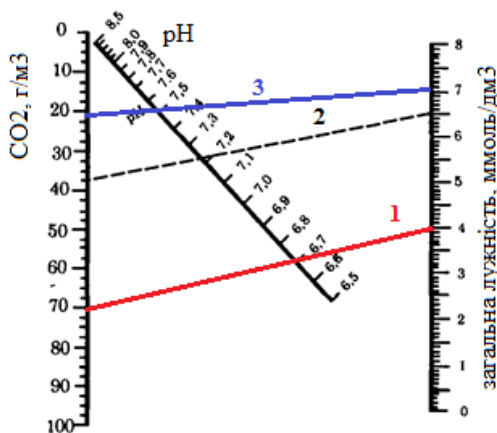


Рис. 2. Номограма для визначення вмісту у воді вільного диоксиду вуглецю: 1 – рН 6,7; Л 4,0 ммоль/дм³; 2 – рН 7,2; Л 6,5 ммоль/дм³; 3 – рН 7,5; Л 7,15 ммоль/дм³

Таблиця 1

Поправка на температуру α [18]

Температура води, °С	0	5	10	15	20	25
α	1,65	1,44	1,29	1,16	1,06	1,0

Таблиця 2

Поправка на солевміст β [18]

Загальний солевміст, мг/дм ³	20	50	100	200	300	400	500
β	1	0,97	0,94	0,9	0,88	0,86	0,84

Кількість вільного діоксиду вуглецю $C_{\text{поч}}$ для підземних вод із солевмістом 450 мг/дм³ та температурою 10 °С становить:

$$C_{\text{поч}} = C_{\text{ном}} \cdot \alpha \cdot \beta = 70 \cdot 1,29 \cdot 0,85 = 76,75 \text{ мг / дм}^3$$

Задача 9. Визначити вміст вільного, агресивного та рівноважного діоксиду вуглецю у підземних слабокислих (рН 6,5) водах із низькими (Л 2,0 ммоль/дм³) лужним резервом, загальним солевмістом (Р 650 мг/дм³), температурою 10 °С, концентрації катіонів Са²⁺ 80 мг/дм³.

Розв'язок. З номограми (додаток 1) визначають вміст у воді вільної вуглекислоти за вихідними параметрами води (рН, лужність, солевміст), який становить 100 мг/дм³.

З номограми (додаток 2) визначають значення величини параметра $A = 0,5$, використовуючи параметри солевмісту $P=650$ мг/дм³, температури $T=10$ °С та концентрації катіонів кальцію 80 мг/дм³.

За номограмою (додаток 3) визначають вміст: рівноважного $\text{CO}_2(\text{рівн}) = 20$ мг/дм³, та агресивного $\text{CO}_2(\text{агр}) = 80$ мг/дм³ діоксиду вуглецю.

Задача 10. За умовою попередньої задачі визначити ступінь агресивності підземних вод до металу та бетону.

Розв'язок. Величину індексу pH_s визначають за формулою (10), використовуючи дані (додаток 4) $f(t) = 2,32$; $f(\text{Ca}^{2+}) = 1,85$; $f(L) = 1,3$ $f(P) = 8,89$:

$$pH_s = f(t) - f(\text{Ca}^{2+}) - f(\text{Л}) + f(\text{P}) = 2,32 - 1,85 - 1,3 + 8,89 = 8,06$$

Величина *індексу Ланжельє*:

$$I_L = pH - pH_s = 6,5 - 8,06 = -1,56$$

Висновок: досліджені слабокислі підземні води із низьким лужним резервом слід віднести до вод із дуже високим ступенем корозії. Для запобігання повторного забруднення при транспортуванні по водопровідним мережам необхідно проводити їх стабілізаційну обробку.

Задача 11. Визначають необхідну кількість реагентів для стабілізаційної обробки води із параметрами якості з наведених вище задач.

Дозу вапна для стабілізації води визначають за формулою:

$$D_B = 28 \cdot \beta_B \cdot K_T \cdot \text{Л} \cdot 100 / 96 = 28 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 2,0 \cdot 1,04 = 40,8 \text{ мг/дм}^3$$

Висновок: для проведення стабілізаційної обробки води необхідно використати освітлений розчин вапна дозою 40,8 мг/дм³

Задачі для самостійного розв'язку.

1. Визначити кількість вільного диоксиду вуглецю у підземних білянейтральних водах (рН 7,2) із величиною загальної лужності 6,5 ммоль/дм³, солевмістом 350 мг/дм³, температурою 8 °С.
2. Визначити кількість вільного диоксиду вуглецю у підземних нейтральних водах (рН 7,5) із величиною загальної лужності 7,15 ммоль/дм³, солевмістом 400 мг/дм³, температурою 12 °С.
3. Визначити кількість вільного диоксиду вуглецю у підземних слабокислих водах (рН 6,5) із величиною загальної лужності 3,0 ммоль/дм³, солевмістом 500 мг/дм³, температурою 10 °С.
4. Визначити вміст вільного, агресивного та рівноважного диоксиду вуглецю у підземних слабокислих (рН 6,0) водах із низькими (Л 2,5 ммоль/дм³) лужним резервом, загальним солевмістом (Р 450 мг/дм³), температурою 12 °С, концентрації катіонів Са²⁺ 50 мг/дм³.
5. Визначити вміст вільного, агресивного та рівноважного диоксиду вуглецю у підземних слабокислих (рН 7,5) водах із середнім (Л 4,5 ммоль/дм³) лужним резервом, загальним

солевмістом (Р 450 мг/дм³), температурою 10 °С, концентрації катіонів Са²⁺ 100 мг/дм³.

6. Визначити вміст вільного, агресивного та рівноважного диоксиду вуглецю у підземних слабокислих (рН 7,3) водах із середнім (Л 5,0 ммоль/дм³) лужним резервом, загальним солевмістом (Р 350 мг/дм³), температурою 15 °С, концентрації катіонів Са²⁺ 30 мг/дм³.

7. За умовами попередніх задач визначити ступінь агресивності підземних вод до металу та бетону.

8. Визначають необхідну кількість реагентів для стабілізаційної обробки води із параметрами якості з наведених вище задач.

9. Розрахувати індекс Ланжелє для вод рН 7,2; Л 6,5 ммоль/дм³; солевмісту 350 мг/дм³; катіонів Са²⁺ 120 мг/дм³, температурі 10 °С.

Тема 3. Визначення швидкості хімічних та ферментативних реакцій. Визначення питомої швидкості росту біомаси в аеротенку

Питання про швидкість хімічних та ферментативних реакцій має велике теоретичне і практичне значення [1, 6, 14]. Від швидкості реакції у різних технологічних процесах залежить продуктивність і габарити апаратури, перебіг хімічних процесів. Швидкість хімічної реакції визначається кількістю речовини, що прореагувала за одиницю часу в одиниці реакційного простору R та є кінетичним критерієм реакційної здатності системи.

Визначення швидкості хімічних реакцій. Швидкість хімічної реакції завжди додатня величина і має однакове значення для даної реакції незалежно від того, через зміну концентрації якого реагента вона представлена [3, 4]. Якщо швидкість гомогенної реакції представити виразом:

$$U_i = \pm \frac{dc_i}{dt}, \quad (14)$$

у формулі знак «+» буде тоді, коли швидкість реакції визначають за зміною концентрації продукту реакції (його концентрація в часі зростає і $dc > 0$), а знак «-» - якщо швидкість визначають за зміною

концентрації початкової речовини (її концентрація в часі зменшується, $dC < 0$), тобто:

$$U_i = -\frac{dC_{\text{вих}}}{dt} = +\frac{dC_{\text{прод}}}{dt}. \quad (15)$$

На швидкість гомогенних реакцій впливають природа реагуючих речовин, концентрація реагентів, температура, тиск, природа розчинника, наявність каталізатора. Швидкість гетерогенних реакцій значною мірою залежить від поверхні поділу фаз, дифузії речовин до поверхні (дифузійний режим), а якщо дифузія не впливає на швидкість реакції (кінетичний режим), то при збільшенні поверхні розподілу зростає швидкість гетерогенної хімічної реакції [4].

Залежність швидкості реакції від концентрації визначається законом діючих мас (закон Гульдберга - Вааре): якщо хімічна реакція проходить у відповідності до стехіометричного рівняння, то швидкість реакції прямо пропорційна добутку концентрації реагуючих речовин у степенях, що дорівнюють стехіометричним коефіцієнтам у рівнянні реакції. Для реакції, яка має загальний вигляд:



швидкість реакції у відповідності із законом діючих мас можна записати:

$$U = \frac{dC}{dt} = kC_A^a \cdot C_B^b \quad (17)$$

де k – константа швидкості реакції; C – молярні концентрації реагуючих речовин в даний момент часу; a, b – стехіометричні коефіцієнти при реагуючих речовинах.

Чисельно константа швидкості хімічної реакції дорівнює швидкості реакції при концентраціях реагуючих речовин 1 моль/дм³.

Закон діючих мас справедливий для простих реакцій, які відбуваються в газах або розчинах.

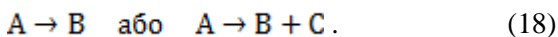
Для складних гомогенних реакцій закон є справедливим для кожної окремої стадії, але не для усєї реакції в цілому. Швидкість складних реакцій визначається найповільнішою стадією. У

складних гетерогенних процесах закон діючих мас справедливий лише тоді, коли найповільнішою стадією є сама хімічна реакція. Усі хімічні реакції розрізняють за молекулярністю та порядком.

За механізмом протікання розрізняють реакції: одномолекулярні, двомолекулярні та тримолекулярні.

Молекулярність реакції визначають кількістю молекул, що беруть участь в елементарному акті хімічної взаємодії (хімічного перетворення).

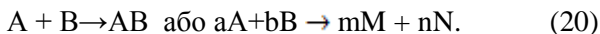
Мономолекулярні – це реакції, в елементарному акті яких бере участь тільки одна молекула (реакції дисоціації, ізомерації, розкладу).



Для них швидкість реакції:

$$U = k' \cdot C_A. \quad (19)$$

Бімолекулярні – це реакції, елементарний акт яких здійснюється при зіткненні двох молекул (реакції сполучення та обміну).



Для них швидкість реакції визначається концентраціями обох реагуючих речовин.

$$U = k'' C_A \cdot C_B. \quad (21)$$

В тримолекулярних реакціях елементарний акт здійснюється при зіткненні трьох молекул. $A + B + C \rightarrow$ продукти реакції:

$$U = k''' C_A \cdot C_B \cdot C_C. \quad (22)$$

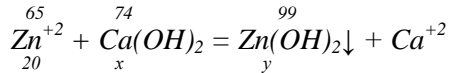
Порядок реакції визначається за виглядом рівняння, що виражає залежність швидкості реакції від концентрації реагуючих речовин.

Рекомендована література [1-2, 4, 6, 14].

Приклади рішення задач.

Задача 12. Визначити дозу вапняного молока для осаджування іонів цинку з розчину, де їх концентрація становить 20 мг/дм³. Активність товарного продукту 25%. Визначити кількість осаду, який утвориться при осаджуванні.

Розв'язок. Запишемо рівняння осаджування іонів цинку гідроксидом кальцію:



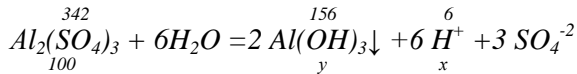
Цифри над рівнянням означають молекулярну масу цинку (65), гідроксиду кальцію (74) та гідроксиду цинку (99), під рівнянням – робочу концентрацію цинку (20). Відповідно до стехіометричного рівняння отримаємо:

- потрібна кількість реагенту: $x = 74 \times 20/65 = 22,8$ мг/дм³,
враховуючи, що активна частина реагенту становить 25%,
доза товарного вапна $X = 22,8/0,25 = 91,2$ мг/дм³.

кількість осаду, який утвориться, мг/дм³:
 $y = 99 \times 20/65 = 30,5$ мг/дм³.

Задача 13. Визначити дозу соди для нейтралізації кислоти, яка утвориться при введенні коагулянту глинозему дозою 100 мг/дм³. Визначити кількість осаду, який утвориться при коагуляції води.

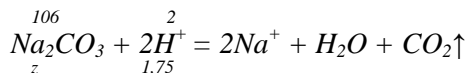
Розв'язок. Рівняння гідролізу коагулянту:



Кількість надлишкових іонів водню, які будуть створювати кислу реакцію, мг/дм³: $x = 100 \times 6 / 342 = 1,75$,

кількість осаду, мг/дм³: $y = 100 \times 156 / 342 = 44,75$.

Рівняння нейтралізації іонів водню содою:



Потрібна кількість соди: $z = 106 \times 1,75/2 = 92,75$ мг/дм³.

Визначення швидкості ферментативних реакцій [1, 6, 14].
 Швидкість ферментативної реакції, визначена через утворення кінцевого продукту (комплексу ES фермент-субстрат), дорівнює:

$$v = -\frac{d[ES]}{d\tau} = K_m[ES] \quad (23)$$

або, враховуючи концентрації діючих речовин ферменту E та субстрату S :

$$v = \frac{K_m[E_0][S]}{K_m + [S]} \quad (24)$$

Рівняння (24) є рівнянням *Міхаеліса-Ментен*. Коефіцієнт K_m називається *константою насичення*.

Ввівши поняття максимальної швидкості ферментативної реакції v_{max} , запишемо рівняння (24) у вигляді:

$$v = v_{max} \cdot \frac{[S]}{K_m + [S]} \quad (25)$$

При $v/v_{max}=0,5 \rightarrow K_m=[S]$. Це свідчить, що *константа насичення* кількісно дорівнює концентрації субстрату, при якій швидкість ферментативної реакції становить половину максимальної швидкості.

Швидкість росту біомаси dx/dt пропорційна концентрації x біомаси:

$$dx/d\tau = \mu x; \quad (26)$$

де μ - питома швидкість росту біомаси.

Тоді для фази логарифмічного росту при $\mu=const$ після інтегрування рівняння (7.4) отримуємо рівняння:

$$\ln x = \ln x_0 + \mu \tau \quad (27)$$

$$\text{або} \quad x = x_0 e^{\mu \tau} \quad (28)$$

де x_0 - концентрація біомаси в момент $\tau=0$ на початку логарифмічної фази.

Залежність питомої швидкості росту від концентрації субстрату описується *моделлю Моно*:

$$\mu = \mu_{\max} \frac{s}{K_s + s}; \quad (29)$$

де K_s - константа насичення і μ_{\max} - максимальна питома швидкість росту біомаси. Структурно рівняння аналогічне рівнянню Міхаеліса-Ментен.

Якщо для росту *періодичної культури* обмеженням є лише початкова концентрація субстрату і реалізується ріст в закритій системі, то математична модель процесу може бути сформована очевидними рівняннями:

$$\begin{aligned} dx / d\tau &= \mu x; \\ \mu &= \mu_{\max} \frac{s}{s + K_s}; \\ x - x_0 &= Y(s_0 - s); \end{aligned} \quad (30)$$

де x_0 , x - початкова та поточна концентрація біомаси в процесі; s_0 , s - відповідно початкова та поточна концентрація субстрату; Y - економічний коефіцієнт (вихід біомаси).

Економічний коефіцієнт виходу біомаси визначається з рівняння:

$$Y = \frac{\Delta x}{\Delta s}, \quad (31)$$

в якому Δx - збільшення біомаси завдяки споживанню субстрату в кількості Δs .

Рекомендована література [1-2, 4,16,19].

Приклади рішення задач.

Задача 14. Визначити економічний коефіцієнт біохімічного процесу, якщо доза активного мулу зросла з 1,8 г/дм³ до 2,1 г/дм³, а концентрація субстрату за БПК зменшилась з 350 мг/дм³ до 50 мг/ дм³.

Розв'язок. Приріст біомаси в процесі дорівнює:

$x - x_0 = 2,1 - 1,8 = 0,21$ (г/дм³), а зменшення концентрації субстрату $s_0 - s = 350 - 50 = 300$ (мг/дм³) = 0,3 г/дм³.

Економічний коефіцієнт виходу біомаси дорівнює:

$$Y = 0,21/0,3 = 0,7.$$

Задача 15. Визначити максимальну швидкість ферментативної реакції, якщо її швидкість при концентрації субстрату, яка кількісно дорівнює значенню константи насичення, становить 0,1 моль/хв.

Розв'язок. Виходячи з визначення константи насичення, за формулою (7.3) максимальна швидкість становить:

$$v_{\max} = v \cdot 2 \frac{[S]}{[S]} = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ моль/хв.}$$

Задача 16. Визначити питому швидкість росту біомаси в аеротенку, якщо за 5 годин аерації концентрація біомаси (доза мулу) збільшується з 1,5 г/дм³ до 2,7 г/дм³.

Розв'язок. За формулою (7.5) питома швидкість росту біомаси становить:

$$\mu = \frac{\ln 2,7 - \ln 1,5}{5} = 0,117 \text{ год}^{-1}$$

Задача 17. Визначити максимальну питому швидкість v_{\max} споживання субстрату та константу K_m насичення, якщо при концентрації субстрату $S_1=120$ мг/дм³ питома швидкість споживання субстрату v_1 становить 0,05 год⁻¹, а при концентрації субстрату $S_2=280$ мг/дм³ питома швидкість споживання субстрату v_2 становить 0,07 год⁻¹.

Розв'язок. За формулою (7.3) запишемо рівняння для питомої швидкості споживання субстрату у двох випадках:

$$0,05 = v_{\max} \times \frac{0,120}{K_m + 0,120}$$

$$0,07 = v_{\max} \times \frac{0,280}{K_m + 0,280}$$

Розв'язуючи цю систему рівнянь, отримаємо: $K_m=0,120$ (г/дм³), $v_{\max}=0,1 \text{ год}^{-1}$.

Задачі для самостійного розв'язку.

1. Визначити дозу вапняного молока для осаджування іонів хрому з розчину, де їх концентрація становить 50 мг/дм³. Активність товарного продукту 55%. Визначити кількість осаду, який утвориться при осаджуванні.

2. Визначити дозу вапняного молока для осаджування іонів нікелю з розчину, де їх концентрація становить 100 мг/дм³. Активність

товарного продукту 35%. Визначити кількість осаду, який утвориться при осаджуванні.

3. Визначити дозу соди для нейтралізації кислоти, яка утвориться при введенні коагулянту глинозему дозою 50 мг/дм^3 . Визначити кількість осаду, який утвориться при коагуляції води.

4. Визначити дозу соди для нейтралізації кислоти, яка утвориться при введенні коагулянту глинозему дозою 150 мг/дм^3 . Визначити кількість осаду, який утвориться при коагуляції води.

5. Визначити економічний коефіцієнт біохімічного процесу, якщо доза активного мулу зросла з $1,3 \text{ г/дм}^3$ до $1,8 \text{ г/дм}^3$, а концентрація субстрату за БПК зменшилась з 150 мг/дм^3 до 30 мг/дм^3 .

6. Визначити економічний коефіцієнт біохімічного процесу, якщо доза активного мулу зросла з $2,8 \text{ г/дм}^3$ до $3,5 \text{ г/дм}^3$, а концентрація субстрату за БПК зменшилась з 450 мг/дм^3 до 80 мг/дм^3 .

7. Визначити максимальну швидкість ферментативної реакції, якщо її швидкість при концентрації субстрату, яка кількісно дорівнює значенню константи насичення, становить $0,5 \text{ моль/хв}$.

8. Визначити питому швидкість росту біомаси в аеротенку, якщо за 5 годин аерації концентрація біомаси (доза мулу) збільшується з $2,5 \text{ г/дм}^3$ до $4,7 \text{ г/дм}^3$.

9. Визначити питому швидкість росту біомаси в аеротенку, якщо за 7 годин аерації концентрація біомаси (доза мулу) збільшується з $1,0 \text{ г/дм}^3$ до $1,7 \text{ г/дм}^3$.

10. Визначити максимальну питому швидкість v_{max} споживання субстрату та константу K_m насичення, якщо при концентрації субстрату $S_1=100 \text{ мг/дм}^3$ питома швидкість споживання субстрату v_1 становить $0,05 \text{ год}^{-1}$, а при концентрації субстрату $S_2=180 \text{ мг/дм}^3$ питома швидкість споживання субстрату v_2 становить $0,09 \text{ год}^{-1}$.

Тема 4. Визначення кратності розбавлення зворотних вод у водотоках

Умови скиду стічних вод у водні об'єкти визначається з врахуванням:

а) ступеня можливого змішування та розбавлення стічних вод з водою водоймища на шляху від місця водовипуску до розрахункового створу;

б) якості води водоймища вище пункту створу водовипуску.

У контрольному створі склад та властивості води повинні відповідати нормативам. На водотоці наступний пункт водокористування повинен знаходитися в одному кілометрі за течією від контрольного створу.

На протязі року витрати води у річці змінюються. У період великих витрат кратність розбавлення зростає, а відстань до контрольного створу зменшується і навпаки із зменшенням витрат відстань збільшується [2, 3, 5, 13].

Найбільш несприятливі умови складаються в період мінімальних витрат в дуже маловодний рік.

Кратність розбавлення n_i знаходиться за формулою:

$$n_i = \frac{\lambda \cdot Q_{95\%} + q_{св}}{q_{св}} \quad (32)$$

$Q_{95\%}$ - найменша середньомісячна витрата води у річці у дуже маловодний рік 95% забезпеченості, м³/с;

$q_{св}$ - втрата стічних вод від населеного пункту, або промислового підприємства у даному розрахунковому створі, м³/с;

λ - коефіцієнт змішування:

$$\lambda = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{L_p}}}{1 + \frac{Q_{95\%}}{q_{св}} \cdot e^{-\alpha \sqrt[3]{L_p}}} \quad (33)$$

де L_p - відстань до розрахункового створу, м (по завданню);
 $q_{св}$ - створи скиду стічних вод від населеного пункту; α - коефіцієнт, який враховує вплив гідравлічних факторів:

$$\alpha = \varphi \xi^3 \sqrt[3]{\frac{V_p \cdot h_p}{200 \cdot q_{св}^n}} \quad (33)$$

де φ - коефіцієнт звивистості ріки визначається як відношення довжини річки (L) до довжини по прямій вимірянній на плані; ξ - коефіцієнт, який залежить від місця випуску стічних вод:

для берегового випуску $\xi=1$; для руслового випуску $\xi=1,5$;
 V_p, h_p - середня швидкість та глибина річки;
 Рекомендована література [2, 3, 5, 7, 13, 16].

Приклад рішення задачі.

Задача 18.

Розрахувати кратність розбавлення стічних вод від міста (витратою $q_{cv} 1,5 \text{ м}^3/\text{сек}$) у річці з найменшою середньомісячною витратою води у рік 95% забезпеченості ($Q_{95\%} 5,5 \text{ м}^3/\text{сек}$), при $R_{ГДК} 0,75$, при середній швидкості та глибині річки в розрахунковому створі відповідно $V_p 2,7 \text{ м/сек}$, $h_p 4,0 \text{ м}$. Відстань до розрахункового створу $L_p 1500\text{м}$, коефіцієнт звивистості річки 1,05, тип водовипуску береговий.

Розв'язок.

1. Визначається коефіцієнт який враховує вплив гідравлічних факторів:

$$\alpha = \varphi \xi \sqrt[3]{\frac{V_p \cdot h_p}{200 \cdot q_{cv}^n}} = 1,05 \cdot 1,0 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,7 \cdot 4,0}{200 \cdot 1,5}} = 0,35$$

2. Коефіцієнт змішування:

$$\lambda = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{L_p}}}{1 + \frac{Q_{95\%}}{q_{cv}} \cdot e^{-\alpha \sqrt[3]{L_p}}} = \frac{1 - e^{-0,35 \sqrt[3]{1500}}}{1 + \frac{5,5}{1,5} \cdot e^{-0,35 \cdot \sqrt[3]{1500}}} = 0,917 \cdot$$

3. Кратність розбавлення n_i :

$$n_i = \frac{\lambda \cdot Q_{95\%} + q_{cv}}{q_{cv}} = \frac{0,917 \cdot 5,5 + 1,5}{1,5} = 4,36$$

Кратність розбавлення очищених стоків від міста у водотоці складає 4,36.

Задачі для самостійного розв'язку.

1. Розрахувати кратність розбавлення стічних вод від міста (витратою $q_{\text{св}} 2,5 \text{ м}^3/\text{сек}$) у річці з найменшою середньомісячною витратою води у рік 95% забезпеченості ($Q_{95\%} 9,5 \text{ м}^3/\text{сек}$), при $R_{\text{ГДК}} 0,75$ при середній швидкості та глибині річки в розрахунковому створі відповідно $V_p 3,7 \text{ м/сек}$, $h_p 3,0 \text{ м}$. Відстань до розрахункового створу $L_p 1300\text{м}$, коефіцієнт звивистості річки 1,03 тип водовипуску береговий.
2. Розрахувати кратність розбавлення стічних вод від міста (витратою $q_{\text{св}} 3,5 \text{ м}^3/\text{сек}$) у річці з найменшою середньомісячною витратою води у рік 95% забезпеченості ($Q_{95\%} 10,5 \text{ м}^3/\text{сек}$), при $R_{\text{ГДК}} 0,75$ при середній швидкості та глибині річки в розрахунковому створі відповідно $V_p 1,7 \text{ м/сек}$, $h_p 3,5 \text{ м}$. Відстань до розрахункового створу $L_p 1000\text{м}$, коефіцієнт звивистості річки 1,1 тип водовипуску береговий.
3. Розрахувати кратність розбавлення стічних вод від міста (витратою $q_{\text{св}} 1,5 \text{ м}^3/\text{сек}$) у річці з найменшою середньомісячною витратою води у рік 95% забезпеченості ($Q_{95\%} 7,5 \text{ м}^3/\text{сек}$), при $R_{\text{ГДК}} 0,75$ при середній швидкості та глибині річки в розрахунковому створі відповідно $V_p 4,7 \text{ м/сек}$, $h_p 5,0 \text{ м}$. Відстань до розрахункового створу $L_p 1500\text{м}$, коефіцієнт звивистості річки 1,15, тип водовипуску береговий.

Тема 5. Розрахунок ГДС забруднюючих речовин у поверхневі водні об'єкти.

Гранично допустимі концентрації та норми вмісту речовин у водоймах регламентується відповідними правилами та нормами [5, 8 – 12]. Загальні вимоги до складу води водойм та водотоків у місцях господарсько-питного, комунального побутового та рибогосподарського водокористування наведені у додатку 5 [5], ГДК нормативних речовин у воді водних об'єктів у додатку 2 [5].

Допустима концентрація завислих речовин у зворотних водах:

$$C_{\text{ГДС}} = n \cdot C_{\text{ГДП}} + C_{\text{ф}} \quad (34)$$

де $C_{ГДП}$ - допустиме збільшення концентрації завислих речовин у річковій воді для водойм відповідної категорії водокористування (Додаток 5).

Перед випуском зворотних вод у водойму необхідно перевірити їх на необхідність очищення від надлишкових забруднень:

$$C_{над} = C_{вих} - C_{ГДС} \quad (35)$$

де $C_{вих}$ – вихідна концентрація забруднюваних величин у зворотних водах, мг/л

Допустима концентрація нафтопродуктів у зворотних водах становить

$$C_{ГДС} = n \cdot (C_{ГДК} - C_{\phi}) + C_{\phi} \quad (36)$$

де $C_{ГДК}$ – гранично допустима концентрація нафтопродуктів у річковій воді (Додаток 5).

Перевіряємо за (35) необхідність видалення надлишкових концентрацій нафтопродуктів із скидних зворотних вод.

Перевіряємо можливість випуску зворотних вод у водойму за вмістом органічних речовин з умови дотримання нормативного дотримання вмісту розчиненого кисню у воді за умови [5]:

$$C_{ГДС}^{БПКзал} \geq C_{ГДС}^{ск} \quad (37)$$

де $C_{ГДС}^{БПКзал}$ – можливе залишкове значення БПК_{повн} яке може бути скинуто до водоймища; $C_{ГДС}^{ск}$ – значення БПК_{повн} у скидних водах з умови дотримання нормативного вмісту розчиненого кисню у воді водойми.

$$C_{ГДС}^{ск} = \frac{Q}{0,4 \cdot q} (O_{\phi} - 0,4 \cdot C_{\phi} - O_{ГДВ}) - \frac{O_{ГДВ}}{0,4} \quad (38)$$

Q, q – витрати річкової та зворотних вод в однакових одиницях виміру;

O_{ϕ} - фоновий вміст розчиненого кисню у поверхневих водах до місця випуску зворотних вод, г $O_2/м^3$; C_{ϕ} – БПК_{повн}

поверхневих вод до місця випуску зворотних вод, $\geq O_2/m^3$; $O_{ГДВ}$ – найменший допустимий вміст розчинного кисню, який повинен залишатися у воді водного об'єкта, $\geq O_2/m^3$; 0,4 – коефіцієнт для перерахунку БПК_{повн}.

Допустима БПК_{повн} зворотних вод становить [5]:

$$C_{ГДС}^{БПКзал} = n \cdot [(C_{ГДК} - C_{ОД})e^{k_1 t} - C_{\phi}] + C_{\phi} \quad (39)$$

n – кратність розбавлення зворотних вод у розрахунковому створі;
 k_1 – усереднене значення коефіцієнта не консервативності органічних речовин, які обумовлюють БПК_{повн} фону та зворотних вод, $дiб^{-1}$; $C_{ОД}$ – БПК_{повн} обумовлена метаболітами та органічними речовинами, що змиваються у водотік атмосферними опадами з площі водозбору на останній ділянці шляху перед контрольним створом довжиною 0,5 добового пробігу [5, 6, 14].

Величину $C_{ОД}$ приймається ($\geq O_2/m^3$) для гірських річок – 0,6...0,8; для рівнинних річок, що протікають по території, ґрунти якої не дуже багаті на органічні речовини – 1,7...2; для річок болотного живлення 2,3...2,5. Якщо відстань від випуску зворотних вод до контрольного створу менша за 0,5 добового пробігу, то $C_{ОД} = 0$.

Тривалість переміщення води від місця випуску зворотних вод до розрахункового створу [5]

$$t = \frac{L}{86400 \cdot v_{ср}} \quad (40)$$

де L – відстань до розрахункового створу, м; $v_{ср}$ – середня швидкість руху води у водотоку, м/с

$$k_1 = \frac{1}{t} \ln \frac{L_0^3 + (n-1)L_0^p}{L_0^3 - L_t^3 + (n-1)(L_0^p - L_t^p)} \quad (41)$$

де $L_0^p, L_t^p, L_0^3, L_t^3$ – відповідно БПК_{повн} та БПК₅ річкової і зворотних вод, мг O_2/l ; $t = 5дiб$.

Для перерахунку отриманого значення $k_{1(20^{\circ})}$ у значення $k_{1(2^{\circ})}$, що відповідає зимовому режиму:

$$k_{1(T)} = k_{1(20^{\circ})} \cdot 1,047^{T-20^{\circ}} \quad (42)$$

Рекомендована література [2, 5, 8 - 12].

Задачі для самостійного розв'язку.

1. Визначити допустиму концентрацію завислих речовин у зворотних водах, якщо: фонові концентрації завислих речовин 125 мг/дм^3 ; водойма відноситься до II категорії рибогосподарського класу, кратність розбавлення зворотних вод у розрахунковому створі 3.
2. Визначити допустиму концентрацію нафтопродуктів у зворотних водах, якщо їх фонові концентрації $0,5 \text{ мг/дм}^3$; водойма відноситься до категорії комунально-побутового призначення, кратність розбавлення зворотних вод у розрахунковому створі 5.
3. Розрахувати значення БПК_{повн} у скидних водах з умови дотримання нормативного вмісту розчинного кисню у воді водойми. Витрати річкової та зворотних вод становлять відповідно $2,5$ та $0,7 \text{ м}^3/\text{с}$. Фоновий вміст розчиненого кисню у поверхневих водах до місця випуску зворотних вод, $5,0 \text{ г О}_2/\text{м}^3$. Найменш допустимий вміст розчинного кисню, який повинен залишатися у воді водного об'єкта, $4,0 \text{ г О}_2/\text{м}^3$. Фонові концентрації розчинених органічних сполук в поверхневих водах $3 \text{ г О}_2/\text{м}^3$.
4. Визначити допустиму величину БПК_{повн} зворотних вод, при витраті води в річці $5,5 \text{ м}^3/\text{сек}$, та скидних водах $1,2 \text{ м}^3/\text{сек}$; коефіцієнт змішування $0,96$; фонові концентрації забруднень мг/дм^3 ; відстані до розрахункового створу 1500 м ; середній швидкості руху води у річці $1,5 \text{ м/сек}$. Константа швидкості споживання кисню сумішшю річкової та зворотних вод, $0,95 \text{ діб}^{-1}$.
Водоток представляє собою рівнинну річку, що протікають по території, ґрунти якої не дуже багаті на органічні речовини.
5. Визначити допустиму концентрацію завислих речовин у зворотних водах, якщо: фонові концентрації завислих речовин 50 мг/дм^3 ; водойма відноситься до категорії господарсько-питного водопостачання, кратність розбавлення у розрахунковому створі 5.

6. Розрахувати кратність розбавлення стічних вод від міста (витратою $q_{св}$ 2,5 м³/сек) у річці з найменшою середньомісячною витратою води у рік 95% забезпеченості ($Q_{95\%}$ 8,5 м³/сек), при $R_{ГДК}$ 0,75 при середній швидкості та глибині річки в розрахунковому створі відповідно V_p 3,7 м/сек, h_p 3,0 м. Відстань до розрахункового створу L_p 1500м, коефіцієнт звивистості річки 1,05, тип водовипуску русловий.

7. Перевіряємо можливість випуску зворотних вод у гірську річку за вмістом органічних речовин з умови дотримання нормативного дотримання вмісту розчиненого кисню у воді для умов попередньої задачі. Фоновий вміст розчиненого кисню у поверхневих водах до місця випуску зворотних вод становить 4,5 мг/дм³. Усереднене значення коефіцієнта неконсервативності органічних речовин становить 1,15.

Тема. 6. Розрахунок кількості реагентів для видалення із води солей жорсткості

Загальні відомості. Жорсткість природної води зумовлена наявністю в ній іонів кальцію та магнію. В природних умовах солі надходять у воду внаслідок взаємодії розчиненого у ній діоксиду вуглецю CO_2 з карбонатними мінералами (доломітами, вапняками) і хімічного вивітрювання та розчинення гірських порід. Джерелом кальцію та магнію є також стічні води силікатної, металургійної та хімічної промисловості, поверхневий стік із сільськогосподарських угідь, які оброблялись мінеральними добривами, що містять кальцій [3, 7, 15].

Жорсткість – один з найважливіших її показників. Використання жорсткої води може сприяти протіканню небажаних процесів, які пов'язані з утворенням на поверхні споруд і технологічної апаратури парових котлів, систем водяного охолодження, трубопроводів щільних осадів, які зменшують теплообмін, забивають трубопроводи. Наявність осадів, перегрів систем, тріщини – все це може призвести до корозії металів інженерних споруд. Тому одним з найважливіших етапів водопідготовки є пом'якшення води, тобто видалення із неї тих продуктів, які обумовлюють жорсткість. Для пом'якшення води

використовують різні методи, основними з яких є термічний, реагентний і йонообмінний [7].

Реагентне пом'якшення води об'єднує методи, суть яких полягає в зв'язуванні іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} реагентами в нерозчинні речовини, що легко видаляються з води.

Задача 19. Розрахувати величину некарбонатної, карбонатної та загальної жорсткості води, якщо концентрація гідрокарбонат іонів $[\text{HCO}_3^-]$ 128,1 мг/дм³; катіонів $[\text{Ca}^{2+}]$ 86 мг/дм³; $[\text{Mg}^{2+}]$ 35 мг/дм³.

Розв'язок.

Визначення карбонатної жорсткості води:

$$J_{\text{к}} = \frac{[\text{HCO}_3^-]}{61,02} = \frac{128,1}{61} = 2,1 \text{ ммоль / дм}^3 \quad (43)$$

Визначення загальної жорсткості води, ммоль/дм³:

$$J_{\text{з}} = \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{20,04} + \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{12,6} = 7,17 \text{ ммоль / дм}^3 \quad (44)$$

Розрахунок некарбонатної жорсткості, ммоль/дм³:

$$J_{\text{нк}} = J_{\text{о}} - J_{\text{к}} = 7,17 - 2,1 = 5,07 \text{ ммоль / дм}^3 \quad (45)$$

Задача 20. Визначити дозу вапна та соди при вапняно-содовому пом'якшенні природної води із концентрацією завислих речовин 300 мг/дм³, якщо концентрація диоксиду вуглецю становить 98 мг/дм³; доза коагулянту 30 мг/дм³, еквівалентна вага коагулянту $e_{\text{к}}$ 54 мг/мг-екв.

Розв'язок. Розрахункова доза вапна:

$$\begin{aligned} D_{\text{в}} &= 28 \cdot \left(\frac{[\text{CO}_2]}{22} + J_{\text{к}} + \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{12} + \frac{D_{\text{к}}}{e_{\text{к}}} + 0,5 \right) = \\ &= 28 \cdot \left(\frac{98}{22} + 2,1 + \frac{35}{12} + \frac{30}{54} + 0,5 \right) = 294,7 \text{ мг / дм}^3 \end{aligned} \quad (46)$$

Доза коагулянту який вводиться разом із вапном:

$$D_{\text{к}} = 3 \cdot \sqrt[3]{C} \quad (47)$$

де С – кількість завислих речовин які утворюються при пом'якшенні води, мг/дм³

При каламутності 300 мг/дм³ приймається доза коагулянту 35 мг/дм³ [12].

$$C = M_{\text{вих}} + 50 \cdot \left(J_{\text{O}} + J_{\text{K}} + \frac{[\text{CO}_2]}{22,01} + 0,5 \right) + 29 \cdot \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{12,16} + D_{\text{K}} \cdot \frac{100 - m}{100}, \text{ мг / дм}^3 \quad (48)$$

де m = 70% вміст СаО у технічному вапні.

Тоді для даного прикладу маємо:

$$C = 300 + 50 \cdot \left(7,17 + 2,1 + \frac{98}{22} + 0,5 \right) + 29 \cdot \frac{35}{12,16} + 294,7 \cdot \frac{100 - 70}{100} = 1182 \text{ мг / дм}^3$$

$$D_{\text{K}} = 3 \cdot \sqrt[3]{C} = 3 \cdot \sqrt[3]{1182} = 31,72 \text{ мг / дм}^3 < 35 \text{ мг / дм}^3$$

Розрахункова доза соди:

$$D_{\text{C}} = 53 \cdot \left(J_{\text{НК}} + \frac{D_{\text{K}}}{e_{\text{K}}} + 1 \right) = 53 \cdot \left(4,97 + \frac{30}{54} + 1 \right) = 345,9 \text{ мг / дм}^3 \quad (49)$$

При використанні в якості реагенту вапна розрахунок його дози залежать від наступних залежностей:

$$\text{при } \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{20} > J_{\text{K}} : D_{\text{B}} = 28 \cdot \left(\frac{[\text{CO}_2]_{\text{вільне}}}{22} + J_{\text{K}} \pm \frac{D_{\text{K}}}{e_{\text{K}}} + 0,3 \right) \quad (50)$$

$$\text{при } \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{20} < J_{\text{K}} : D_{\text{B}} = 28 \cdot \left(\frac{[\text{CO}_2]_{\text{вільне}}}{22} + 2 \cdot J_{\text{K}} - \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{20} \pm \frac{D_{\text{K}}}{e_{\text{K}}} + 0,5 \right) \quad (51)$$

Попереднє визначення йонного складу води після пом'якшення води за допомогою реагентів.

В результаті реагентної обробки води частина йонів які вводять у воду, випадають до осаду (Ca^{2+} ; CO_3^{2-} ; Mg^{2+}) але інша залишається у воді (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}):

Загальна кількість введених іонів натрію визначається із співвідношення:

$$D_{\text{Na}} = \frac{D_c \cdot [\text{Na}^+]}{[\text{Na}_2\text{CO}_3]} = \frac{345,9 \cdot 46}{106} = 150,1 \text{ мг/дм}^3 \quad (52)$$

Тоді загальний вміст натрію C_{Na} після обробки води:

$$C_{\text{Na}} = [\text{Na}^+] + D_{\text{K}} = 27,6 + 150,1 = 177,7 \text{ мг/дм}^3 \quad (53)$$

Кількість іонів хлору, які були введені у воду разом з розчином коагулянту FeCl_3 :

$$D_{\text{Cl}} = \frac{D_{\text{K}} \cdot [\text{Cl}_3]}{[\text{FeCl}_3]} = \frac{32 \cdot 106,5}{162,5} = 19,7 \text{ мг/дм}^3 \quad (55)$$

Тоді загальна кількість іонів хлору C_{Cl} після обробки води:

$$C_{\text{Cl}} = [\text{Cl}^-] + D_{\text{Cl}} = 149 + 19,7 = 168,7 \text{ мг/дм}^3$$

Рекомендована література [3, 7, 13, 15, 16].

Задачі для самостійного розв'язку.

1. Розрахувати величину некарбонатної, карбонатної та загальної жорсткості води, якщо концентрація гідрокарбонат іонів $[\text{HCO}_3^-]$ 150 мг/дм³; катіонів $[\text{Ca}^{2+}]$ 100 мг/дм³; $[\text{Mg}^{2+}]$ 55 мг/дм³.
2. Розрахувати величину некарбонатної, карбонатної та загальної жорсткості води, якщо концентрація гідрокарбонат іонів $[\text{HCO}_3^-]$ 50 мг/дм³; катіонів $[\text{Ca}^{2+}]$ 30 мг/дм³; $[\text{Mg}^{2+}]$ 15 мг/дм³.
3. Розрахувати величину некарбонатної, карбонатної та загальної жорсткості води, якщо концентрація гідрокарбонат іонів $[\text{HCO}_3^-]$ 30 мг/дм³; катіонів $[\text{Ca}^{2+}]$ 45 мг/дм³; $[\text{Mg}^{2+}]$ 15 мг/дм³.
4. Визначити дозу вапна необхідного для пом'якшенні природної води із концентрацією завислих речовин 150 мг/дм³, якщо концентрація диоксиду вуглецю становить 30 мг/дм³; коагулянт хлорне залізо, еквівалентна вага коагулянту e_{K} 54 мг/мг-екв.

5. Визначити дозу вапна та соди при вапняно-содовому пом'якшенні природної води із концентрацією завислих речовин 500 мг/дм^3 , якщо концентрація диоксиду вуглецю становить 25 мг/дм^3 .

7. САМОСТІЙНА РОБОТА

Самостійна робота здобувача вищої освіти є невід'ємною складовою освітнього процесу. Це основа навчання, спрямована на формування самостійності майбутнього фахівця, уміння здійснювати самостійний пошук, системний аналіз та узагальнення навчально-методичної та наукової інформації, професійно важливих дій до самопідготовки у процесах виробничої практики, здатності приймати конструктивні рішення тощо.

Метою самостійної роботи є підвищення конкурентоспроможності майбутніх фахівців на світовому ринку праці через формування їхніх вмінь та ключових навичок.

Підсумком самостійної роботи над вивченням дисципліни «Якісні показники природних та стічних вод» є складання письмового звіту за питаннями, що не розглядаються під час аудиторних занять.

7.1. Завдання для самостійної роботи

1. Шляхи забруднення та заходи по збереженню та відновленню чистоти водойм.
2. Вплив антропогенної діяльності на стан водних ресурсів.
3. Системи каналізації промислових підприємств із мінімальним скиданням стічних вод в водоймище
4. Вплив зовнішніх факторів на розчинення газів у воді.
5. Класифікація домішок природних вод за фазово- дисперсним станом Кульського Л.А.
6. Мембранні технології для видалення іонних домішок із води та перспективи їх застосування.
7. Нитчасті форми бактерій і їх роль у біоценозі активного мулу аеротенків [].
8. Вплив кисневих умов на бактерії та його використання в сучасних біотехнологіях очищення стічних вод.

9. Характеристика фізико-хімічних умов перебігу процесів нітрифікації, денітрифікації, анамокс.
10. Методи пом'якшення води та умови їх застосування.
11. Технологічні схеми та установки для реагентного пом'якшення води.
12. Визначення сольового складу води після вапняного-содового пом'якшення.
13. Уточнений розрахунок іонного складу освітленої води після реагентного пом'якшення.
14. Загальні відомості щодо пом'якшеної води.
15. Санітарні умови скиду стічної води у природні об'єкти.

7.2. Оформлення звіту про самостійну роботу

Підсумком самостійної роботи над вивченням дисципліни є складання письмового звіту за темами, вказаними в пункті 7.1.

Звіт оформлюється на стандартному папері формату А4 (210x297) з одного боку. Поля: верхнє, праве – 10 мм, нижнє – 17 мм, ліве – 20 мм. У тексті повинні бути зазначені посилання на використану літературу.

Звіт може бути рукописним або друкованим і виконується українською мовою.

На титульній сторінці звіту мають бути зазначені назва кафедри, тема самостійно ї роботи, прізвище та ініціали здобувача вищої освіти, група, прізвище та ініціали викладача, який приймає роботу, посада.

Загальний обсяг звіту – 10-15 сторінок. Звіт включає план, основну частину, висновки, список використаної літератури та додатки.

Задача звіту про самостійну роботу відбувається у терміни, спільно обумовлені викладачем і здобувачем вищої освіти.

Рекомендована література

Базова

1. Артамонов В. В., Вижевська Т. В. Процеси і апарати водообробки : навч. посібник. Рівне, РДТУ, 1999.
2. Фізико – хімічні основи очищення стічних вод : підручник / Запольський А. К. та ін. Київ, Лібра, 2000. 367 с.
3. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник. К. : Вища школа, 2005. 671 с.
4. Камінський Б. Т., Камінський Л. Б., Федішин Б. М. Хімія води і водних розчинів : навчальний посібник. Житомир: ЖІТІ. 2000. 415 с.
5. Мацнев А. І., Проценко С. Б., Саблій Л. А. Практикум з моніторингу та інженерних методів охорони довкілля. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 460 с.
6. Накорчевська В. Ф., Аргатенко Т. В. Хімія води і мікробіологія. Вправи і методичні вказівки до їх виконання. К. : КНУБА, 2000. 31 с.
7. Орлов В. О., Литвиненко Л. Л., Орлова А. М. Водопостачання промислових підприємств. Навчальний посібник. К. : Знання, 2014. 278 с.

Нормативно-правова

8. Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення: Закон України. [Чинний від 2017-06-22]. Редакція від 01.05.2019р., № 2918-III
URL.: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14>
9. ДБН В 2.5–75:2013. Каналізація: проектування зовнішніх мереж та споруд. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : МРРБЖКГ України, 2013. 95 с.
10. ДБН В 2.5–74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : МРРБЖКГ України, 2013. 280 с.
11. ДСТУ 4808:2007 Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. Прийнято та надано чинності: наказ Держспоживстандарту України від 5 липня 2007 р. № 144. [Чинний від 2012-01-01].

12. ДСТУ 7526:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Прийнято та надано чинності: наказ Інституту колоїдної хімії та хімії води імені А. В. Думанського НАН України від 23.10.2014 № 1257. [Чинний від 2012-01-01].

URL.: <https://metrology.com.ua/ntd/skachat-dstu-gost-gost-r/gost/dstu-7525-2014/> (дата звернення: 04.10.2019).

Допоміжна

13. Василенко А. О., Литвиненко Л. Л., Квартенко О. М. Рациональное використання водних ресурсів : навчальний посібник. Рівне, 2007. 245 с.

14. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навчальний посібник. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. 622 с.

URL.: <http://ep3.nuwm.edu.ua/15447/>

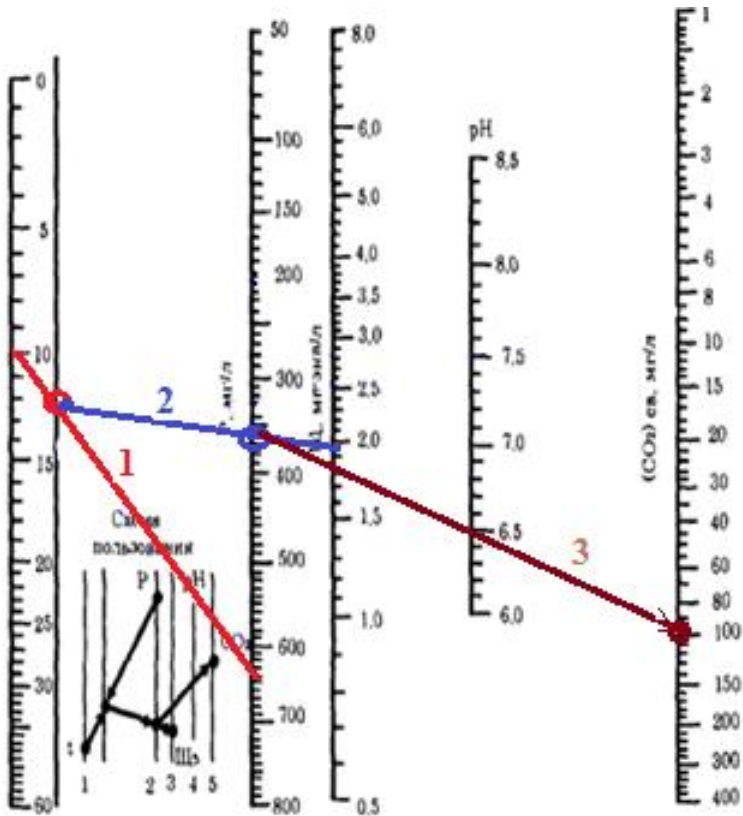
(дата звернення: 04.10.2019).

15. Кожин В. Ф. Очистка питьевой и технической воды. М. : ООО "БАСТЕТ", 2008. 304 с.

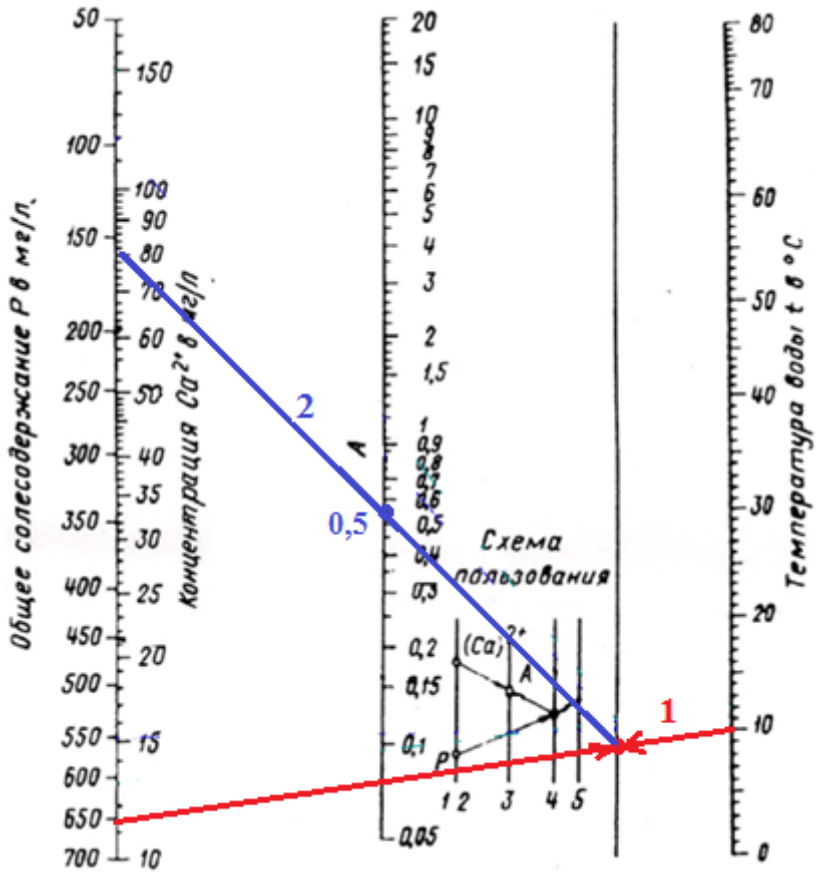
16. Тугай А. М., Орлов В. О. Водопостачання : підручник. К. : Знання, 2009. 735 с.

17. Рогов В. М., Филипчук В. Л. «Электрохимическая технология изменения свойств воды». Львов, „Вища школа”, 1989.

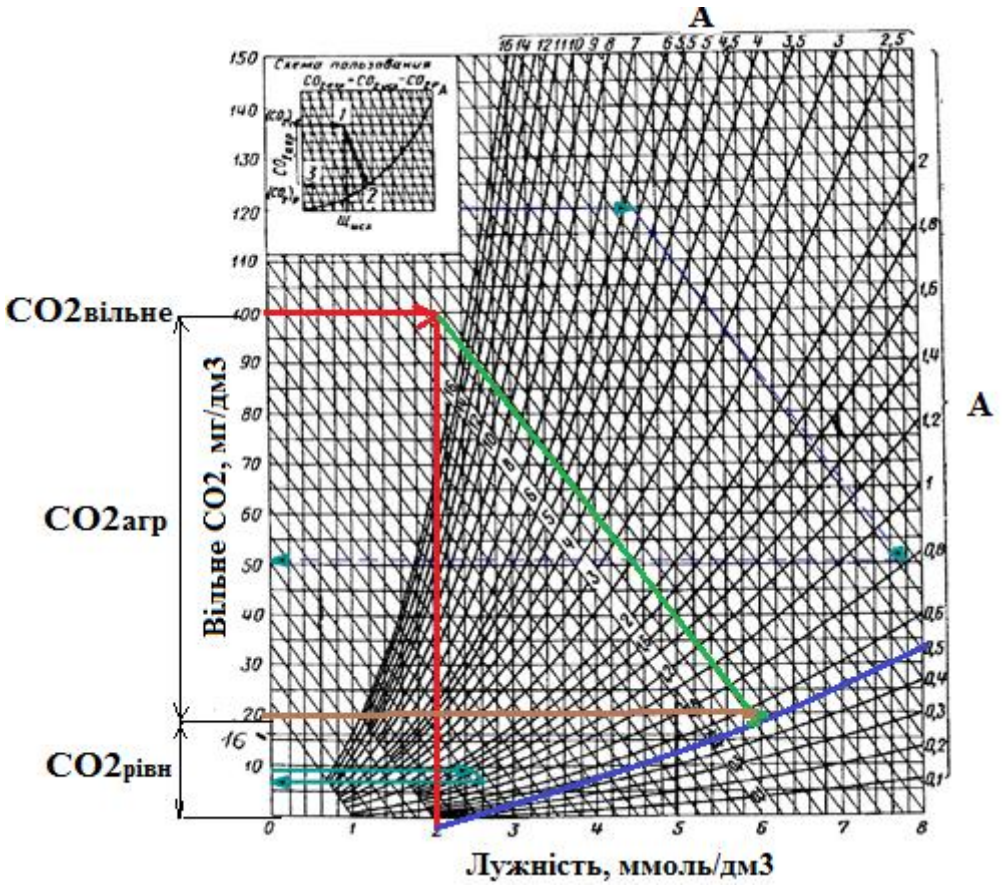
18. Журба М. Г., Соколов Л. И., Говорова Ж. М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. Том 2. Очистка и кондиционирование природных вод. год: 2003 с.



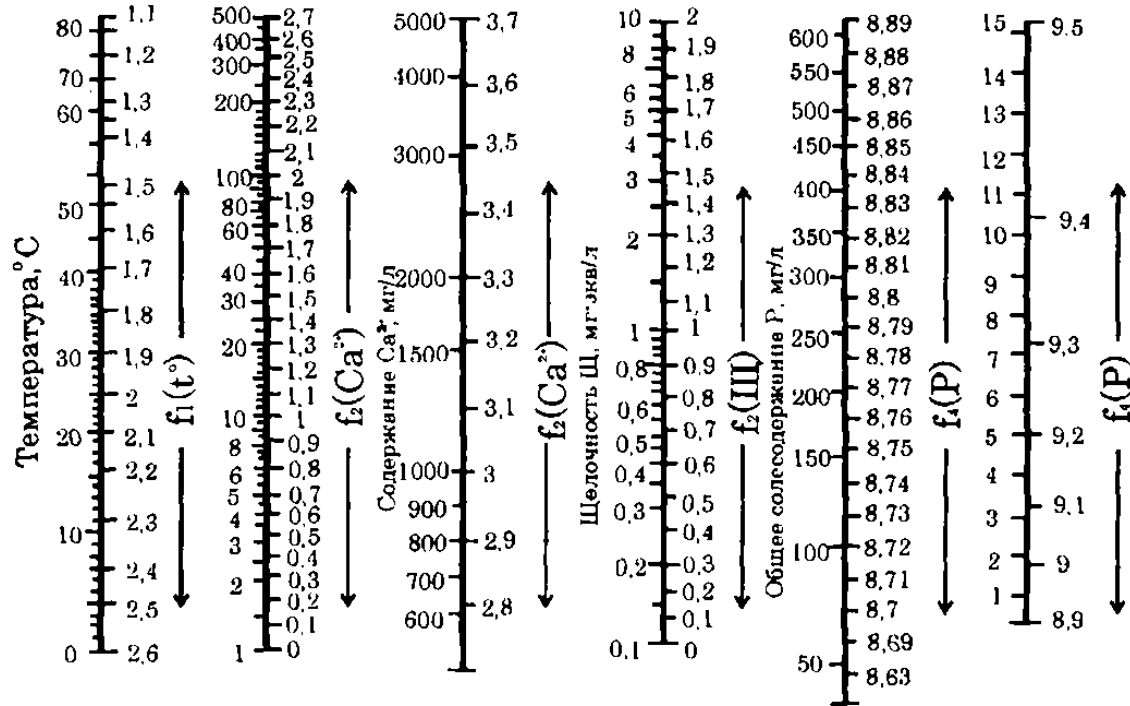
Номограма для визначення вмісту в воді вільної вуглекислоти [18]



Номограма для визначення величини параметра А [18]



Номограма для визначення концентрації рівноважної вуглекислоти у воді [18]



Графік для визначення pHs [18]

Деякі загальні вимоги до складу і властивостей води водних об'єктів господарсько-питного, комунально-побутового та рибогосподарського водокористування [5]

Показники	Водокористування			
	Господарське-питне	Комунальне-побутове	Рибогосподарське категорії	
			вищої 1	2
Завислі речовини	Допускається приріст до фону не більше ніж на			
	0,25 мг/л	0,75 мг/л	0,25 мг/л	0,75 мг/л
Плаваючі домішки	Не допускається плівки нафтопродуктів, мастил, жирів та ін. плаваючих домішок			
Запахи, присмаки	Допускаються запахи і присмаки не більше 2 балів		Сторонні запахи і присмаки не допускаються	
рН	Водневий показник рН в межах 6,5-8,5			
Мінеральний склад води	Сухий залишок не більше 1000 мг/л, в тому числі хлоридів до 350 мг/л, сульфатів до 500 мг/л		Не нормується	
Розчинний кисень	Не повинен бути меншим 4 мг/л		Не меншим 6 мг/л	Взимку під льодом 4 мг/л, влітку – не менше 6 мг/л
БПК повн	3,0 мг/л	6,0 мг/л	3,0 мг/л	

Додаток 6,7

Гранично допустимі концентрації нормованих речовин у воді водних об'єктів господарсько-питного та комунально-побутового водокористування, $мг/дм^3$ [5]

Показник	Значення	Клас небезпечності	Показник	Значення	Клас небезпечності
Алюміній	0,5	2	СПАР аніони	0,5	4
Аміак(по азоту)	2,0	3	Сульфати	500	4
Залізо	0.3	3	Фенол	0,0001	34
Марганець	0,1	3	Формаль дегід	0,05	2
Мідь	1,0	3	Фтор	0,7-1,5	2
Нафта	0,1	4	Хлориди	350	4
Нітрати По азоту	10,15	3	Хром	0,5	3
Нітрити	1,0	2	цинк	1,0	3

Гранично допустимі концентрації нормованих речовин у воді рибогосподарських водних об'єктів, $мг/дм^3$ [

Показник	Значення	Клас небезпечності	Показник	Значення	Клас небезпечності
Алюміній	0,04	2	СПАР аніони		4
Аміак (за азотом)	0,39	3	Сульфати	100	4
Залізо	0,1	3	Фенол	0,001	34
Манган	0,01	3	Формальд егід	0,1	2
Мідь	0,0001	3	Фтор	0,05	2
Нафта	0,05	4	Хлориди	300	4
Нітрати за азотом	9,1	3	Хром	0,001	3