

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ХІМІЯ ВОДИ ТА МІКРОБІОЛОГІЯ**

### **Методичні вказівки**

до виконання контрольної роботи  
з дисципліни «Хімія води та мікробіологія»

для бакалаврів спеціальностей

192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітня програма

«Водопостачання та водовідведення»

194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»

Київ 2020

УДК 628.1

ББК 38.761+51.21

X46

Укладач: Т.В. Аргатенко, канд. техн. наук, доцент,

Рецензент Терновцев О.В, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск В.П. Хоружий, докт. техн. наук, професор

Затверджено на засіданні кафедри водопостачання та водовідведення,  
протокол №\_\_ від \_\_\_\_\_2020р.

Хімія води і мікробіологія:

X46      Методичні вказівки до виконання контрольної роботи / Уклад.: Т.В. Аргатенко.  
– К.: КНУБА, 2020. – 24 с.

Видається в авторській редакції.

Подано теоретичні основи розв'язання та вихідні дані задач, що входять до  
контрольної роботи з курсу.

Призначено для бакалаврів спеціальностей 192 «Будівництво та цивільна  
інженерія» освітня програма «Водопостачання та водовідведення» та 194  
«Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології».

## ЗМІСТ

Загальні положення	3
Розділ 1. Контрольні розрахунки при здійсненні аналізу води	4
1.1. Теоретичні основи	4
1.2. Задачі до розділу 1	5
Розділ 2. Контроль результатів хімічного аналізу води	7
2.1. Представлення результатів аналізу води	7
2.2. Загальний контроль аналізу за еквівалентним вмістом іонів	8
2.3. Загальний контроль аналізу за щільним залишком	8
2.4. Частковий контроль аналізу за результатами окремих визначень	9
2.5. Задачі до розділу 2	11
Розділ 3. Оцінювання якості води	15
3.1. Базові положення	15
3.2. Задачі до розділу 3	15
Розділ 4. Контроль процесів обробки води	17
4.1. Базові положення	17
4.2. Контроль процесу коагулювання води	18
4.3. Контроль стабільності води	19
4.4. Контроль процесу хлорування води	19
4.5. Задачі до розділу 4	23
Додаток. Молярні маси деяких хімічних елементів	23
Список літератури	

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Здобувачі освітнього рівня бакалавр за спеціальностями 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Водопостачання та водовідведення» та 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології, поряд з іншими дисциплінами вивчають питання очищення природних та стічних вод. Теоретичною основою цих дисциплін є курс «Хімія води і мікробіологія», який знайомить студентів із властивостями води, розкриває фізико-хімічну і біологічну сутність процесів, що відбуваються в спорудах очищення й підготовки природної води та у спорудах, де проходить очищення стічної води.

В процесі вивчення курсу «Хімія води та мікробіологія» студентами виконується письмова контрольна робота. В контрольній роботі необхідно представити повні розв'язання задач, згідно з отриманим завданням. Ці методичні вказівки містять вихідні дані та інформацію, необхідну для вирішення задач контрольної роботи.

## РОЗДІЛ 1. КОНТРОЛЬНІ РОЗРАХУНКИ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ АНАЛІЗУ ВОДИ

### 1.1. Теоретичні основи

Одним з основних законів хімії є **закон еквівалентів**: хімічні елементи і речовини реагують між собою у масових кількостях, пропорційних їхнім еквівалентам (еквівалентним масам).

**Еквівалентом** називають кількість речовини в молях, яка реагує з одним молем атомів гідрогену або заміщує таку саму кількість атомів гідрогену в хімічних реакціях.

Маса еквівалента, виражена в грамах на моль, кількісно дорівнює еквіваленту речовини і називається **молярною масою еквівалента**  $M(1/Z^*X)$ .

Молярна маса еквівалента визначається за формулою:

$$M(1/Z^*X) = \frac{M(X)}{Z^*}, \quad (1)$$

де  $M(X)$  – молярна маса речовини, г/моль;  $Z^*$  – **число еквівалентності**, яке залежить від виду речовини. Далі наведені правила знаходження молярної маси еквівалента.

**Молярна маса еквівалента елемента**  $M(1/Z^*X)_E$  дорівнює молярній масі елемента  $M(X)_E$ , поділений на його валентність  $V_E$  в даній хімічній сполуці:

$$M(1/Z^*X)_E = \frac{M(X)_E}{V_E}. \quad (2)$$

**Молярна маса еквівалента іона**  $M(1/Z^*X)_I$  дорівнює молярній масі іона  $M(X)_I$ , поділений на абсолютну величину його заряду  $n_I$ :

$$M(1/Z^*X)_I = \frac{M(X)_I}{n_I}. \quad (3)$$

**Молярна маса еквівалента гідроксиду**  $M(1/Z^*X)_G$  дорівнює його молярній масі  $M(X)_G$ , поділений на валентність металу  $V_{Me}$ :

$$M(1/Z^*X)_G = \frac{M(X)_G}{V_{Me}}. \quad (4)$$

**Молярна маса еквівалента кислоти**  $M(1/Z^*X)_K$  дорівнює молярній масі кислоти  $M(X)_K$ , поділений на її основність  $O_K$ . Основність кислоти визначається кількістю атомів водню в її молекулі:

$$M(1/Z^*X)_K = \frac{M(X)_K}{O_K}. \quad (5)$$

**Молярна маса еквівалента солі**  $M(1/Z^*X)_C$  дорівнює молярній масі солі  $M(X)_C$ , поділений на добуток числа іонів металу  $K_{Me}$  на його валентність  $V_{Me}$ :

$$M(1/Z^*X)_C = \frac{M(X)_C}{K_{Me} \cdot V_{Me}}. \quad (6)$$

Найбільш уживані в хімії способи вираження вмісту розчиненої речовини у розчині наведені далі.

1. **Масова частка  $C(i)$**  – відношення маси розчиненої речовини до загальної маси розчину; виражається, як правило, у відсотках і показує, скільки грамів розчиненої речовини міститься в 100 г розчину. Таким чином, якщо масова частка NaOH у розчині становить 5%, це означає, що в 100 г розчину міститься 5 г гідроксиду натрію. Якщо відомі маси розчиненої речовини  $m$  та розчинника  $k$ , то масова частка розчиненої речовини становить, %:

$$C(i) = \frac{m}{m+k} \cdot 100. \quad (7)$$

2. **Масова концентрація  $C(M)$**  – відношення маси розчиненої речовини  $m$  до загального об'єму розчину  $v$ , г/дм<sup>3</sup> (мг/дм<sup>3</sup>):

$$C(M) = \frac{m}{v}. \quad (8)$$

3. **Молярна концентрація  $C(X)$**  показує, скільки молей розчиненої речовини міститься в 1 дм<sup>3</sup> розчину. Якщо відома маса розчиненої речовини  $m$ , його молярна маса  $M(X)$  і об'єм розчину  $v$ , молярну концентрацію можна розрахувати за формулою, моль/дм<sup>3</sup>:

$$C(X) = \frac{m}{M(X) \cdot v} = \frac{C(M)}{M(X)}. \quad (9)$$

4. **Молярна концентрація еквівалента (або нормальність)  $C(1/Z^*X)$**  показує, скільки еквівалентів розчиненої речовини міститься в 1 дм<sup>3</sup> розчину. Якщо відома маса розчиненої речовини  $m$ , її молярна маса еквівалента  $M(1/Z^*X)$  і об'єм розчину  $v$ , молярну концентрацію еквівалента розраховують за формулою, моль/дм<sup>3</sup>:

$$C(1/Z^*X) = \frac{m}{M(1/Z^*X) \cdot v} = \frac{C(M)}{M(1/Z^*X)}. \quad (10)$$

## 1.2. Задачі до розділу 1

**Увага!** При виконанні вправ користуйтеся Додатком.

1. Знайти молярні маси еквівалентів елементів зі змінною валентністю в сполуках, наведених у табл.1:

Таблиця 1

Варіант	Елемент	Сполуки
1	Нітроген	N <sub>2</sub> O, NO, N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Церій	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CeO <sub>2</sub>
	Купрум	Cu <sub>2</sub> O, CuO
2	Фосфор	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , PO <sub>2</sub> , PH <sub>3</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
	Бісмут	BiO, Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , BiCl <sub>4</sub> , Bi <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
3	Селен	SeCl <sub>4</sub> , SeS, SeO <sub>2</sub> , SeO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> Se
	Манган	MnO, MnO <sub>2</sub> , Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Mn <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
4	Сульфур	SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S
	Йод	I <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , HI, I <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , ICl <sub>3</sub> , IF <sub>5</sub> , IF <sub>7</sub>
5	Хром	CrO, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CrO <sub>3</sub>
	Хлор	Cl <sub>2</sub> O, ClO <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , ClF <sub>3</sub>
	Ферум	FeCl <sub>2</sub> , FeCl <sub>3</sub>
6	Арсен	AsI <sub>2</sub> , As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Телур	TeO, TeO <sub>2</sub> , TeF <sub>5</sub> , TeO <sub>3</sub>
	Станум	SnCl <sub>2</sub> , SnCl <sub>4</sub>
7	Плюмбум	Pb <sub>2</sub> O, PbO, PbO <sub>2</sub>
	Молібден	MoO <sub>2</sub> , MoO <sub>3</sub>
	Хлор	Cl <sub>2</sub> O, ClO <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , ClF <sub>3</sub>
8	Осмій	OsO, Os <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , OsO <sub>2</sub> , OsF <sub>6</sub> , OsF <sub>5</sub> , OsO <sub>4</sub> , OsI
	Купрум	Cu <sub>2</sub> O, CuO
9	Йод	I <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , HI, I <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , ICl <sub>3</sub> , IF <sub>5</sub> , IF <sub>7</sub>
	Хром	CrO, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CrO <sub>3</sub>
10	Нітроген	N <sub>2</sub> O, NO, N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Телур	TeO, TeO <sub>2</sub> , TeF <sub>5</sub> , TeO <sub>3</sub>

Закінчення таблиці 1

Варіант	Елемент	Сполуки
11	Арсен	AsI <sub>2</sub> , As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Осмій	OsO, Os <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , OsO <sub>2</sub> , OsF <sub>6</sub> , OsF <sub>5</sub> , OsO <sub>4</sub>
12	Молібден	MoO <sub>2</sub> , MoO <sub>3</sub>
	Селен	SeCl <sub>4</sub> , SeS, SeO <sub>2</sub> , SeO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> Se
	Купрум	Cu <sub>2</sub> O, CuO
13	Фосфор	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , PO <sub>2</sub> , PH <sub>3</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
	Манган	MnO, MnO <sub>2</sub> , Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Mn <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
14	Плюмбум	Pb <sub>2</sub> O, PbO, PbO <sub>2</sub>
	Хром	CrO, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CrO <sub>3</sub>
	Сулфур	SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S
15	Станум	SnCl <sub>2</sub> , SnCl <sub>4</sub>
	Осмій	OsO, Os <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , OsO <sub>2</sub> , OsF <sub>6</sub> , OsF <sub>5</sub> , OsO <sub>4</sub> , OsI
16	Фосфор	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , PO <sub>2</sub> , PH <sub>3</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
	Телур	TeO, TeO <sub>2</sub> , TeF <sub>5</sub> , TeO <sub>3</sub>
17	Сулфур	SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S
	Станум	SnCl <sub>2</sub> , SnCl <sub>4</sub>
	Манган	MnO, MnO <sub>2</sub> , Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Mn <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
18	Йод	I <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , HI, I <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , ICl <sub>3</sub> , IF <sub>5</sub> , IF <sub>7</sub>
	Арсен	AsI <sub>2</sub> , As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
19	Селен	SeCl <sub>4</sub> , SeS, SeO <sub>2</sub> , SeO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> Se
	Хлор	Cl <sub>2</sub> O, ClO <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , ClF <sub>3</sub>
20	Нітроген	N <sub>2</sub> O, NO, N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , NH <sub>3</sub>
	Хром	CrO, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CrO <sub>3</sub>

2. Визначити молярні маси еквівалентів елементів та сполук, наведених у табл.2.

Таблиця 2

Вар.	Елементи та сполуки								
1	Fe <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HNO <sub>3</sub>	KOH	Ca(OH) <sub>2</sub>	FeCl <sub>3</sub>
2	Ca <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	F <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCl	Fe(OH) <sub>3</sub>	FeSO <sub>4</sub>
3	K <sup>+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Mn <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	NaOH	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
4	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Fe <sup>3+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	KOH	AlCl <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
5	Na <sup>+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	FeCl <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
6	OH <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	KOH	FeCl <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
7	H <sup>+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NaOH	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	NaHCO <sub>3</sub>
8	Zn <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCl	Ca(OH) <sub>2</sub>	FeSO <sub>4</sub>	NaCl
9	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Fe(OH) <sub>2</sub>	AlCl <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>
10	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HNO <sub>3</sub>	Al(OH) <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>

Вар.	Елементи та сполуки								
11	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	OCI <sup>-</sup>	Mn <sup>2+</sup>	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Fe(OH) <sub>3</sub>	NaCl	FeCl <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
12	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HClO	Mg(OH) <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	FeCl <sub>3</sub>
13	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Fe <sup>2+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	HCl	KOH	Al(OH) <sub>3</sub>	CaCl <sub>2</sub>	FeSO <sub>4</sub>
14	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	F <sup>-</sup>	Zn <sup>2+</sup>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	FeCl <sub>3</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>
15	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	HNO <sub>3</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	FeCl <sub>3</sub>	NaHCO <sub>3</sub>
16	Fe <sup>2+</sup>	OH <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HNO <sub>2</sub>	Fe(OH) <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
17	Al <sup>3+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Mn <sup>2+</sup>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaOH	FeSO <sub>4</sub>	NaCl
18	F <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	OH <sup>-</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	KOH	NaOH	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
19	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	HCl	Ca(OH) <sub>2</sub>	FeCl <sub>3</sub>
20	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Zn <sup>2+</sup>	HNO <sub>3</sub>	Al(OH) <sub>3</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	CaCl <sub>2</sub>

## РОЗДІЛ 2. КОНТРОЛЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ХІМІЧНОГО АНАЛІЗУ ВОДИ

### 2.1. Представлення результатів аналізу води

Природні і стічні води по суті є складними розчинами з широким діапазоном вмісту розчинених речовин як за складом, так і за концентрацією. За деякими даними, в природних водах міститься близько 50 тисяч різних речовин. Практично всі елементи таблиці Д. І. Менделєєва можна знайти в природних і промислових стічних водах. У той же час у значній кількості присутні лише деякі з них. Найбільш поширеними елементами є Na, Ca, Mg, Cl, S, N, O, H, Si. Вони зустрічаються в кількостях, вимірюваних міліграмами на 1дм<sup>3</sup> води, а деякі навіть грамами.

Значна кількість розчинених у воді речовин дисоційована на іони. Серед різноманітних іонів, що знаходяться у воді, виділяють головні, тобто ті, що присутні у значно більших відносно інших іонів кількостях і суттєво впливають на якість води. До таких іонів належать катіони Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> і аніони HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Для переважної більшості природних вод загальний вміст солей досить точно визначається сумою цих іонів.

Оскільки вода є електронейтральною, очевидно, що суми молярних концентрацій еквівалентів катіонів  $\Sigma[K]$  і аніонів  $\Sigma[An]$ , які виражені в мг-екв/дм<sup>3</sup>, мають бути рівними:

$$\Sigma[K] = \Sigma[An]. \quad (11)$$

Для більшості природних вод ця рівність матиме вигляд

$$[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Na^{+}] + [K^{+}] = [HCO_3^{-}] + [SO_4^{2-}] + [Cl^{-}]. \quad (12)$$

Результати аналізів по визначенню іонного складу води зручно подати графічно – у вигляді діаграм гіпотетичного складу солей у воді. Діаграма являє собою дві паралельні стичні стрічки, на яких у певному масштабі відкладають молярні концентрації еквівалентів катіонів і аніонів в мг-екв/дм<sup>3</sup>, як це показано на рис.1.1.

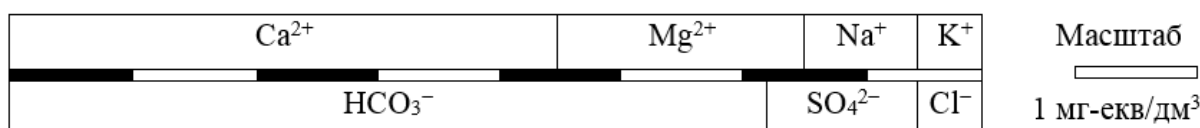


Рис. 1. Діаграма гіпотетичного складу солей у воді

Таким чином, у воді, за результатами аналізу якої складена діаграма (див. рис. 1), гіпотетично присутні  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  і  $\text{KCl}$ .

Вміст іонів у воді становить, мг-екв/дм<sup>3</sup>:  $[\text{Ca}^{2+}] = 4,5$ ;  $[\text{Mg}^{2+}] = 2,0$ ;  $[\text{Na}^+] = 1,0$ ;  $[\text{K}^+] = 0,5$ ;  $[\text{HCO}_3^-] = 6,25$ ;  $[\text{SO}_4^{2-}] = 1,25$ ;  $[\text{Cl}^-] = 0,5$ .

Відповідно концентрація солей, мг-екв/дм<sup>3</sup>:  
 $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2] = 4,5$ ;  $[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2] = 1,75$ ;  $[\text{MgSO}_4] = 0,25$ ;  $[\text{Na}_2\text{SO}_4] = 1,0$ ;  $[\text{KCl}] = 0,5$ .

Основним методом контролю правильності визначення вмісту основних солетворних компонентів є взаємна ув'язка даних хімічного аналізу. Оскільки кількісний вміст окремих компонентів хімічного складу води перебуває у відповідній залежності один від одного, то це дає можливість здійснювати контроль виконаного аналізу шляхом зіставлення результатів окремих визначень.

## 2.2. Загальний контроль аналізу за еквівалентним вмістом іонів

При проведенні повного аналізу води практично всі іони визначаються аналітично. Але точного збігу сум молярних концентрацій еквівалентів аніонів і катіонів, як того вимагає умова електронейтральності води, не відбувається через похибку аналізів.

Похибку обчислюють за формулою (11), %:

$$x = \frac{\Sigma[\text{Ан}] - \Sigma[\text{Кат}]}{\Sigma[\text{Ан}] + \Sigma[\text{Кат}]} \cdot 100, \quad (13)$$

де  $\Sigma[\text{Ан}]$  і  $\Sigma[\text{Кат}]$  – суми молярних концентрацій еквівалентів відповідно аніонів і катіонів, мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Допустима похибка (табл.3) залежить від мінералізації води.

Таблиця 3

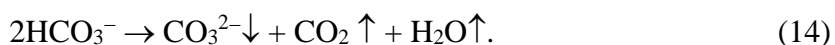
Допустимі похибки у визначенні еквівалентного вмісту іонів

Мінералізація води (мг-екв/дм <sup>3</sup> аніонів)	Похибка* (± у відносних %)
Понад 15	2
5 – 15	2 – 5
3 – 5	5 – 10
Менш як 3	Не встановлено

\*Примітка: меншій мінералізації відповідає більша допустима похибка. Для проміжних значень мінералізації допустима похибка визначається інтерполяцією.

## 2.3. Загальний контроль аналізу за щільним залишком

До складу аналізу води входить визначення щільного залишку, яке полягає у випаровуванні певного об'єму фільтрованої вихідної води і встановленні маси щільного залишку. За випаровування у щільний залишок переходять усі негазоподібні розчинені речовини. Виняток становить тільки гідрокарбонат-іон, який при нагріванні води розкладається за рівнянням:



У відповідності з рівнянням, 0,508 маси гідрокарбонат-іон (практично береться така, що дорівнює 0,5) втрачається з парою води і газом  $\text{CO}_2$ . Тільки 0,5 маси гідрокарбонат-іона у вигляді  $\text{CO}_3^{2-}$  переходить у щільний залишок. Таким чином,



щільний залишок має дорівнювати сумі мас (у мг/дм<sup>3</sup>) усіх розчинених у воді речовин у вигляді іонів і молекул (виключаючи газ), при цьому маса гідрокарбонат-іона зменшується вдвічі:

$$\text{Щ.З.} = \sum C_i - 0,5 \cdot [\text{HCO}_3^-]. \quad (15)$$

Між експериментальним і обрахованим щільним залишком (включаючи кремнієву кислоту) існує розбіжність. Для води, окиснюваність якої менша за 5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, при правильно виконаному аналізі вищезгадана розбіжність має не перевищувати допустимі значення, наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Допустимі розбіжності у визначенні щільного залишку

Обрахований щільний залишок, мг/дм <sup>3</sup>	Допустиме перевищення експериментально винайденого щільного залишку над обрахованим
до 100	30 мг/дм <sup>3</sup>
100 – 500	50 мг/дм <sup>3</sup>
500 – 5000	10% відносних
5000 – 10000	10 – 5% відносних
понад 10000	5% відносних

#### 2.4. Частковий контроль аналізу за результатами окремих визначень

Активна реакція води визначає її кислотність або лужність. Вода, як і кислоти, солі та луги, частково дисоціює на іони:



У хімічно чистій воді концентрація іонів водню дорівнює концентрації гідроксид-іона:  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$  моль/дм<sup>3</sup>.

Добуток концентрації цих іонів (за сталої температури):

$$k_w = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] \approx 10^{-14} = \text{const}. \quad (17)$$

Це означає, що досить визначити концентрацію одного з іонів (H<sup>+</sup> або OH<sup>-</sup>), 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 іонів водню:

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]. \quad (18)$$

Величина рН характеризує стан водного середовища:

- в нейтральному середовищі  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$  моль/дм<sup>3</sup>, тож рН = 7;
- якщо  $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$ , рН < 7 – середовище кисле;
- якщо  $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$ , 7 < рН < 14 – середовище лужне.

Результат аналітичного визначення рН можна перевірити розрахунком, знаючи вміст гідрокарбонат-іона і діоксиду вуглецю (IV). Обрахунок допустимий за умови, що окиснюваність води нижча за 5...6 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, мінералізація не перевищує 25 мг-екв/дм<sup>3</sup> аніонів, вміст діоксиду вуглецю більший за 10 мг/дм<sup>3</sup>.

Обрахунок проводять за формулою:

$$\text{pH} = 6,38 - \lg[\text{CO}_2] + \lg[\text{HCO}_3^-], \quad (19)$$

причому концентрації вуглекислого газу та гідрокарбонатів беруть у мг/дм<sup>3</sup>. Часто для обрахунку рН використовують номограму (див. рис.3). На рисунку наведений приклад

для визначення рН води, у якій вміст гідрокарбонат-іона становить 400 мг/дм<sup>3</sup>, а діоксиду вуглецю – 30 мг/дм<sup>3</sup>.

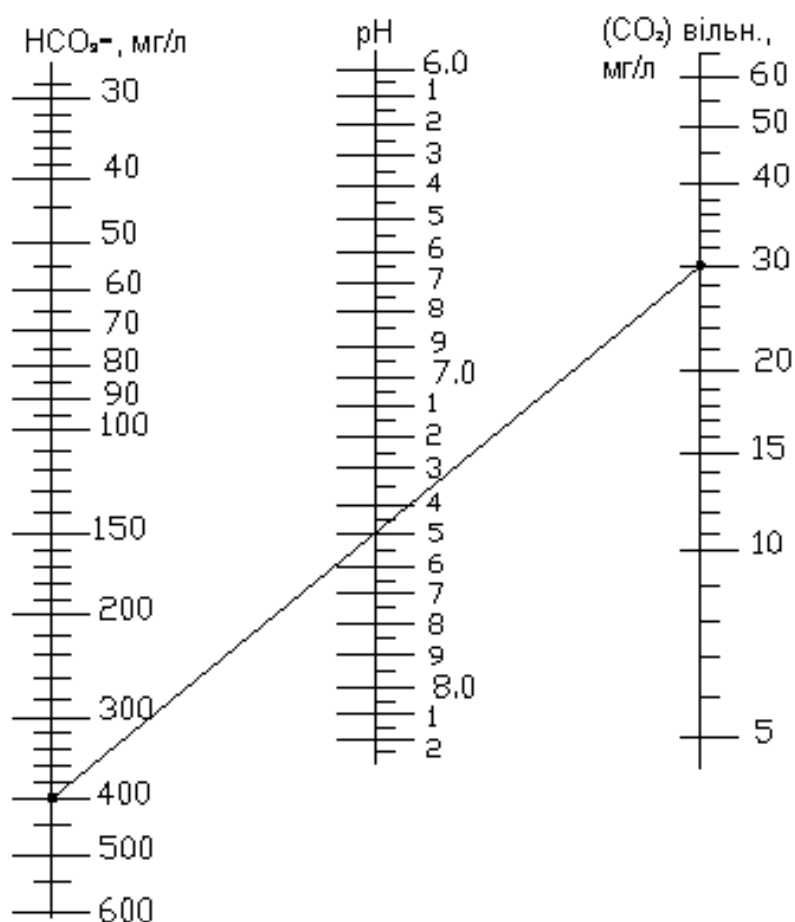


Рис.3. Номограма для визначення рН

Визначена загальна жорсткість  $\text{Ж}_3$  повинна дорівнювати сумі вмісту кальцію  $\text{Ж}_{\text{Ca}}$  і магнію  $\text{Ж}_{\text{Mg}}$ , мг-екв/дм<sup>3</sup>:

$$\text{Ж}_3 = \text{Ж}_{\text{Ca}} + \text{Ж}_{\text{Mg}}. \quad (20)$$

З урахуванням цього, контроль аналізу за загальною жорсткістю полягає в обробці результатів визначення масових концентрацій іонів  $\text{Ca}^{2+}$  та  $\text{Mg}^{2+}$  з переведенням їх у відповідні види жорсткості:

$$\text{Ж}_{\text{Ca}} = \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{M(1/Z \cdot \text{Ca}^{2+})}; \quad \text{Ж}_{\text{Mg}} = \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{M(1/Z \cdot \text{Mg}^{2+})}. \quad (21)$$

## 2.5. Задачі до розділу 2

3. За діаграмою гіпотетичного складу солей у воді (рис. 2) визначити: склад і концентрацію солей, загальну, карбонатну, некарбонатну, кальцієву і магнієву жорсткість. Написати, якими солями зумовлений кожний вид жорсткості.

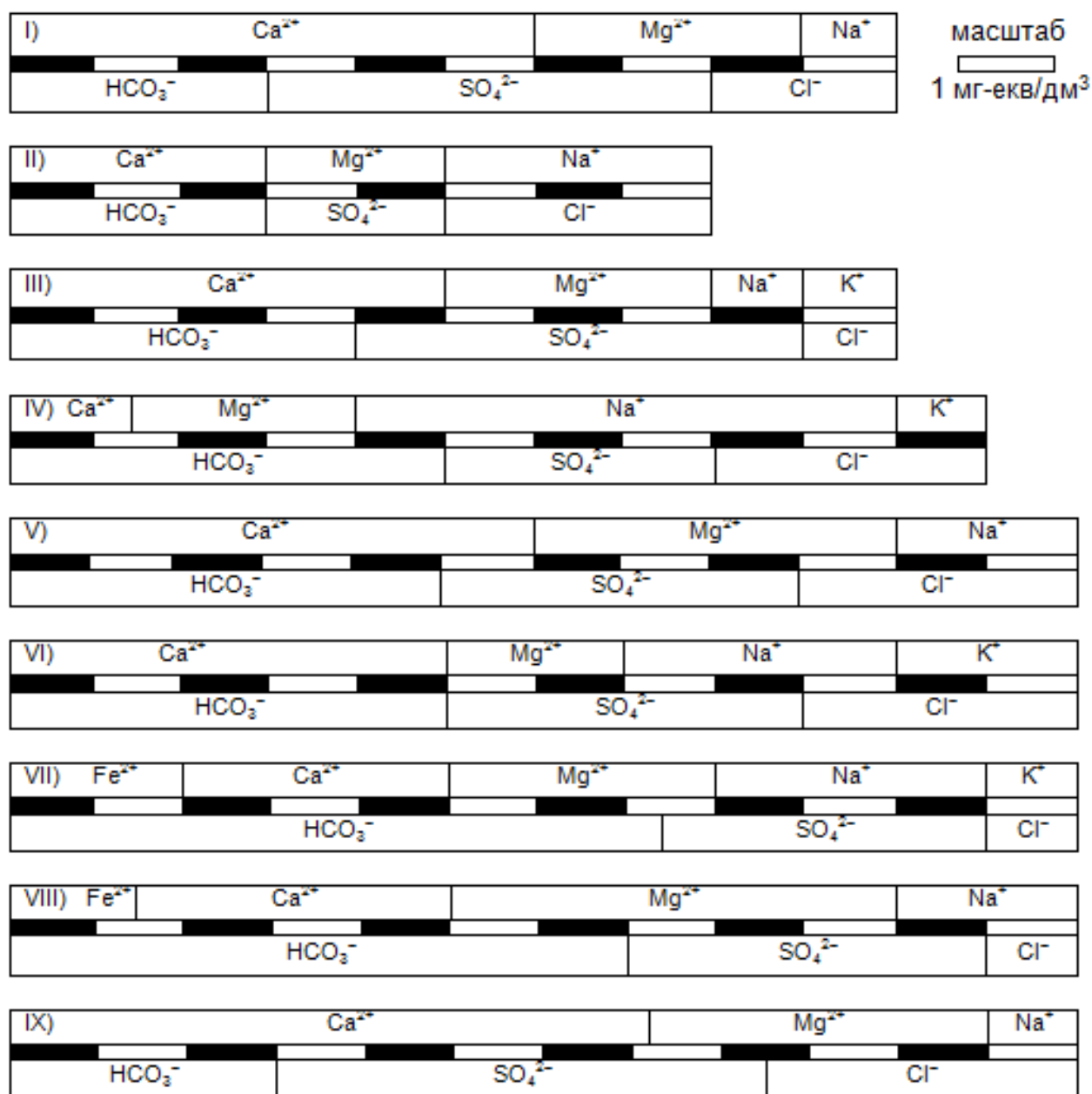


Рис.2. Діаграми гіпотетичного складу солей у воді

4. Визначити, користуючись рис. 2, для яких проб води результати аналізу такі, що однакові значення мають

- загальна  $J_3$  і карбонатна жорсткість  $J_K$ ;
- карбонатна жорсткість  $J_K$  і лужність  $L$ ;
- карбонатна жорсткість  $J_K$ , лужність  $L$  та кальцієва жорсткість  $J_{Ca}$ .

Дати відповіді на наведені вище запитання, розглянувши діаграми:

- |                    |                      |                       |                     |
|--------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| 4.1. – I, II, III  | 4.6. – III, V, VIII  | 4.11. – I, V, VI      | 4.16. – III, IV, VI |
| 4.2. – II, III, V  | 4.7. – I, IV, VII    | 4.12. – II, VI, IX    | 4.17. – I, II, VII  |
| 4.3. – III, IV, IX | 4.8. – II, V, IX     | 4.13. – III, IV, VIII | 4.18. – II, V, VIII |
| 4.4. – I, III, VI  | 4.9. – III, VI, VIII | 4.14. – I, III, IX    | 4.19. – III, IV, IX |
| 4.5. – II, IV, VII | 4.10. – III, VII, IX | 4.15. – II, IV, VI    | 4.20. – I, III, VI  |

5. Провести загальний контроль аналізу води, наведеного в табл.5, за еквівалентним вмістом іонів (формула 11). Визначити похибку виконання аналізів (формула 13) і порівняти її з допустимою (табл.3).

6. Провести загальний контроль аналізу води (табл.5) за щільним залишком (формула 14). Порівняти результат з допустимим значенням розбіжності (табл.4).

Таблиця 5

Домішки води	Концентрації домішок, мг/дм <sup>3</sup>									
	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Na <sup>+</sup>	18,4	20,7	34,5	16,1	25,3	4,6	23,7	36,6	17,5	77,1
K <sup>+</sup>	16,1	17,6	29,3	21,5	21,1	6,3	25,4	35,2	19,6	14,4
Ca <sup>2+</sup>	90,3	90,4	47,1	54,9	53,1	58,9	43,3	32,3	56,9	233,0
Mg <sup>2+</sup>	22,6	22,6	14,2	13,1	13,0	13,7	13,2	15,4	23,8	32,4
Fe <sup>2+</sup>	1,8	1,9	1,4	1,5	1,4	1,8	1,8	2,2	1,5	–
Fe <sup>3+</sup>	0,2	0,12	0,12	0,14	0,24	0,08	–	–	0,72	–
Mn <sup>2+</sup>	0,13	0,12	0,07	0,1	0,08	0,09	0,07	0,08	0,08	–
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,9	1,8	2,3	1,1	1,2	1,1	1,4	1,5	1,5	–
Cl <sup>–</sup>	2,2	2,5	3,6	3,0	3,6	2,0	2,8	14,2	6,7	66,8
SO <sub>4</sub> <sup>2–</sup>	36,0	36,5	23,5	10,0	15,5	–	–	5,2	13,0	420,2
HCO <sub>3</sub> <sup>–</sup>	408,8	414,9	311,2	280,7	292,9	256,3	292,8	311,2	335,6	386,1
SiO <sub>3</sub> <sup>2–</sup>	20,7	20,4	20,0	22,6	20,6	23,4	21,4	21,4	21,4	–
NO <sub>3</sub> <sup>–</sup>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	104,5
Щ.З.	426,6	432,8	363,9	322,5	328,9	262,7	316,7	356,3	347,7	1218,3
pH	7,3	7,3	7,4	7,3	7,3	7,2	7,5	7,4	7,2	–
CO <sub>2</sub>	46,0	44,0	29,0	40,0	38,0	39,0	24,0	25,0	42,0	–
Жзаг., [мг- екв/дм <sup>3</sup> ]	6,4	6,4	3,5	3,8	3,7	4,1	3,3	3,2	4,8	14,3

Домішки води	Концентрації домішок, мг/дм <sup>3</sup>									
	Варіант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Na <sup>+</sup>	19,1	21,2	40,8	12,7	15,6	12,2	45,6	26,7	35,1	18,5
K <sup>+</sup>	22,8	15,3	32,1	18,1	10,1	30,8	12,1	13,8	21,2	28,3
Ca <sup>2+</sup>	125,0	95,8	88,6	185,1	138,4	75,8	65,4	112,3	35,1	24,8
Mg <sup>2+</sup>	26,2	18,1	33,2	68,1	48,1	60,5	32,1	67,8	26,8	15,6
Fe <sup>2+</sup>	2,2	1,1	2,1	2,2	0,9	1,5	1,9	1,2	0,9	0,2
Fe <sup>3+</sup>	0,11	1,12	0,6	1,0	1,1	0,9	1,8	1,1	0,96	0,08
Mn <sup>2+</sup>	0,05	0,09	0,1	0,1	0,08	0,12	0,02	0,1	0,09	0,06
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,15	2,1	0,8	0,9	0,7	1,2	1,12	0,8	1,2	0,9
Cl <sup>-</sup>	11,5	98,1	22,6	16,5	18,2	90,5	76,4	15,5	17,1	45,1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	50,1	49,5	125,2	360,1	65,4	28,4	99,4	102,4	21,1	24,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	450,6	205,6	380,8	412,6	640,2	350,4	212,4	325,4	310,2	118,2
SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	20,1	13,8	10,5	32,8	11,6	41,2	25,4	30,8	20,5	15,6
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	–	17,8	–	25,5	–	16,0	–	–	38,1	–
ЩЗ,	515,1	480,4	560,5	1002,1	670,3	540,4	472,1	698,5	395,1	245,2
pH	7,6	7,0	7,4	7,3	7,9	7,3	7,1	7,2	7,2	6,9
CO <sub>2</sub>	27,0	45,0	40,0	45,0	20,0	38,0	42,0	51,0	48,0	36,0
Жзаг, [мг- екв/дм <sup>3</sup> ]	8,4	6,3	1,8	3,1	2,8	1,6	1,6	2,3	1,1	1,1

7. Визначити концентрацію іонів водню та гідроксид-іонів (формули 17,18) у розчині, рН якого становить:

<b>7.1.</b> – 1.5	<b>7.6.</b> – 6.6	<b>7.11.</b> – 11.4	<b>7.16.</b> – 6.8
<b>7.2.</b> – 2.2	<b>7.7.</b> – 7.5	<b>7.12.</b> – 12.7	<b>7.17.</b> – 5.2
<b>7.3.</b> – 3.7	<b>7.8.</b> – 8.3	<b>7.13.</b> – 10.2	<b>7.18.</b> – 4.3
<b>7.4.</b> – 4.4	<b>7.9.</b> – 9.8	<b>7.14.</b> – 8.3	<b>7.19.</b> – 3.2
<b>7.5.</b> – 5.3	<b>7.10.</b> – 10.1	<b>7.15.</b> – 7.4	<b>7.20.</b> – 2.7

8. Визначити рН розчину (формули 17,18), якщо концентрація гідроксид-іонів становить, моль/дм<sup>3</sup>:

<b>8.1.</b> – $2 \times 10^{-2}$	<b>8.6.</b> – $4 \times 10^{-7}$	<b>8.11.</b> – $3 \times 10^{-12}$	<b>8.16.</b> – $2 \times 10^{-7}$
<b>8.2.</b> – $3 \times 10^{-3}$	<b>8.7.</b> – $2 \times 10^{-8}$	<b>8.12.</b> – $4 \times 10^{-13}$	<b>8.17.</b> – $4 \times 10^{-9}$
<b>8.3.</b> – $4 \times 10^{-4}$	<b>8.8.</b> – $3 \times 10^{-9}$	<b>8.13.</b> – $2 \times 10^{-4}$	<b>8.18.</b> – $5 \times 10^{-8}$
<b>8.4.</b> – $2 \times 10^{-5}$	<b>8.9.</b> – $4 \times 10^{-10}$	<b>8.14.</b> – $4 \times 10^{-2}$	<b>8.19.</b> – $4 \times 10^{-3}$
<b>8.5.</b> – $3 \times 10^{-6}$	<b>8.10.</b> – $2 \times 10^{-11}$	<b>8.15.</b> – $3 \times 10^{-8}$	<b>8.20.</b> – $5 \times 10^{-5}$

9. Визначити, як зміниться рН чистої води ( $pH_0 = 7$ ), якщо до  $V_0$  дм<sup>3</sup> її додати  $V_1$  дм<sup>3</sup> заданої речовини в розчині, концентрацією  $C(M)$ , г/дм<sup>3</sup> (табл.6).

Таблиця 6

Варіант	$V_0$ , дм <sup>3</sup>	Речовина	$V_1$ , дм <sup>3</sup>	$C(M)$ , г/дм <sup>3</sup>	Варіант	$V$ , дм <sup>3</sup>	Речовина	$V_1$ , дм <sup>3</sup>	$C(M)$ , г/дм <sup>3</sup>
1	1,0	NaOH	1	0,05	11	0,25	HCl	0,25	0,5
2	0,5	KOH	0,5	0,5	12	0,2	HBr	0,02	0,5
3	0,3	HCl	0,2	0,005	13	0,1	KOH	0,01	0,05
4	2,0	HNO <sub>3</sub>	0,5	0,05	14	0,2	NaOH	0,2	0,05
5	1,6	Ca(OH) <sub>2</sub>	0,25	0,01	15	0,4	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,4	0,1
6	2,3	LiOH	1	0,01	16	1	LiOH	0,25	0,1
7	0,7	HI	0,1	0,05	17	0,2	HNO <sub>3</sub>	0,02	0,1
8	2,1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	0,001	18	0,8	Ca(OH) <sub>2</sub>	0,8	0,05
9	1,8	Ba(OH) <sub>2</sub>	1	0,01	19	1	Ba(OH) <sub>2</sub>	1	0,5
10	2,7	HBr	0,3	0,25	20	1,2	HI	1,2	0,05

10. Перевірити правильність визначення рН за вмістом  $HCO_3^-$  та  $CO_2$  за даними табл.5, користуючись номограмою (рис.3) та формулою (19). Визначити похибки виконання аналізу.
11. Перевірити розрахунком правильність аналітичного визначення загальної жорсткості (формули 20,21) за даними табл. 5. Визначити похибку виконання аналізу.
12. Визначити вміст заданої солі  $X$ , мг/дм<sup>3</sup>, у воді, жорсткість якої становить  $Ж_X$ , мг-екв/дм<sup>3</sup> (табл.7).

Таблиця 7

Варіант	Вид жорсткості	Значення жорсткості, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Сіль жорсткості	Варіант	Вид жорсткості	Значення жорсткості, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Сіль жорсткості
1	$Ж_{Ca}$	4,1	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	11	$Ж_{Ca}$	2,7	CaSO <sub>4</sub>
2	$Ж_{Mg}$	5,6	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	12	$Ж_{Mg}$	3,5	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
3	$Ж_{Ca}$	3,2	CaCl <sub>2</sub>	13	$Ж_{Ca}$	5,9	CaCl <sub>2</sub>
4	$Ж_{Mg}$	1,9	MgCl <sub>2</sub>	14	$Ж_{Mg}$	6,1	MgSO <sub>4</sub>
5	$Ж_{Ca}$	4,2	CaSO <sub>4</sub>	15	$Ж_{Ca}$	5,2	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
6	$Ж_{Mg}$	4,6	MgSO <sub>4</sub>	16	$Ж_{Mg}$	3,6	MgSO <sub>4</sub>
7	$Ж_{Ca}$	3,7	CaCl <sub>2</sub>	17	$Ж_{Ca}$	3,9	CaSO <sub>4</sub>
8	$Ж_{Mg}$	3,9	MgSO <sub>4</sub>	18	$Ж_{Mg}$	4,7	MgCl <sub>2</sub>
9	$Ж_{Ca}$	1,7	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	19	$Ж_{Ca}$	5,2	CaCl <sub>2</sub>
10	$Ж_{Mg}$	2,1	MgCl <sub>2</sub>	20	$Ж_{Mg}$	1,4	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>

## РОЗДІЛ 3. ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ

### 3.1. Базові положення

Якість води визначається складом, концентрацією і властивостями домішок, які в ній містяться. Вимоги до якості води залежать від її призначення: питна вода, вода для промислового чи сільськогосподарського виробництва та ін.

Якість питної води в Україні регламентується Державними санітарними нормами і правилами “Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною” (ДСанПіН 2.2.4-171-10), які затверджені 2010 року [6]. ДСанПіН встановлюють такі вимоги до питної води, які гарантують її безпеку для здоров’я людини і сприятливі органолептичні властивості.

Гігієнічні вимоги, що визначають придатність води для питних цілей, включають:

- безпеку в епідемічному відношенні;
- нешкідливість хімічного складу;
- сприятливі органолептичні властивості;
- радіаційну безпеку.

Безпека питної води в епідемічному відношенні визначається показниками, що характеризують відсутність в ній небезпечних для здоров’я споживачів бактерій, вірусів, інших біологічних включень.

Нешкідливість хімічного складу питної води визначається токсикологічними показниками, які характеризують відсутність у ній небезпечних для здоров’я речовин, що зустрічаються у природних водах, з’являються внаслідок забруднення водних джерел або у процесі водообробки.

Сприятливі органолептичні властивості питної води визначаються сукупністю органолептичних показників якості, а також вмістом у воді компонентів, які впливають на них.

Радіаційна безпека питної води визначається за гранично допустимими рівнями сумарної об’ємної активності  $\alpha$  – та  $\beta$  – випромінювачів.

### 3.2. Задачі до розділу 3

13. За результатами аналізів води, наведеними в табл. 8, визначити її придатність для пиття (не наведені в табл.8 показники якості води відповідають вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 [6]).
14. Досліджувана вода придатна для пиття за органолептичними і бактеріологічними показниками. Визначити її доброякісність, аналізуючи токсикологічні показники, наведені у табл.9.

Таблиця 8

Показник	Варіант																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Капітун., НОК	3,27	4,83	8,27	4,31	0,52	0,86	0,26	0,36	0,26	0,36	5,69	3,45	2,07	6,90	38,45	8,62	2,93	0,86	1,55	2,07
Забарвлен., градус	52	48	43	24	13	20	14	11	28	16	12	39	8	35	28	10	15	17	21	19
pH	7,9	7,7	6,65	8,2	7,9	6,6	6,95	7,6	7,53	6,98	7,51	7,43	7,65	7,30	7,76	6,93	7,21	7,56	6,98	6,50
Жорсткість, мг-екв/дм³	3,45	3,5	4,0	4,45	3,4	3,45	6,95	4,4	3,67	4,29	3,25	3,3	3,4	3,85	6,4	7,1	6,5	3,1	3,3	5,1
Хлориди, мг/дм³	50,0	53,5	20,35	59,86	24,16	26,6	55,0	42,1	30	63,5	14,0	42,5	7,0	8,5	2,3	30,0	25,3	17,1	16,1	157,1
Сульфати, мг/дм³	87,6	95,1	223,3	98,46	67,82	46,65	150,0	96,0	87,6	95,1	5,0	52,0	36,0	58,7	89,1	31,2	25,6	18,5	90,7	116,1
Алюміній, мг/дм³	0,04	0,04	0,12	0,13	0,50	0,23	0,01	0,14	0,70	0,02	0,50	0,23	0,01	0,14	0,70	0,02	0,04	0,04	0,12	0,13
Амоній, мг/дм³	0,38	0,34	0,48	0,3	0,21	0,12	0,24	0,14	0,003	0,003	0,48	0,3	0,21	0,12	0,14	0,003	0,38	0,34	0,003	0,003
Нітриги, мг/дм³	0,02	0,008	0,02	0,005	0,003	0,005	0,004	0,01	0,01	0,99	0,01	0,004	0,003	0,005	0,01	0,99	0,02	0,008	0,02	0,004
Нітрати, мг/дм³	2,0	1,4	1,5	1,4	1,19	0,02	3,5	0,01	21,1	3,0	23,1	3,5	56,0	1,4	0,09	0,42	46,4	0,61	25,8	50,9
Залізо заг., мг/дм³	0,14	0,35	0,1	0,11	0,05	0,18	0,27	0,31	0,12	0,17	1,81	0,17	0,22	1,95	0,26	0,22	0,15	1,10	0,23	0,32
Марганець, мг/дм³	0,06	0,15	0,05	0,1	0,05	0,009	0,01	0,02	0,02	0,024	0,1	0,05	0,009	0,06	0,15	0,05	0,02	0,02	0,024	0,11
Щільн. Зал., мг/дм³	382,4	408,8	530,3	306,9	287,1	257,0	467,1	231,0	362,1	400,2	356,7	220,1	140,9	325,4	425,6	585,6	280,9	459,8	1009,0	753,1
Фтор, мг/дм³	0,13	0,2	0,028	0,15	0,44	0,21	0,56	0,05	1,01	1,03	1,0	0,13	0,06	0,04	2,1	1,5	0,04	0,32	0,2	0,09
Окиснован., мгO₂/дм³	12,8	12,5	11,2	5,9	4,9	4,8	4,9	4,7	6,6	1,16	2,5	1,4	5,78	5,0	3,1	1,9	7,0	4,5	5,2	4,9



Таблиця 9

№ варіанта	Концентрація токсичних елементів, мг/дм <sup>3</sup>				
	Алюміній	Молібден	Свинець	Кадмій	Ртуть
1	--	0,05	0,005	--	0,00015
2	0,15	0,012	0,01	--	--
3	--	0,006	--	0,0001	0,00018
4	0,02	0,001	0,002	0,0003	--
5	--	0,04	--	0,00015	--
6	0,05	0,03	0,001	--	--
7	--	0,02	0,009	--	0,0002
8	0,125	--	0,008	0,0005	0,00005
9	0,053	0,03	0,0001	--	0,0003
10	--	0,06	--	0,0008	0,00006
11	0,05	0,001	0,003	--	--
12	0,075	0,012	--	0,0002	--
13	0,07	--	0,005	0,0001	--
14	--	0,025	0,009	0,001	0,00015
15	0,125	--	0,01	0,0008	0,0001
16	0,04	0,015	--	0,0009	0,0003
17	0,147	0,010	0,0085	0,0002	--
18	0,051	0,05	0,003	--	0,0003
19	--	0,039	0,0028	0,0005	0,00028
20	0,012	0,018	--	0,00078	0,00032

## РОЗДІЛ 4. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ВОДИ

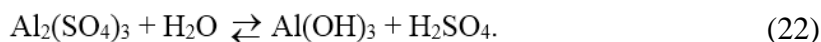
### 4.1. Базові положення

Необхідність обробки води виникає у випадку, коли якість води природного джерела не відповідає вимогам споживачів. Характер та ступінь невідповідності визначають вибір методів водопідготовки. Фізичні, хімічні і фізико-хімічні процеси, що використовуються для обробки природних вод, можна розділити на два класи:

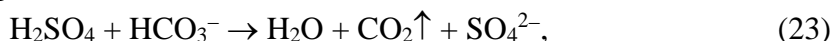
- процеси, пов'язані з коригуванням фізичних і хімічних властивостей води;
- процеси, що забезпечують знезараження води, тобто звільнення її від хвороботворних мікроорганізмів.

### 4.2. Контроль процесу коагулювання води

Позбавлення води від домішок, що надають їй каламутності та забарвлення здійснюється обробкою коагулянтами. Коагулянти являють собою солі слабких лугів та сильних кислот. Найчастіше використовуються сульфати та хлориди алюмінію або заліза, які у воді гідролізують:



За наявності у воді гідрокарбонатів, які зумовлюють її лужність, утворена при гідролізі кислота вступає в реакцію:



що перешкоджає перебігу зворотної реакції між кислотою та гідроксидом алюмінію.

Таким чином, при коагулюванні змінюється початковий хімічний склад води, зокрема, зменшується лужність та зростає вміст  $\text{CO}_2$ . Причому, як зменшення лужності  $\Delta\text{Л}$ , так і виділення вуглекислоти  $\Delta\text{CO}_2$  еквівалентні введеній у воду дозі коагулянту:

$$\Delta\text{Л} = \frac{D_K}{e_K} = \frac{\Delta\text{CO}_2}{e_{\text{CO}_2}}, \text{ мг-екв/дм}^3, \quad (24)$$

де  $\Delta\text{Л}$  – зменшення лужності води в результаті коагулювання, мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $D_K$  – доза введеного коагулянту, мг/дм<sup>3</sup>;  $e_K$  – еквівалент коагулянту (молярна маса еквіваленту,  $M(1/Z \cdot X)$ ), обчислюється за формулою 6), мг/мг-екв;  $\Delta\text{CO}_2$  – величина приросту вмісту вуглекислоти, мг/дм<sup>3</sup>;  $e_{\text{CO}_2}$  – еквівалент  $\text{CO}_2$ ,  $e_{\text{CO}_2} = 44$  мг/мг-екв.

### 4.3. Контроль стабільності води

Лужність води, представлена гідрокарбонатними аніонами  $\text{HCO}_3^-$ , та  $\text{CO}_2$  входять до рівняння динамічної вуглекислотної рівноваги, отже обумовлюють стабільність води:



Відповідно до вимог [7] слід проводити оцінювання стабільності води, що пройшла реагентну обробку.

Стабільність води визначається за кількома показниками. Стабільність води щодо бетонів оцінюється за індексом Ланжелє та показником стабільності.

- Індекс Ланжелє (індекс насичення води карбонатом кальцію) визначають за формулою:

$$I_L = \text{pH}_0 - \text{pH}_S, \quad (26)$$

де  $\text{pH}_0$  та  $\text{pH}_S$  – pH проби води та pH тієї ж води, насиченої карбонатом кальцію, відповідно. Вода вважається стабільною, якщо  $I_L = 0$  (допускається  $I_L = -0,3 \dots +0,3$ ), агресивною при  $I_L < 0$  та схильною до утворення осадів  $\text{CaCO}_3$  при  $I_L > 0$ .

- Показник стабільності визначається за формулою:

$$C_{\text{ст}} = \frac{L_0}{L_{\text{нас}}}, \quad (27)$$

де  $L_0$ , та  $L_{\text{нас}}$  – лужність проби води та лужність тієї ж води, насиченої карбонатом кальцію, відповідно. Вода вважається стабільною, якщо  $C_{\text{ст}} = 1$  (допускається  $C_{\text{ст}} = 0,8 \dots 1,2$ ), агресивною при  $C_{\text{ст}} < 1$  та схильною до утворення осадів  $\text{CaCO}_3$  при  $C_{\text{ст}} > 1$ .

- Індекс Різнера характеризує ступінь агресивності водних розчинів до металів:

$$I_R = 2\text{pH}_S - \text{pH}_0.$$

За значенням індексу Різнера воду оцінюють наступним чином.

Величина індексу Різнера	Характеристика води по відношенню до металу
4...5	Інтенсивні карбонатні відкладення
5...6	Слабкі карбонатні відкладення
6...7	Близька до рівноваги
7...7,5	Слабка корозія
7,8...8,5	Інтенсивна корозія
>8,5	Недопустима корозія

#### 4.4. Контроль процесу хлорування води

Видалення із води домішок біологічного походження здійснюється реагентними та безреагентними методами. Серед реагентних методів знезараження найбільш поширеною є обробка води хлором та хлоровмісними реагентами. Бактерицидний ефект хлору залежить від його початкової дози та тривалості контакту з водою.

Оптимальну дозу реагенту при хлоруванні води перед подачею її споживачу встановлюють шляхом проведення пробного хлорування, в результаті якого будується крива хлоропоглинання води за 30 хв. *Оптимальною* вважається така доза хлору, яка після 30-хвилинного контакту з водою забезпечує вміст залишкового хлору у воді в межах 0,3...0,5 мг/дм<sup>3</sup>.

#### 4.5. Задачі до розділу 4

- 15.** На станції очищення води була визначена лужність вихідної води  $L_0$  і лужність води після обробки її коагулянтном  $L_K$  (табл.10). Визначити дозу коагулянту  $D_K$ , мг/дм<sup>3</sup>, яка була використана для очищення води, та кількість виділеного  $CO_2$  у воді (формула 24).

Таблиця 10

Вар.	Лужність, мг-екв/дм <sup>3</sup>		Вид коагулянту	Вар.	Лужність, мг-екв/дм <sup>3</sup>		Вид коагулянту
	$L_0$	$L_K$			$L_0$	$L_K$	
<b>1</b>	5,1	3,7	$Al_2(SO_4)_3$	<b>11</b>	2,8	1,1	$FeCl_3$
<b>2</b>	2,8	2,2	$Al_2(SO_4)_3$	<b>12</b>	5,2	3,2	$FeCl_3$
<b>3</b>	4,0	3,3	$FeCl_3$	<b>13</b>	4,6	2,1	$Fe_2(SO_4)_3$
<b>4</b>	2,5	1,7	$FeCl_3$	<b>14</b>	3,2	2,8	$Fe_2(SO_4)_3$
<b>5</b>	3,8	1,5	$Fe_2(SO_4)_3$	<b>15</b>	3,7	1,2	$FeSO_4$
<b>6</b>	4,6	2,8	$Fe_2(SO_4)_3$	<b>16</b>	4,7	2,1	$FeSO_4$
<b>7</b>	3,3	2,4	$FeSO_4$	<b>17</b>	3,5	3,0	$Al_2(SO_4)_3$
<b>8</b>	4,9	2,2	$FeSO_4$	<b>18</b>	6,1	5,1	$Al_2(SO_4)_3$
<b>9</b>	5,7	4,2	$Al_2(SO_4)_3$	<b>19</b>	6,6	3,7	$FeCl_3$
<b>10</b>	6,1	3,7	$Al_2(SO_4)_3$	<b>20</b>	5,8	4,1	$FeCl_3$

16. Користуючись даними табл. 11, оцінити стабільність води (за індексами Ланжельє та Різнера) після обробки її заданою дозою коагулянту – сульфату алюмінію ( $e_k = 57$  мг/мг-екв). Для вирішення задачі необхідно визначити лужність та вміст  $\text{CO}_2$  у воді, обробленій заданою дозою коагулянту (формула 24). Показники  $\text{pH}_0$  і  $\text{pH}_5$  визначати за номограмами, які наведено на рис. 5 і 6.

Таблиця 11

Варіант	Вихідна вода		$D_k$ , мг/дм <sup>3</sup>	Вода після обробки коагулянтом		
	$L_0$ , мг-екв/дм <sup>3</sup>	$\text{CO}_2$ , мг/дм <sup>3</sup>		$P$ , г/дм <sup>3</sup>	$C_{Ca}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$t$ , °C
1	4,8	24	30	0,30	42	8
2	5,1	29	50	0,40	47	10
3	4,2	39	35	0,26	58	12
4	6,8	44	40	0,50	90	10
5	2,0	4	20	0,15	80	10
6	3,0	6	30	0,20	85	13
7	6,2	38	45	0,41	52	11
8	2,8	12	25	0,17	65	14
9	6,8	45	30	0,42	50	12
10	1,7	41	40	0,25	63	15
11	5,3	32	50	0,28	28	10
12	4,8	20	35	0,42	35	13
13	2,7	11	20	0,21	88	14
14	6,5	40	50	0,98	125	8
15	5,5	33	40	0,72	42	4
16	4,3	42	20	0,15	95	5
17	8,2	22	60	0,69	185	15
18	2,6	14	50	0,20	20	6
19	1,9	6	20	0,12	25	16
20	5,9	35	20	0,82	37	20

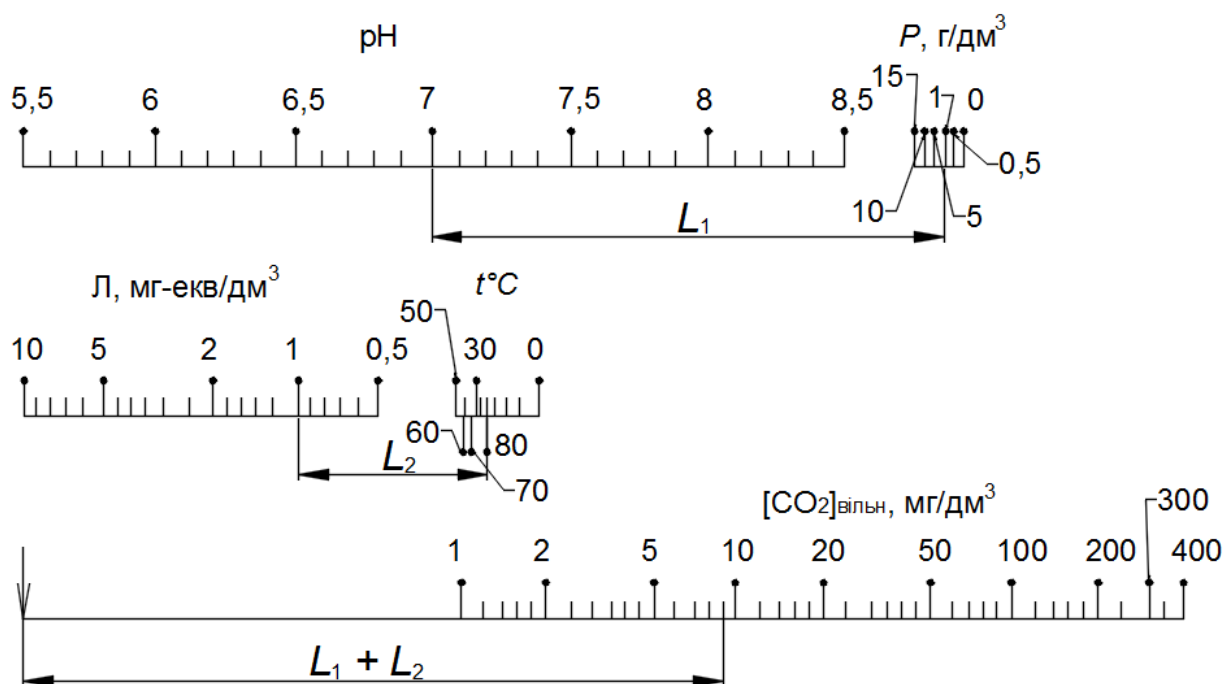


Рис. 5. Номограма для визначення  $pH_0$  природної води

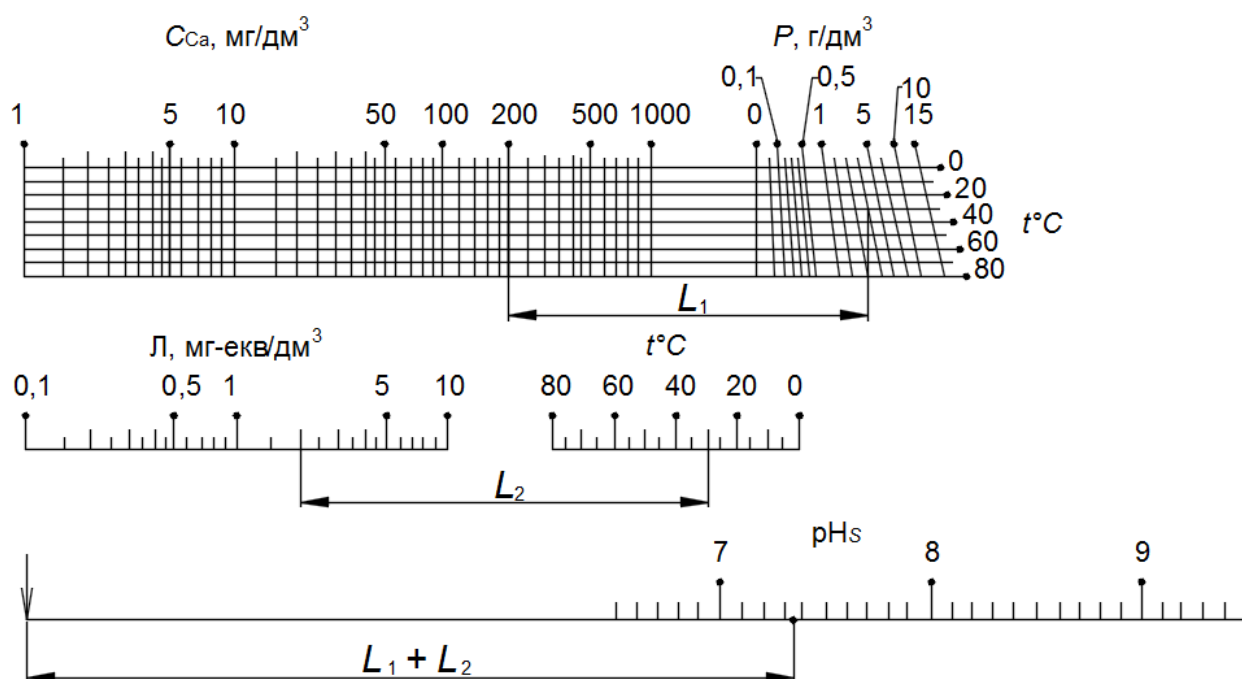


Рис. 6. Номограма для визначення  $pH$  води, насиченої карбонатом кальцію ( $pH_s$ )

17. Визначити показник стабільності води (формула 27), вміст гідрокарбонатів в якій становить  $C_{HCO_3^-}$ , мг/дм<sup>3</sup>, а лужність після контакту з бетоном –  $L_{нас}$ , мг-екв/дм<sup>3</sup> (табл.12).

Таблиця 12

Варіант	$C_{HCO_3^-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$L_{нас}$ , мг-екв/дм <sup>3</sup>	Варіант	$C_{HCO_3^-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$L_{нас}$ , мг-екв/дм <sup>3</sup>
1	250,2	3,9	11	307,1	4,2
2	147,1	1,7	12	379,1	3,1
3	190,0	3,2	13	92,0	1,5
4	310,5	5,1	14	165,0	1,5
5	235,3	3,8	15	244,5	4,5
6	116,2	2,43	16	300,1	4,3
7	188,1	4,1	17	170,9	5,1
8	365,2	6	18	233,1	2,4
9	257,3	5,7	19	280,6	6,7
10	203,0	3,5	20	347,7	5,6

18. Визначити оптимальну дозу хлору для знезараження води, крива хлоропоглинання якої подана на рис.4.

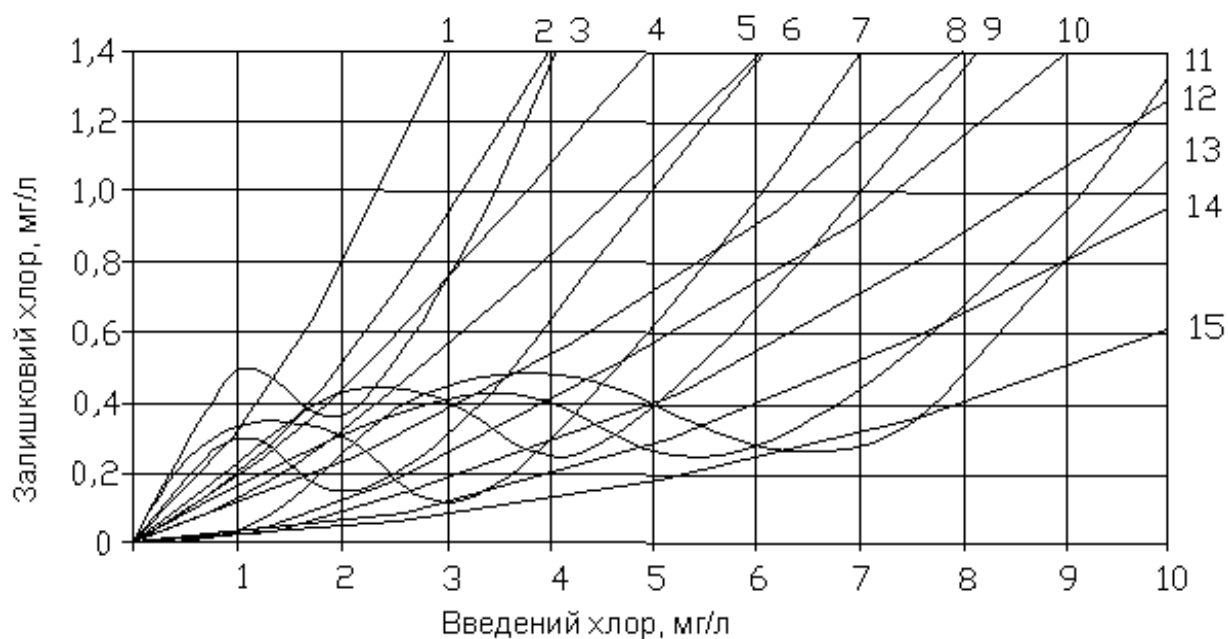


Рис. 4. Криві хлоропоглинання води

**ДОДАТОК**  
**Молярні маси деяких хімічних елементів**

Назва елемента	Символ	Молярна маса, г/моль	Назва елемента	Символ	Молярна маса, г/моль
Алюміній	Al	26.98	Нітроген	N	14.01
Аргентум	Ag	107.87	Осмій	Os	190.20
Арсен	As	74.92	Оксиген	O	16.00
Барій	Ba	137.33	Плюмбум	Pb	207.19
Берилій	Be	9.01	Селен	Se	78.96
Бісмут	Bi	208.98	Силіцій	Si	28.09
Гідроген	H	1.01	Сульфур	S	32.06
Йод	I	126.91	Станум	St	118.71
Калій	K	39.10	Стронцій	Sr	87.62
Кальцій	Ca	40.08	Телур	Te	127.60
Карбон	C	12.01	Ферум	Fe	55.85
Купрум	Cu	63.54	Фосфор	P	30.97
Магній	Mg	24.31	Фтор	F	19.00
Манган	Mn	54.94	Хлор	Cl	35.45
Меркурій	Hg	200.59	Хром	Cr	52.00
Молібден	Mo	95.94	Церій	Ce	140.12
Натрій	Na	22.99	Цинк	Zn	65.37

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. *Накорчевська В.Ф.* Хімія води. – К.: УСДО, 1993. – 107 с.
2. *Кульський Л.А., Накорчевская В.Ф.* Химия воды. – К.: Вища шк., 1983. – 239 с.
3. *Таубе П.Р., Баранова А.Г.* Химия и микробиология воды. – М.: Высш. Шк., 1983. – 280 с.
4. *Возная Н.Ф.* Химия воды и микробиология. – М.: Высш. Шк., 1979. – 341 с.
5. *Накорчевська В.Ф.* Микробиологія. Конспект лекцій. – К., КНУБА, 1998. – 66 с.
6. *Державні санітарні правила і норми «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання».* – К.: ІЖКГ Держбуду України, 1999. – 55 с.
7. *ДБН В.2.5-74:2013.* Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 280 с.

## ХІМІЯ ВОДИ ТА МІКРОБІОЛОГІЯ

Методичні вказівки до виконання контрольної роботи  
з дисципліни «Хімія води та мікробіологія»  
для бакалаврів спеціальностей  
192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
освітня програма «Водопостачання та водовідведення»  
194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»

Укладач: Аргатенко Тетяна Вікторівна