



НАЦІОНАЛЬНИЙ

УНІВЕРСИТЕТ

"КИЄВО-МОГИЛЯНСЬКА АКАДЕМІЯ"

---

Факультет природничих наук  
Кафедра хімії

# **МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ  
ПРИ ПІДГОТОВЦІ ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ З КУРСУ

**"ЗАГАЛЬНА ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ"**

ДЛЯ СТУДЕНТІВ  
ФАКУЛЬТЕТУ ПРИРОДНИЧИХ НАУК  
спеціальність "ХІМІЯ"

КИЇВ  
КОПІ-Центр  
НаУКМА

2005

Завдання та методичні рекомендації для самостійної роботи при підготовці до лабораторних робіт з курсу "Загальна хімічна технологія" для студентів факультету природничих наук . Спеціальність – "хімія" / Укл.: Забава Л.К., Цебренко М.В. – К.: НаУКМА, 2005. – 51 с.

Укладачі:

*Забава Луція Казимирівна, канд. техн. наук, доцент*  
*Цебренко Марія Василівна, д-р хім. наук, професор*

Рецензенти:

*Керча Ю.Ю., д-р хім. наук, професор, член-кореспондент НАНУ*  
*Бурбан А.Ф., канд. хім. наук, доцент*

Рекомендовано до друку  
Вченою Радою НаУКМА  
Протокол № 2 (7) від 3 березня 2005 р.

Основне завдання курсу "Загальна хімічна технологія" – вивчення загальних закономірностей хіміко-технологічних процесів, раціонального використання сировини, матеріалів та енергоресурсів, а також освоєння методів і засобів охорони навколишнього середовища. Цей курс має вагомe значення у формуванні майбутнього фахівця – інженера-хіміка як дослідника і технолога.

Дисципліна «Загальна хімічна технологія» є фундаментальною наукою, яка поєднала в собі неорганічну та органічну, фізичну та колоїдну хімії, хімію високомолекулярних сполук, фізику та багато інших інженерних дисциплін. Розширення асортименту хімічної продукції та модернізація виробництва хімічної промисловості сприяють розробці нових сучасніших способів виробництва та високоефективних технологічних процесів і апаратів.

Знання основних закономірностей і типових методів хімічної технології дозволяють використовувати на практиці найбільш раціональні технологічні процеси та способи виробництва хімічної продукції з врахуванням екологічних вимог щодо збереження та охорони повітря, води і ґрунтів. Звернення до інших природничих наук і екології може бути корисним доповненням до курсу та дозволить сформулювати засади безпеки і стабільності життєдіяльності людства.

Лабораторна робота і практичний досвід є вагомим внеском у підготовку інженерів і дослідників з метою набуття необхідного уміння у науковій роботі: відточення майстерності вимірювання та аналізу. Крім того, виконання лабораторно-практичних робіт використовується як метод викладання, який дає можливість студентам побачити і переконатися в тому, як наукові принципи здійснюються на практиці, та власноручно їх реалізовувати.

Мета цих методичних рекомендацій – навчити студентів застосовувати теоретичні знання з хімічної технології при виконанні конкретних лабораторних робіт, для аналізу та оцінки експериментальних даних і складення письмового звіту. Опис цілей експерименту повинен допомогти студентам знайти правильний результат, а письмовий звіт про виконаний експеримент – навички для написання наукових звітів і повідомлень, а також нормативної технологічної документації.

Пропоновані методичні рекомендації призначено для самостійної підготовки студентів до лабораторних занять, а також контролю їхніх знань і готовності до проведення лабораторних дослідів. Для цього подано завдання та контрольні запитання до відповідної теми та список рекомендованої літератури. Робота студентів з рекомендованою літературою є однією з основних форм вивчення дисципліни.

Приступаючи до виконання практичних занять у лабораторії, студент повинен знати і дотримуватися правил техніки безпеки та методики роботи з лабораторним обладнанням і хімічними речовинами та реактивами.

### **Правила техніки безпеки під час роботи в лабораторії:**

1. Будь-яку роботу в лабораторії студент повинен виконувати, будучи вдягненим у халат. При потребі необхідно використовувати гумові рукавички, респіратори, захисні окуляри та інші засоби захисту.
2. Під час проведення дослідів слід підтримувати порядок на робочому місці.
3. Усі досліді з леткими, отруйними та горючими речовинами проводити у витяжній шафі з ввімкненою тягою (та засобами гасіння пожежі, при потребі).
4. Не їсти в лабораторії.
5. Для відбирання проб реактивів використовувати ложки та шпателі, а не брати їх руками, не куштувати їх на смак.
6. Для визначення запаху речовини потрібно спрямовувати повітря рухом долоні від посудини з речовиною до себе.
7. При нагріванні пробірки з розчином її отвір спрямовують у бік від себе і товаришів.
8. При розбавлянні концентрованих кислот їх необхідно вливати у воду, а не навпаки.
9. Забороняється кидати у раковину шматочки металів, карбід у кальцію, зливати кислоти, луги, ефіри, в'язкі речовини. Відпрацьовані реактиви зливають або поміщають у спеціально призначені посудини.

## Перша допомога при опіках і отруєннях

1. При термічних опіках уражене місце треба промити розчином калій перманганату і змастити емульсією від опіків.
2. При опіках шкіри кислотами спочатку добре промивають місце опіку водою, а потім розчином натрій гідрокарбонату, при опіках лугами – 1%-ним розчином оцтової кислоти.
3. При опіках шкіри їдкими органічними речовинами уражене місце промивають етиловим спиртом.
4. При потрапленні на шкіру фенолу її промивають водою, а потім розбавленим розчином аміаку.
5. При потрапленні у дихальні шляхи хлору чи бромиду спочатку потрібно подихати парою етилового спирту, а потім вийти на свіже повітря.
6. При потрапленні лугу чи кислоти в очі необхідно промити їх теплою водою, а потім 2%-ним розчином борної кислоти (щоб нейтралізувати луг) або 1%-ним розчином натрій гідрокарбонату (щоб нейтралізувати кислоту).

# ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИСТКИ ВОДИ ТА ВОДОПІДГОТОВКА

У хімічній промисловості воду використовують як сировину для багатьох хімічних процесів, наприклад, у виробництві гідрогену, кисню, сульфатної та нітратної кислот, соди, натрій гідроксиду, а також у різних реакціях гідратації та гідролізу. Використовується вода і як універсальний розчинник для переважної більшості твердих, рідких і газоподібних речовин, для механічної промивки твердих матеріалів і газів, для пульпування сипких матеріалів при їх збагаченні. Велику кількість води використовують як теплоносії, холодоагент і як середовище для проведення хімічних процесів. Водяна пара та нагріта (або перегріта) вода застосовуються для підведення тепла в ендотермічних процесах для нагрівання взаємодіючих речовин і прискорення багатьох процесів. Крім того, вода широко використовується як робоче тіло у гідравлічних, теплових і атомних електростанціях. На великих підприємствах витрачають до мільйона кубометрів води за добу. Частина води (здебільшого технологічна) після охолодження чи очистки знову повертається у виробничий процес (обігова вода). Проте більшість її перетворюється все ж таки на стічні води, які, потрапляючи у водойми планети, забруднюють їх.

На багатьох підприємствах працюють установки для очищення води, забрудненої відходами хімічних продуктів, у багатьох містах введено у дію споруди біологічного очищення міських стічних вод. Боротьбі із забрудненням відкритих водойм, а також зберіганню їх у стані, придатному для використання людством і рослинним світом, стараються приділяти багато уваги. Основним напрямком збереження природних водних ресурсів і вирішення екологічних проблем є широке використання у промисловості обігової води, організація замкнених безстічних виробництв.

## І. ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ ВОДИ

### **Мета роботи.**

Практичне ознайомлення з методами визначення та контролю жорсткості води у технології водоочищення і водопідготовки.

### **Теоретичні відомості.**

Залежно від призначення воду умовно поділяють на промислову та питну.

До води, яку використовують у промисловості для технологічних або теплотехнічних потреб, ставлять жорсткі умови щодо вмісту в ній розчинених солей та інших речовин, механічних домішок, колоїдних часточок, мікроорганізмів, які можуть зашкодити перебігу хімічних процесів, або утворювати накип і шлам, призводити до корозії матеріалу апаратів, котлів, труб та іншого технологічного обладнання.

Питну воду та господарсько-питну, яка використовується у харчовій та бродильній промисловості, перш за все знезаражують і очищають. Вона має бути прозорою, безбарвною, без запаху та смаку, містити дуже обмежену кількість домішок і головне – не шкідливою для організму. Вимоги до якості питної води встановлено відповідним державним стандартом.

Основні показники якості води: жорсткість, загальний вміст солей, прозорість, окиснюваність, колір і активна реакція води.

Розрізняють **тимчасову, сталу та загальну жорсткість** води.

*Тимчасова* (карбонатна) жорсткість зумовлена наявністю у воді бікарбонатів кальцію та магнію, яких легко позбутися кип'ятінням води.



*Стала* (некарбонатна) жорсткість зумовлена вмістом у воді хлоридів, сульфатів і нітратів кальцію та магнію, які не випадають в осад при кип'ятінні. Тимчасова і стала жорсткості в сумі складають *загальну жорсткість* води.

Жорсткість води вимірюють у міліграм-еквівалентах йонів кальцію чи магнію, які містяться у складі солей, в 1 дм<sup>3</sup> води. Жорсткість води повинна бути не більше 6,4 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Існує класифікація природних вод за жорсткістю:

дуже м'яка – до 1,5 мг-екв/дм<sup>3</sup>;

м'яка – 1,5 – 3 (мг-екв/дм<sup>3</sup>);

середня – 3 – 6 (мг-екв/дм<sup>3</sup>);

жорстка – 6 – 10 (мг-екв/дм<sup>3</sup>);

дуже жорстка – більше 10 мг-екв/дм<sup>3</sup>

**Загальний вміст солей** або сухий залишок – це маса мінеральних і органічних домішок, яка залишається після випарювання води та висушування отриманого залишку при 105-110°C. Вміст йонів хлору і сульфату не повинен перевищувати 40-60 мг/дм<sup>3</sup>, йонів нітрату – не

більше  $20 \text{ мг/дм}^3$ , вміст хлору – не менше  $0,1 \text{ мг/дм}^3$ . Йонів нітриту, амонію та гідрогенсульфуру у питній воді взагалі не повинно бути.

**Прозорість** вимірюється товщиною шару води, крізь який візуально чи за допомогою фотоелемента можна розрізняти зображення стандартних знаків.

**Окиснюваність** води – це умовна величина, що характеризує забруднення води різними речовинами органічного та неорганічного походження ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ), здатними до окиснення, і визначається масою кисню, який витрачається на окиснення цих речовин, що містяться у  $1 \text{ дм}^3$  води. Окиснюваність артезіанських вод повинна становити не більше  $3 \text{ мг/дм}^3$  за киснем, чистих озерних вод –  $5\text{--}8 \text{ мг/дм}^3$ , річкових вод – до  $60 \text{ мг/дм}^3$ , болотяних вод – до  $400 \text{ мг/дм}^3$ .

Залежно від хімічної природи речовин окиснюваність буває *дихроматна та перманганатна*.

Для визначення загальної кількості органічних речовин (і неорганічних речовин – відновників), присутніх у воді, в тому числі й тих, що окиснюються повільно, використовують такий показник, як дихроматна окиснюваність води. Окиснення здійснюють сильним окиснювачем калій дихроматом у концентрованій сульфатній кислоті під час кип'ятіння (окиснюються практично всі органічні сполуки, навіть важкоокиснювані). Дихроматна окиснюваність води вважається одним з головних екологічних показників водойм.

При визначенні перманганатної окиснюваності води у м'яких умовах як окисник використовують розчин калій перманганату у кислому середовищі (окиснюються лише легкоокиснювані органічні та деякі неорганічні сполуки).

Титр розчину окисника певної нормальності визначають як кількість кисню в  $\text{мг на } 1 \text{ см}^3$  цього розчину:

$$T_{\text{ок-відн}} = 8 \cdot N,$$

де  $N$  – нормальність окисника,  $8$  – грам-еквівалент кисню ( $1 \text{ н. розчин окисника еквівалентний } 8 \text{ мг/см}^3$  активного кисню).

**Активна реакція води** – кислотність або лужність – визначається концентрацією йонів гідрогену чи визначенням  $\text{pH}$  середовища. Реакція природних вод близька до нейтральної,  $\text{pH} = 6,5\text{--}8,5$ .

Природну воду, яка потрапляє на виробництво, очищають різними методами залежно від характеру домішок і вимог конкретного



виробництва. Основними операціями водопідготовки є: освітлення, пом'якшення та знесолення води, знезаражування та дегазація.

**Освітлення** води здійснюється методами осадження домішок колоїдних розмірів (найдрібніших глинистих часточок і білкових речовин) на основі коагуляції. Ці методи ще називають реагентними, бо використовують спеціальні реагенти – коагулянти, такі як сульфати заліза чи алюмінію. Відстоювання від грубих домішок здійснюється у великих відстойниках постійної дії. Дрібні часточки відфільтровують через пісок, сульфовугілля, керамзит, целюлозу тощо.

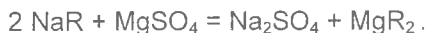
Пом'якшення та знесолення води – основні операції водопідготовки, які полягають у видаленні солей кальцію, магнію та інших металів.

Існують *фізичні, фізико-хімічні та хімічні* способи пом'якшення води.

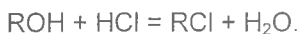
*Фізичні способи* – термічний (кип'ятіння), дистиляція та виморожування. Термічним способом усувають тимчасову жорсткість води. Багаторазовою дистиляцією можна досягнути повної очистки води від домішок.

До *фізико-хімічних способів* належать електрохімічні, в основі яких явища електролізу, електроосмосу, електрокоагуляції, та іонообмінні способи.

Іонообмінні способи – видалення з води йонів кальцію та магнію за допомогою йонітів. Процеси катіонного обміну описані такими рівняннями:



Для повного знесолення (деіонізації) воду після катіонітового фільтра пропускають через аніонітовий:

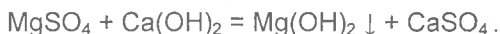
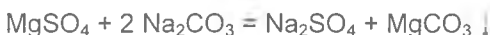
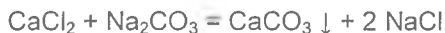
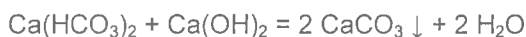


Серед електрохімічних способів очищення води особливо цікавими є електродіаліз та електрокоагуляція, за допомогою якої ще отримують алюміній гідроксид з високою сорбційною здатністю щодо шкідливих домішок.

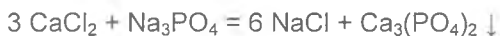
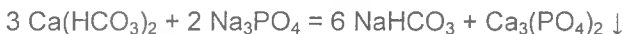
*Хімічні способи* пом'якшення води полягають в обробці її розчинами хімічних реагентів з метою зв'язування йонів кальцію та магнію у нерозчинні сполуки, які легко видалаються. До таких способів

належать: вапняковий, натронний, содовий, фосфатний та комбіновані способи – вапняково-содовий і натронно-содовий. Застосовуючи вапняковий спосіб воду обробляють вапняним молоком, натронний – розчином натрій гідроксиду, содовий – розчином кальцинованої соди  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , фосфатний – тринатрійфосфатом, натронно-содовий – розчином натрій гідроксиду і кальцинованої соди, вапняково-содовий – вапняним молоком і розчином  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Найпоширенішим є порівняно дешевий вапняково-содовий спосіб обробки води. У цьому випадку кальцієві та магнієві солі перетворюються на нерозчинні  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  і  $\text{MgCO}_3$  за такими рівняннями реакцій:



Фосфатний спосіб полягає в обробці води тринатрійфосфатом:

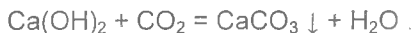


Розчинність фосфатів кальцію та магнію у воді мізерно мала, що визначає високу ефективність фосфатного способу (вміст солей зменшується приблизно до  $0,03 \text{ мг-екв/дм}^3$ ). Проте цей спосіб пом'якшення порівняно дорогий, тому його застосовують у комбінованих схемах, де основну масу солей усувають з води, використовуючи вапняне молоко або соду, а остаточно пом'якшують за допомогою фосфатів.

Знезараження води здебільшого здійснюють хлором або хлорним вапном, рідше – озоном.

Дегазація – це видалення з води розчинених у ній газів  $\text{CO}_2$  і  $\text{O}_2$ . Газу у воді спричиняють небезпеку внаслідок утворення повітряних пробок, які можуть призвести до порушення технологічного процесу. Розчинені газу можуть викликати також корозію апаратів і трубопроводів.

Фізичні способи дегазації обмежуються частковим виділенням газів з води при кип'ятінні або нагріванні у вакуумі. Хімічні методи дегазації – це обробка води різними реагентами. Так, для зв'язування  $O_2$  використовують залізні ошурки або стружки, а  $CO_2$  видаляють пропускаючи воду через фільтр, заповнений гашеним вапном, або додаванням вапняного молока:



Ці методичні рекомендації ознайомлять зі стандартними методами визначення жорсткості, окиснюваності, загального вмісту солей та вмісту  $CO_2$  у воді.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

### 1.1. Визначення жорсткості води

**1.1.1. Карбонатна (тимчасова) жорсткість** визначається титруванням  $100\text{ см}^3$  води  $0,1\text{ н.}$  розчином  $HCl$  з індикатором метилоранжем до зміни забарвлення на рожеве.

Карбонатну жорсткість ( $\text{мг-екв/дм}^3$ ) обчислюють за формулою:

$$Ж_{\kappa} = \frac{V_1 \cdot N}{V_2} \cdot 1000 ,$$

де  $V_1$  – об'єм  $HCl$ , використаний на титрування,  $\text{см}^3$ ;

$N$  – нормальність кислоти;

$V_2 = 100$  – об'єм води, взятої для аналізу,  $\text{см}^3$ .

**1.1.2. Визначення загальної жорсткості натронно-содовим методом**

$100\text{ см}^3$  аналізованої води кип'ятять протягом 5-10 хв для видалення диоксида карбону. Далі за допомогою циліндра доливають  $25\text{ см}^3$  суміші  $0,1\text{ н}$  розчинів  $NaOH$  і  $Na_2CO_3$ , взятих у рівних об'ємах (по  $12,5\text{ см}^3$ ), і знову кип'ятять протягом 5-10 хв для осадження солей кальцію та магнію. Після охолодження розчин разом з осадом кількісно переносять у мірну колбу вмістом  $250\text{ см}^3$  і доводять до мітки дистильованою водою. Осад відфільтровують, піпеткою відбирають  $100\text{ см}^3$  фільтрату і титрують  $0,1\text{ н}$  розчином  $HCl$  в присутності метилоранжу. Паралельно проводять холостий дослід. Для цього до

100 см<sup>3</sup> дистильованої води додають 25 см<sup>3</sup> суміші 0,1 н розчинів NaOH і Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, взятих у рівних об'ємах, і титрують 0,1 н розчином HCl.

Результати записують до таблиці.

Ж <sub>к</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>0</sub>	Ж <sub>з</sub>	Ж <sub>н</sub>

де V<sub>1</sub> – об'єм мірної колби, см<sup>3</sup>;

V<sub>2</sub> – об'єм води для аналізу см<sup>3</sup>;

V<sub>3</sub> – об'єм фільтрату, см<sup>3</sup>;

V<sub>4</sub> – об'єм HCl, використаний на титрування розчину, см<sup>3</sup>;

V<sub>0</sub> – об'єм HCl, використаний у холостому досліді, см<sup>3</sup>;

H – нормальність розчину.

Загальну жорсткість води (мг-екв/дм<sup>3</sup>) визначають за формулою:

$$Ж_з = \frac{(V_0 - V_1/V_3 \cdot V_4) \cdot H \cdot 1000}{1000 \cdot V_2} \cdot 1000 .$$

Враховуючи, що H = 0,1 а V<sub>1</sub> = 250 см<sup>3</sup>, V<sub>2</sub> = 100 см<sup>3</sup>, V<sub>3</sub> = 100 см<sup>3</sup>, отримуємо спрощену формулу для розрахунку загальної жорсткості води:

$$Ж_з = (V_0 - 2,5 \cdot V_4).$$

**1.1.3. Некарбонатна (стала) жорсткість** визначається як різниця між загальною і карбонатною жорсткістю:

$$Ж_н = Ж_з - Ж_к .$$

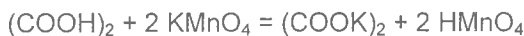
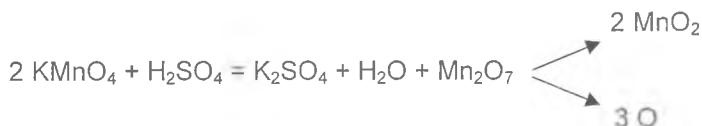
## 1.2. Визначення окиснюваності води

Окиснюваність води характеризується кількістю мг кисню, потрібного для окиснення органічних речовин, що містяться в 1 дм<sup>3</sup> води. В чистих водах окиснюваність становить приблизно 1,0-2,0 мг/дм<sup>3</sup> кисню.

Для виконання аналізу відміряють піпеткою 100 см<sup>3</sup> досліджуваної води і переносять її в конічну колбу вмістом 250-300 см<sup>3</sup>, додають 5 см<sup>3</sup> 30%-го розчину H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Далі за допомогою піпетки доливають 10 см<sup>3</sup>

0,01 н розчину  $\text{KMnO}_4$  і перемішують. Забарвлену калій перманганатом воду, накривши колбу годинниковим склом, кип'ятять протягом 10 хв. Після охолодження за допомогою піпетки доливають в колбу  $10 \text{ см}^3$  0,01 н. розчину щавлевої кислоти і добре перемішують до знебарвлення, відтитровують її надлишок 0,01 н. розчином  $\text{KMnO}_4$  до появи світло-рожевого забарвлення, стійкого протягом 1-2 хв.

Хімічні процеси описуються такими рівняннями реакцій:



Окиснюваність води **A** в мг кисню на  $1 \text{ дм}^3$  води, визначають за формулою:

$$A = 1000/100 \cdot [(V + V_1) \cdot 8 N_1 - 8 V_2 \cdot N_2]$$

де **V** – об'єм розчину  $\text{KMnO}_4$ , долитого до  $100 \text{ см}^3$  води,  $\text{см}^3$ ;

**V<sub>1</sub>** – об'єм розчину  $\text{KMnO}_4$ , витраченого на зворотне титрування надлишку щавлевої кислоти,  $\text{см}^3$ ;

**V<sub>2</sub>** – об'єм щавлевої кислоти, долитої до води  $\text{см}^3$ ;

**N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>** – нормальність розчинів, відповідно,  $\text{KMnO}_4$  і щавлевої кислоти.

Оскільки **V** = **V<sub>2</sub>** =  $10 \text{ см}^3$ , а **N<sub>1</sub>** = **N<sub>2</sub>** = 0,01; розрахунок окиснюваності води здійснюють за формулою:

$$A = 0,8 \cdot V_1 .$$

### 1.3. Визначення вмісту диоксида карбону

Основними джерелами  $\text{CO}_2$  в природних водах є атмосферне повітря, дихання рослин і тварин, розкладання органічних решток тощо. Перевищення норм кількості  $\text{CO}_2$  спричинює порушення функціонування водних екосистем.

В конічну колбу відміряють 200 см<sup>3</sup> аналізованої води, додають кілька крапель 1%-го розчину фенолфталеїну в 60%-му спирті і злегка перемішують, не збовтуючи, для запобігання насичення її повітрям. Поява рожевого забарвлення інтенсивнішого, ніж еталонного розчину, свідчить про відсутність у воді вільного CO<sub>2</sub>.

Якщо вода залишилася безбарвною, її титрують 0,1 н. розчином NaOH до появи ледь помітного, але тривалого рожевого забарвлення, такого який має еталонний розчин. Під час титрування розчин у колбі не збовтують, а обережно обертають, щоб уникнути розчинення у воді CO<sub>2</sub> з повітря.

Кількість диоксиду карбону у воді (мг/дм<sup>3</sup>) визначають за формулою:

$$C = E \cdot V_1 \cdot N \cdot 1000 / V,$$

де E = 44 – еквівалент вільного CO<sub>2</sub>;

N – нормальність розчину NaOH;

V<sub>1</sub> – об'єм розчину NaOH, витраченого на титрування, см<sup>3</sup>;

V = 200 – об'єм аналізованої води см<sup>3</sup>.

#### 1.4. Визначення загального вмісту солей

Загальний вміст солей у воді визначають за сухим залишком, який свідчить про наявність у воді як мінеральних, так і частково органічних домішок, які не розкладаються при температурі до 105°C.

У прожарену, охолоджену та зважену фарфорову чашку поміщають 30 см<sup>3</sup> аналізованої води. Воду випарюють на водяній бані до сухого залишку. Потім переносять чашку із залишком у сушильну шафу і висушують при 105°C до сталої маси. Перед зважуванням чашку охолоджують в ексікаторі. Загальний вміст солей (мг/дм<sup>3</sup>) визначають за формулою:

$$X = (m - m_0) \cdot 1000 / V,$$

де m і m<sub>0</sub> – маса фарфорової чашки з сухим залишком і порожньої, мг;

V = 30 – об'єм води для аналізу, см<sup>3</sup>.

### Прилади та посуд (шт.):

1. Терези аналітичні (технічні)	- 1
2. Шафа сушильна	- 1
3. Електроплитка	- 1
4. Водяна баня	- 1
5. Ексикатор	- 1
6. Штатив з бюретками	- 3
7. Стакани хімічні	- 4
8. Піпетка на 10 см <sup>3</sup>	- 1
9. Мірний циліндр на 25 см <sup>3</sup>	- 1
10. Піпетка на 100 см <sup>3</sup>	- 1
11. Колба конічна (250см <sup>3</sup> )	- 6
12. Колба мірна (250 см <sup>3</sup> )	- 1
13. Воронки	- 2
14. Крапельниці для розчинів індикаторів	- 2
15. Чашки фарфорові (для випарювання)	- 2
16. Мірний циліндр (200 см <sup>3</sup> )	- 1
17. Годинникове скло	- 1
18. Груша гумова	- 1
19. Фільтрувальний папір.	

### Реактиви, см<sup>3</sup> :

1. Дистильована вода	- 300
2. Розчин HCl 0,1 н	- 100
3. Розчин NaOH 0,1 н	- 50
4. Розчин Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 0,1 н	- 40
5. Розчин KMnO <sub>4</sub> 0,1 н	- 40
6. Розчин H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 30%	- 10
7. Розчин H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 0,1 н	- 20
8. Силікагель для ексикатора	
9. Індикатори: метилоранж, фенолфталеїн	

### Контрольні запитання і завдання:

1. Що таке кругообіг води у природі та які його основні елементи?
2. За якими показниками визначають якість води?
3. Для яких цілей в хімічній технології використовується вода?
4. Які вимоги ставлять до води, яку використовують у промисловості як теплоносії?
5. Призначення і зміст основних операцій водопідготовки.
6. У чому полягає суть методу визначення окиснюваності води?

7. Перелічіть хімічні методи пом'якшення води. Напишіть рівняння реакцій, які відбуваються при додаванні до жорсткої води різних реагентів.
8. Розрахувати тимчасову, сталу та загальну жорсткість води, у 3 л якої міститься 7 г  $\text{CaCl}_2$ , 2 г  $\text{MgSO}_4$  і 1,5 г  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Скільки потрібно 0,1 н. розчину  $\text{NaOH}$  і 0,5 н. розчину  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  для пом'якшення 5 м<sup>3</sup> такої води?
9. З якою метою використовують водообігові цикли в промисловості?
10. Стічні води та методи їх очищення.
11. У чому полягає суть біохімічних і фізико-хімічних методів очищення стічних вод?
12. Хімічні методи очищення стічних вод і необхідне промислове обладнання.

### Рекомендована література

1. Хімічна технологія. Гончаров А.І., Середа І.П. // Київ, ГВВО «Вища школа», 1980.
2. Общая химическая технология. Под ред. И.П. Мухленова. // М.: Высшая школа, 1983.
3. Гончаров А.І., Михайленко В.П. Хімічна технологія. Практикум. // Київ, ГВВО «Вища школа», 1982.
4. Практикум по общей химической технологии. Под ред. И.П. Мухленова. // М.: Высшая школа, 1979.
5. Цебренько М.В., Ніколаєва А.П. Методичні вказівки до самостійної роботи при підготовці до лабораторних занять з дисципліни «Загальна хімічна технологія та основи промислової екології» / Київ, КТІЛП. – 1991.
6. Білявський Г.О., Бутченко Л.І., Навроцький В.М. Основи екології (теорія та практикум). // Київ, Вид-во «Лібра», 2000.
7. Білявський Г.О., Фурдуй Р.С. Практикум із загальної екології. // Київ, вид-во «Либідь», 1997.
8. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М., Брик М.Т., Гвоздяк П.І., Князькова Т.В. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: Підручник. – К.: Лібра, 2000.
9. Каличак Я.М., Кінджибало В.В. Хімія. Задачі, вправи, тести. // Львів, «Світ», 2001.
10. Неділько С.А., Попель П.П. Загальна й неорганічна хімія. Задачі та вправи. // Київ, вид-во «Либідь», 2001.



## II. ЙОННИЙ ОБМІН

### Йонітна очистка води

#### Мета роботи

Практичне ознайомлення з одним із сорбційних методів очистки води у технології водоочищення і водопідготовки.

#### Теоретичні відомості

Йонообмінні процеси використовують здебільшого для знесолення та опріснення природних або стічних вод із загальним солевмістом 0,2-3,0 г/л та вмістом органічних речовин  $<10$  або 10-30 мг  $O_2$ /л перманганатної окиснюваності. Крім того, метод йонного обміну може бути застосований для вилучення із стічних вод багатьох цінних органічних домішок: фенолів, аналану, антибіотиків, ПАР, альдегідів тощо.

Суть методу йонного обміну полягає у виділенні з розчинів певних аніонів ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ) і катіонів ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ) та обміні їх на інші, які містяться у спеціальних йонообмінних матеріалах (йонітах). Йоніти – це тверді, зернисті, порошкоподібні формовані чи волокнисті матеріали, нерозчинні та неплавкі або малорозчинні, що обмежено набрякають у воді. Їм притаманні механічна міцність і хімічна стійкість. Йоніти мають у своїй структурі функціональні групи кислотного або основного характеру здатні до йонізації та обміну йонів на еквівалентну кількість інших йонів, що перебувають у розчинах і мають заряд того ж знаку.

Йоніти бувають неорганічні та органічні, природні та штучні. Серед неорганічних йонітів найбільш відомі природні та синтетичні алюмосилікати (цеоліти і пермутити), ґрунти, бентонітові глини, гідроксиди алюмінію, заліза, барію. Глинисті мінерали високодисперсні, мають розвинену поверхню, і для них крім йонного обміну можливий перебіг процесів фізичної та молекулярної сорбції. Основними перевагами неорганічних йонітів є висока термічна та радіаційна стійкість, а також селективність, зумовлена відповідністю розмірів пор йонітів величині молекул різних речовин. Йонообмінні властивості мають природні органічні речовини, такі як торф, крохмал, желатин, целюлоза, шерсть, рогові тканини, а також штучні – сульфоване вугілля, синтетичні органічні йонообмінні смоли. Найбільше практичне значення мають синтетичні йонообмінні смоли. До їхніх основних переваг належать хімічна стійкість, добрі кінетичні властивості, можливість варіювання властивостями завдяки зміні умов синтезу, а також дешевизна та доступність.

Йонообмінні смоли отримують методами поліконденсації або кополімеризації (наприклад, конденсація фенолу з формальдегідом, кополімеризація стиролу з дивініл бензолом тощо). Технологічно поліконденсацію здійснювати простіше, тому такі йоніти дешевші, але вони мають вигляд монолітів, які потім механічно подрібнюють. Внаслідок цього зерна поліконденсаційного типу мають неправильну форму. У разі одержання йоніту шляхом кополімеризації вихідних мономерів його зерна мають правильну кулясту форму. Питома поверхня зерен у шарі кополімеризаційного йоніту менша, ніж у такому самому шарі звичайного поліконденсаційного йоніту з таким самим фракційним складом. Ця обставина не лише зумовлює менший гідравлічний опір шару полімеризаційного йоніту, а й забезпечує вищу швидкість обміну йонів.

Активні функціональні групи – залишки кислот чи основ – містяться у вихідних мономерах або їх вводять у структуру полімера за допомогою спеціальної обробки (сульфування, амінування тощо). В структурі синтетичних йонообмінних смол є поперечні хімічні зв'язки (утворені в процесі синтезу полімера завдяки введенню зшиваючих аґентів), які перешкоджають розчиненню йонітів. Модифікацією хімічних волокон отримують йонообмінні волокна.

Органічний синтетичний йоніт являє собою високомолекулярний органічний каркас, до якого приєднані йоногенні групи, здатні у водних розчинах дисоціювати на йони:



де  $\text{Kat-SO}_3^-$  – частина макромолекулярного каркасу йоніту, еквівалентна одній йоногенній групі. Чим більше таких груп у йонообміннику, тим більшу поглинальну здатність він має.

Йоніти поділяються на:

- катіоніти, здатні обмінювати йони на катіони з розчину;
- аніоніти, здатні обмінювати йони на аніони з розчину;
- амфотерні йоніти, здатні до обміну як катіонів, так і аніонів з розчину;
- електроніообмінники, здатні до реакцій окиснення-відновлення.

Катіоніти мають функціональні групи кислотного характеру:  $\text{-OH}$  (фенольний),  $\text{-COOH}$ ,  $\text{-PO}_3\text{H}_2$ ,  $\text{-SO}_3\text{H}$ ,  $\text{-CH}_2\text{SO}_3\text{H}$  та ін.

До складу аніонітів входять функціональні групи основного характеру:  $\equiv S^+$ ,  $\equiv N^+$ ,  $-(CH_3)_3N^+$ ,  $=NH_2^+$ ,  $-NH_3^+$ .

Амфотерні йоніти – амфоліти – це продукти конденсації амінів і фенолів, що містять первинні, вторинні і третинні аміногрупи, а також фенольні гідроксидні групи. Залежно від умов вони можуть поводити себе як полімерними основами, так і полікислотами.

Йоніти, у складі яких є функціональні групи одного типу, називаються монофункціональними, а такі, що містять різні функціональні групи, – поліфункціональними. Промислові йоніти, як правило, поліфункціональні.

Йонообмінні реакції на твердих йонітах можна розглядати як рівноважні оборотні хімічні реакції. Процес обміну на катіоніті можна описати за такою схемою:



де  $R$  – частина макромолекулярного каркасу катіоніту,  $K$  і  $K'$  – катіони.

Процес обміну на аніоніті можна описати за такою схемою:



де  $R$  – частина макромолекулярного каркасу аніоніту;  $A$  і  $A'$  – аніони.

При контакті катіоніта з водою його активні групи, які мають кислотний характер, можуть дисоціювати на малорухомі аніони – **фіксовані йони** та рухомі катіони – **протиіони**:



У випадку аніоніта дисоціація активних груп основного характеру призводить до утворення фіксованих катіонів і рухомих аніонів.



де  $R$  – символ макромолекулярного каркасу катіоніту (полімерної матриці), який означає елементарну ланку полімерного ланцюга з однією активною групою.

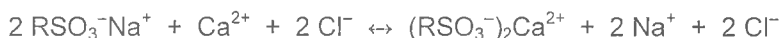
**Фіксовані йони** закріплені на каркасі (матриці) і не здатні перейти з фази йоніту у зовнішній розчин. **Протиіони (обмінні йони)** йоніту, кількість яких еквівалентна кількості фіксованих йонів, мають заряд протилежного їм знаку. Ці йони здатні перейти у зовнішній розчин в обмін на точно еквівалентну кількість інших йонів того самого знаку, які надходять у йоніт із зовнішнього розчину (обмінних йонів розчину). Отже,

еквівалентність обміну є головною ознакою йоніту та йонного обміну. Її умовою є електронейтральність йоніту, тобто сумарний заряд усіх протиіонів повинен дорівнювати загальному заряду фіксованих йонів, а загальна кількість еквівалентів протиіонів – загальній кількості еквівалентів фіксованих йонів.

Катіоніти, у яких усі активні йони – йони гідрогену, позначаються як Н-катіоніти або Н-форма катіоніту. Якщо йони гідрогену заміщені іншими катіонами, наприклад  $\text{Na}^+$  або  $\text{Ca}^{2+}$ , застосовують позначення Na-форма, Ca-форма або узагальнений термін “сольова форма”. До аніонітів відповідно використовують позначення ОН-аніоніти або ОН-форма аніоніту, Cl-форма,  $\text{SO}_4$ -форма, а також узагальнюючий термін “сольова форма” аніоніту.

Приклади реакцій йонного обміну, які відбуваються при контакті набряклого йоніту з водними розчинами електролітів:

катіонообмін:



аніонообмін:



Для пом'якшення води використовують переважно катіоніти у Н-формі та Na-формі. Процес йонного обміну у жорсткій воді можна описати такими рівняннями:



Однією з основних фізико-хімічних характеристик йонітів є кількість катіонів кальцію та магнію, що може поглинути певна кількість катіоніту, – **обмінна ємність** (або **ємність поглинання**), яка визначається у грам-еквівалентах на  $1 \text{ м}^3$  йоніту. Наприклад, ємність поглинання сульфовугілля –  $1000 \text{ г-екв/м}^3$ , алюмосилікатів –  $850 \text{ г-екв/м}^3$ .

Обмінну ємність йонообмінних матеріалів експериментально визначають у статичних і динамічних умовах і характеризують такими показниками:

- **статична** обмінна ємність (СОЄ) характеризується кількістю йонів (у міліграм-еквівалентах на грам сухої смоли), які поглинається у статичних умовах за умовну одиницю часу; вимірюється СОЄ в умовах контакту зразка йоніту певної маси з досить великим сталим об'ємом розчину протягом часу, який достатній для забезпечення рівноваги у системі;

- **динамічна** обмінна ємність (ДОЄ) характеризується кількістю йонів (у міліграм-еквівалентах на літр набухлої смоли), які поглинаються у динамічних умовах.

В динамічних умовах, тобто при фільтруванні розчину крізь шар йоніту до проходження (проскакування) у фільтрат йонів, які вилучаються, використовується лише деяка частина статичної ємності йоніту – так звана **динамічна обмінна ємність до проскакування**. Після проскакування йонів у розчин концентрація їх у фільтраті поступово підвищується і, нарешті, практично досягає вихідної концентрації цих йонів у розчині. Тоді ємність йоніту досягає так званої **повної динамічної ємності**, яка також не дорівнює статичній ємності, тому що динамічна ємність залежить від концентрації йонів у воді, яка надходить у шар йоніту, від швидкості фільтрування води, коефіцієнта масообміну і зумовленої цими чинниками довжини зони масообміну.

В реальних умовах обмінна ємність йонообмінного матеріалу значно залежить від природи і структури полімерної матриці, хімічної природи функціональних груп, числа і типу поперечних зв'язків, ступеня набрякання йоніту, розміру та форми зерен йоніту, природи розчинника.

Ємність сильнокислотних і сильнолужних йонітів стала в широкому інтервалі рН. Натомість ємність слабкокислотних і слабкоосновних йонітів дуже залежить від рН середовища, позаяк ступінь дисоціації активних груп залежить від кислотності розчину.

Швидкість йонного обміну залежить від ступеня набрякання йоніту, яке пов'язане з числом гідрофільних груп і кількістю поперечних зв'язків. Швидкість обміну на сильнонабрякаючих йонітах значно вища, ніж на слабконабрякаючих.

Тепловий ефект обміну йонів незначний, тому температура практично не впливає на константу йонообмінної рівноваги.

Після тривалої роботи, тобто після заміни йона натрію на кальцій, для відновлення здатності відпрацьованого йоніту його спускають і реґенерують. Реґенерація йонообмінних смол полягає у відновленні початкової форми смоли. Залежно від природи аґента, який застосовують для реґенерації йонітів, розрізняють хімічну (реаґентну), термохімічну та електрохімічну реґенерацію. Найбільшого поширення набула хімічна реґенерація. Для хімічної реґенерації застосовують розчини мінеральних кислот, лугів, солей, органічні розчинники.

Після закінчення реґенерації виконують відмивання йонітів, у процесі якого видаляються як продукти реґенерації, так і реґенеруючі аґенти.

У кожній установці йонного обміну безперервної дії існують три зони: робоча, де здійснюється сорбція йонів з води йонітом; реґенераційна та зона відмивання. У більшості конструкцій ці зони розміщені в окремих колонах, через які послідовно переміщується йоніт.

Важливою характеристикою йонітів є термін їхнього так званого "старіння". Під "старінням" розуміють сукупність процесів деструкції йонітів і втрати ними початкової обмінної ємності в процесі експлуатації.

### УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

Для очищення води йонообмінним способом користуються установкою, схему якої зображено на рис. 1.

Катіонообмінник і аніонообмінник являють собою скляні трубки **1** завдовжки 60-80 см і діаметром 2,5-3,5 см, у нижній частині якої впаяна скляна перфорована пластинка – дірчасте дно **3** для підтримання катіоніту **2** або аніоніту **5**. Закінчується трубка краном **4**. Трубки заповнюють катіонітом марки КУ-2 на висоту до 40-50 см, та аніонітом АВ-17-8 – до 15-20 см.

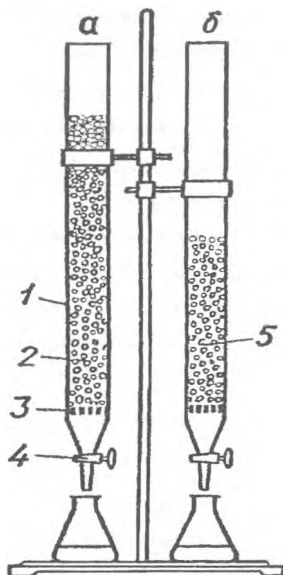
Реґенерацію катіоніту проводять з таким розрахунком, щоб  $700 \text{ см}^3$  реґенеруючого розчину пройшли через колонку за 25-30 хв. Як реґенеруючий розчин для катіоніту у Na-формі використовують 6-8%-ний розчин NaCl, а для катіоніту у H-формі – 5-6%-ний розчин HCl. Реґенерований катіоніт відмивають водою (близько  $1000 \text{ см}^3$ ) до повного зникнення йонів хлору.

Аніоніт реґенерують 2-3%-ним розчином NaOH. Повноту промивання контролюють фенолфталеїном.

Рис. 1. Схема йонообмінної установки для очищення води:

а – катіонообмінник;  
б – аніонообмінник;

1 – скляна трубка;  
2 – катіоніт;  
3 – скляна перфорована пластинка;  
4 – кран;  
5 – аніоніт.



## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

### 2.1. Визначення вмісту йонів $\text{Cl}^-$ у воді

Через підготовлену колонку з катіонітом пропускають  $250\text{--}300\text{ см}^3$  води, призначеної для пом'якшення і знесолювання, в якій попередньо визначено вміст хлору арґентометричним методом і жорсткість.  $1/3$  частину об'єму аналізованої води зливають, далі витримують воду в колонці протягом 5 хвилин і лише тоді відбирають пробу для аналізу. Швидкість пропускання води регулюють краном 4.

100 мл води, профільтрованої через катіоніт, пропускають за такою ж схемою і з такою ж швидкістю через аніоніт. Після очищення води визначають вміст йонів хлору та порівнюють результати.

Визначення вмісту йонів  $\text{Cl}^-$  у воді проводять титруванням розчином арґентум нітрату в присутності індикатора калій хромату. При цьому в розчині відбуваються такі реакції:



Спочатку відбувається випадання менш розчинного осаду  $\text{AgCl}$ , а потім, після закінчення випадання осаду аргентум хлориду, починає утворюватися більш розчинний цегляно-червоний осад  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ . Кінець реакції зв'язування йонів хлору в аргентум хлорид визначають за появою цегляно-червоного забарвлення розчину внаслідок випадання осаду аргентум хромату.

Для визначення вмісту йонів  $\text{Cl}^-$  беруть  $10 \text{ см}^3$  води в конічну колбу на  $100 \text{ см}^3$ , доливають  $1 \text{ см}^3$  10%-го розчину калій хромату і титрують 0,1 н. розчином аргентум нітрату до появи цегляно-червоного забарвлення. Відмічають об'єм розчину аргентум нітрату, витраченого на титрування.

Кількість йонів хлору  $C$  ( $\text{мг/дм}^3$ ) у досліджуваній воді визначають за формулою:

$$C = N_1 \cdot V_1 \cdot E \cdot 1000 / V_2,$$

де  $V_1$  – об'єм розчину  $\text{AgNO}_3$  витраченого на титрування,  $\text{см}^3$ ;

$N_1$  – нормальність розчину  $\text{AgNO}_3$ ;

$E$  – еквівалентна маса хлору,  $\text{мг-екв}$ ;

$V_2$  – відібраний для титрування об'єм досліджуваної води,  $\text{см}^3$ .

Експериментальні дані записують до таблиці.

Вода	$V_2$	$V_1$	$N_1$	$C$
До очищення				
Після очищення				

## 2.2. Визначення жорсткості води

Загальну жорсткість води визначають комплексометричним методом, який полягає у зв'язуванні йонів кальцію та магнію трилоном Б у комплексні сполуки.

Кінець реакції спостерігають за зміною кольору індикатора хромогену темно-синього, який застосовується для титрування при  $\text{pH} = 7-11$ . У цьому інтервалі сам індикатор має синій колір, а з деякими металами, у тому числі кальцієм і магнієм, він утворює комплексні сполуки вишнево-червоного кольору.

Спочатку перевіряють кислотність води, оскільки комплексні сполуки кальцію з трилоном Б нестійкі у кислому середовищі. Для цього у пробірку до проби води додають 3-4 краплі розчину метилоранжу. Якщо



розчин матиме жовте забарвлення, можна проводити тригонометричне визначення жорсткості. Якщо ж індикатор змінить забарвлення, треба створити лужне середовище з необхідною величиною рН, перед титруванням додавши до води буферний розчин – суміш розчинів гідроксиду та хлориду амонію.

Для проведення аналізу в конічну колбу на 250 см<sup>3</sup> наливають 100 см<sup>3</sup> досліджуваної води, додають 5 см<sup>3</sup> буферного розчину, 5-6 крапель індикатора і повільно титрують розчином трилону Б до зміни вишнево-червоного забарвлення на синє із зеленкуватим відтінком.

Загальну жорсткість води Ж<sub>з</sub> (мг-екв/дм<sup>3</sup>) обчислюють за формулою

$$Ж_z = V_1 \cdot N_1 \cdot 1000 / V_2 ,$$

де V<sub>1</sub> – об'єм розчину трилону Б, витраченого на титрування, см<sup>3</sup>;

N<sub>1</sub> – нормальність розчину трилону Б;

V<sub>2</sub> – об'єм води, взятої для дослідження, см<sup>3</sup>.

Паралельно виконують холостий дослід з неочищеною водою.

Експериментальні дані записують до таблиці.

Вода	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	Ж <sub>з</sub>
До очищення				
Після очищення				
Знесолена				

### Прилади та посуд (шт.):

- |                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 1. Йонообмінні колонки                   | - 2 |
| 2. Терези технічні                       | - 1 |
| 3. Електроплитка                         | - 1 |
| 4. Колба мірна (100 см <sup>3</sup> )    | - 1 |
| 5. Колба конічна (250 см <sup>3</sup> )  | - 2 |
| 6. Піпетка на 10 см <sup>3</sup>         | - 2 |
| 7. Мірний циліндр (100 см <sup>3</sup> ) | - 1 |
| 8. Воронка скляна                        | - 1 |
| 9. Крапельниця для індикатора            | - 2 |
| 10. Груша гумова                         | - 1 |
| 11. Фільтрувальний папір.                |     |

### Реактиви, см<sup>3</sup> :

1. Розчин NaOH 2-3 %-ий	- 50
2. Розчин HCl 5 %-ий	- 50
3. Дистильована вода	- 200
4. Розчин NaCl 6-8%-ний -	- 100
5. Розчин AgNO <sub>3</sub> 0,1 н	- 100
6. Розчин K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> 10%-ий	- 1
7. Аміачний буферний розчин	- 100
8. Розчин трилону Б 0,1 н	- 100
9. Індикатори: хромоген темно-синій.	

### Контрольні запитання і завдання:

1. Роль йонообмінних процесів у природі. Галузі застосування йонітів.
2. Неорганічні йоніти і їхні переваги.
3. Способи отримання синтетичних йонообмінних смол. Вплив ступеня сшитості синтетичних йонообмінних смол на їхні властивості.
4. Аніоніти і катіоніти.
5. Які активні групи існують на поверхні катіонітів і аніонітів?
6. Фіксований йон, протиіон і їхні ролі у процесі йонного обміну.
7. На які групи поділяють йоніти за природою матриці, зовнішнім виглядом, ступенем дисперсності, пористості та за типом і знаком протиіонів?
8. Обмінна ємність йонітів. Повна та рівноважна обмінна ємність. Фактори, які впливають на обмінну ємність.
9. Залежність обмінної ємності від рН середовища для йонітів різних типів.
10. До якого типу реакцій належать реакції йонного обміну? Перечисліть стадії процесу йонного обміну.
11. Чому для повного знесолення води необхідно застосовувати і катіоніти, і аніоніти?
12. Чому для реґенерації катіоніту використовують розчин натрій хлориду та воду?
13. Статичні та динамічні умови проведення йонного обміну.
14. Напишіть рівняння реакцій катіоно- та аніонообміну.

## Рекомендована література

1. Хімічна технологія. Гончаров А.І., Середа І.П. // Київ, ГВВО «Вища школа», 1980.
2. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Том 2. // М.: Химия, 1995.
3. Гончаров А.І., Михайленко В.П. Хімічна технологія. Практикум. // Київ, ГВВО «Вища школа», 1982.
4. Ключников Н.Г. Практические занятия по химической технологии. / М.: Просвещение, 1978.
5. Практикум по общей химической технологии. Под ред. И.П. Мухленова. // М.: Высшая школа, 1979.
6. Цебренько М.В., Ніколаєва А.П. Методичні вказівки до самостійної роботи при підготовці до лабораторних занять з дисципліни «Загальна хімічна технологія та основи промислової екології» / Київ, КТІЛП. – 1991.
7. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М., Брик М.Т., Гвоздяк П.І., Князькова Т.В. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: Підручник. – К.: Лібра, 2000.
8. Гребенюк В.Д., Мазо А.А. Обессоливание воды ионитами. / М.: Химия, 1980.
9. Тростянская Е.Б. Ионнообменные смолы (иониты). / Ионный обмен и его применение. // Изд-во АН СССР, 1959.
10. Кокотов Ю.А. Иониты и ионный обмен. /Л.: «Химия», ЛО, 1980.
11. Сенявин М.М. Ионный обмен. // М.: Наука, 1981.
12. Никольский Б.П. Физическая химия. // Л.: Химия, 1987.
13. Когановский А.М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. – К.: Наукова думка, 1983.
14. Каличак Я.М., Кінджибало В.В. Хімія. Задачі, вправи, тести. // Львів, «Світ», 2001.
15. Неділько С.А., Попель П.П. Загальна й неорганічна хімія. Задачі та вправи. // Київ, вид-во «Либідь», 2001.

# ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ У ХІМІЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Хімічні процеси, які відбуваються під дією електричного струму, називаються електрохімічними процесами.

В основі електрохімічних процесів лежать процеси переходу електронів від катода до часточок речовини (йонів, атомів і молекул) – катодні реакції, або реакції *електровідновлення*, та процеси переходу електронів від часточок речовини до анода – анодні реакції, або реакції *електроокиснення*

Перебіг анодних і катодних реакцій підлягає законам М. Фарадея.

Найбільшого поширення електрохімічні методи набули у металургії кольорових і рідкісних металів для їх рафінування, а також для їх декоративного та захисного гальванічного покриття.

Електролізом водних розчинів і розплавів солей та лугів добувають хлор, водень, кисень, фтор, їдкі луги, пероксидні сполуки та інші мінеральні речовини. За останні роки великого поширення набули електросинтез органічних речовин, електрохімія елементоорганічних сполук, електрохімічне ініціювання процесів полімеризації тощо.

Широкого застосування набув мембранний метод електродіалізу не лише для отримання питної води знесоленням морської води, а й для синтезу органічних кислот і основ, а також неорганічних сполук, розділення та очищення різних речовин у фармацевтичній, хімічній та харчовій промисловості, зокрема напівпродуктів цукрового виробництва.

## III. ЗНЕСОЛЮВАННЯ ВОДИ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОДІАЛІЗУ

### Мета роботи

Ознайомлення з методом електродіалізу як одним з електрохімічних процесів для очищення та знесолення води у промисловості.

### Теоретичні відомості

Під дією градієнта концентрації йони солі з розчину з більшою концентрацією дифундують крізь пористу перегородку в розчин з меншою її концентрацією. Цей процес називають *діалізом*.

**Електродіаліз** – процес перенесення йонів електроліту крізь селективні йонообмінні мембрани під дією двох рушійних сил – різниці концентрацій та електричних потенціалів. Швидкість перенесення йонів визначається силою струму.

Метод електродіалізу використовується для видалення солей з води. На рис. 2. схематично зображено принцип методу – електродіаліз розчинених солей внаслідок пропускання постійного електричного струму через воду у ванні, розділеній напівпроникними діафрагмами на три відділення. Під впливом електричного поля катіони з анодного простору і середньої камери переміщуються у катодний простір, де накопичується розчин гідроксидів натрію, калію, магнію та ін. Аніони в цей же час переміщуються з катодного простору та середньої камери в анодний простір, де накопичуються хлоридна та сульфатна кислоти.

На катоді розряджаються йони гідрогену та виділяється гідроген. На аноді розряджаються вода, гідроксид-йони, а також хлорид-йони та виділяються кисень і частково хлор. У процесі електродіалізу кількість катіонів і аніонів кислот у середній камері зменшується і утворюється знесолена вода.

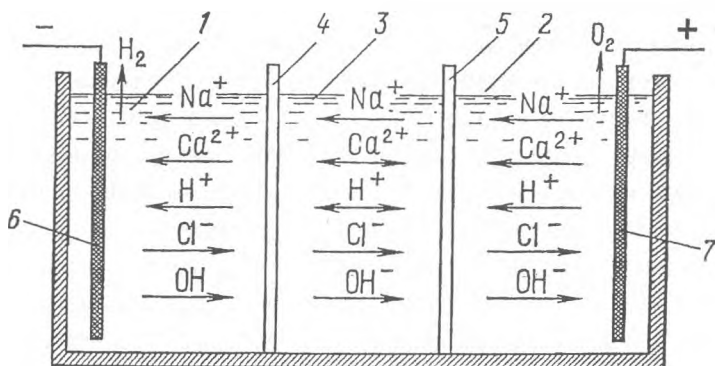


Рис. 2. Схема знесолювання води електродіалізом:

1,2 – катодний та анодний простори; 3 – міжелектродний простір (знесолена вода); 4,5 – катодна та анодна мембрани; 6,7 – анод і катод.

Під кінець процесу в середній камері електрику переносять йони гідроксонію та гідроксид-йони, це призводить до зростання опору ванни, тому на електродах підвищують напругу. На практиці при повному знесолюванні води віддаль між діафрагмами роблять як можна меншою, що знижує опір установки та зменшує витрати електроенергії.

Діафрагми зі звичайних пористих матеріалів – це механічні роздільники, які не беруть участі в електрохімічному процесі та внаслідок дифузії можуть частково пропускати йони в середню частину установки, що знижує ефективність видалення йонів з очищуваної води. Тому процес електродіалізу проводять використовуючи напівпроникні

діафрагми – мембрани (тонкі пластини), які виготовляють з електрохімічно активного матеріалу – йонообмінних смол. Електродіаліз можна провести ефективніше, помістивши у ванну одночасно **аніонітову та катіонітову мембрани**. До складу однієї з мембран (біля катоду) входить катіоніт, і вона заряджена позитивно. Тому катіони, накопичувані у катодному просторі, не проникають з нього в середню камеру. Мембрана біля анода заряджена негативно, тому аніони також не дифундують через неї у зворотному напрямку.

Для очистки вод певного забруднення використовуються амфотерні та біполярні мембрани. **Біполярні** мембрани складаються з аніонітового та катіонітового шарів. Іноді між ними розміщують третій шар, що відіграє роль каталізатора реакції дисоціації води. **Амфотерні** мембрани одночасно містять йоногенні групи з фіксованими негативними та позитивними зарядами. Залежно від рН розчину вони можуть функціонувати як аніонітові та катіонітові.

За фазовим складом мембрани поділяють на **гомогенні та гетерогенні**. Гомогенні мембрани містять лише йонообмінну смолу, отриману полімеризацією у тонкому шарі з подальшим сульфуванням або амінуванням. Недоліком таких мембран є їхня невисока механічна міцність – вони можуть розтріскуватися при набряканні, руйнуватися при монтажі тощо. Більш "технічними" є гетерогенні мембрани. Для їх отримання йоніт мілко подрібнюють і змішують зі зв'язувачем – каучуком, полівінілхлоридом, метилметакрилатом, полістиролом, поліетиленом тощо. З отриманої суміші вальцюванням виготовляють тонкі пластини; зв'язувачі полімеризують або вулканізують; при потребі мембрани армують хімічно інертною сіткою або тканиною зі скловолокон. Та найбільше в суміші міститься йоніту, бо його окремі часточки (порошинки) у шарі повинні контактувати між собою і таким чином проводити струм, тому однією з найважливіших характеристик мембран є їхній малий електричний опір.

У разі змішування декількох йонітів отримують змішані мембрани.

За типом фіксованих йонів розрізняють **сильнокислотні** (фіксований йон  $-\text{SO}_3^-$ ), **слабокислотні** ( $-\text{COOH}^-$ ,  $-\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $-\text{OH}^-$ ), **сильноосновні** ( $\equiv \text{N}^+$ ), **слабоосновні** ( $=\text{NH}_2^+$ ,  $-\text{NH}_3^+$ ) та амфотерні монополярні мембрани.

За характером поверхні мембрани поділяють на **гладенькі, ворсисті і профільовані**. Ці мембрани можна розміщувати на

фіксованій відстані, турбулізувати і певним чином спрямовувати потік розчину вздовж поверхні мембрани, поліпшувати її сорбційну характеристику. Найбільшу питому поверхню мають ворсисті мембрани.

Йонітові мембрани з селективною проникністю, які використовують для електродіалізу, повинні мати такі властивості:

- високу селективність;
- високу електропровідність;
- невелику дифузійну проникність електроліту і водонепроникність під тиском;
- хімічну стійкість;
- високу механічну міцність.

Оскільки в електрохімічних установках важливою є сталість форми і розмірів мембран, вони повинні бути однорідної якості і слабо набрякати у воді.

При знесолюванні води у промисловості використовують багатокамерні ванни з паралельними чи послідовними (зустрічними) потоками сирової води. У таких ваннах є по одному аноду і катоду та по 50-200 комірок-камер зі стінками з аніонітових і катіонітових мембран-діафрагм. Забруднену солями воду з анодного та катодного просторів виливають як відходи, а з середнього простору частково очищена вода подається у другий електродіалізатор, тобто знесолювання відбувається ступінчато. В результаті очистки морської води в апараті з паралельними потоками отримують знесолену воду, розсіл (ропу), розчин лугу та хлоровану воду. Схему багатокамерної ванни для опріснення морської води подано на рис. 3.

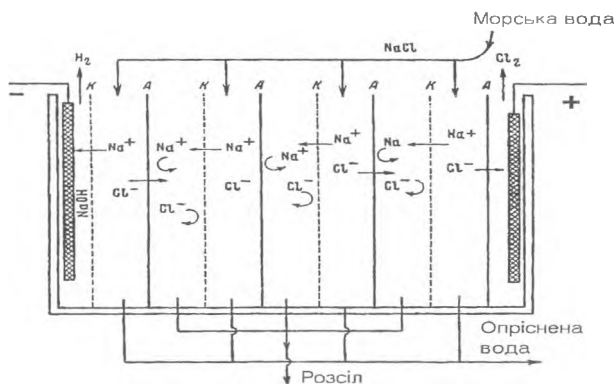


Рис. 3. Схема багатокамерної ванни для опріснення морської води:  
А – аніонітові мембрани; К – катіонітові мембрани.

Нині електродіаліз найширше застосовують для опріснення солоних вод. Однак часто в разі невисокого вмісту солей у стічних водах, а також у разі невеликого об'єму вод метод є ефективним для концентрування, особливо у випадку комбінування з іншими методами, наприклад дистиляцією або кристалізацією і хімічним осадженням.

Внаслідок необхідності зміцнення гомогенних мембран і присутності зв'язувачів у гетерогенних мембранах їхня обмінна ємність нижча, ніж аналогічних іонообмінних смол. Проте метод електродіалізу набагато економічніший порівняно з йонним обміном, оскільки є безперервним процесом, у якому відсутні стадії розпушування, регенерації та відмивання. Крім того, перевагою електродіалізу є відсутність фазового перетворення води, яке простежується під час дистиляції, виморожування чи застосування газогідратного методу. Споживання енергії під час електродіалізу пропорційне вмісту солей у знесолюваній воді. Обробляють стічні води за невисоких температур і тиску, що дає змогу використовувати широкий асортимент корозійностійких матеріалів і автоматизувати процес.

Отже, описаний метод застосовується як для опріснення та знесолення морської води, а також засолених вод суші, використовуваних для побутових, сільськогосподарських і промислових потреб, так і для отримання особливо чистої води, яку використовують для виготовлення ультрочищених речовин.

#### УСТАНОВКА ДЛЯ ЗНЕСОЛЕННЯ ВОДИ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОДІАЛІЗУ

Схему установки для знесолювання води методом електродіалізу наведено на рис. 4.

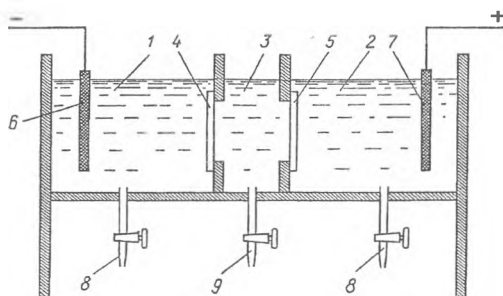


Рис. 4. Схема установки для знесолення води методом електродіалізу:  
1, 2 – анодний і катодний простори; 3 – міжелектродний простір;  
4, 5 – анодна та катодна мембрани; 6, 7 – анод і катод; 8 – крани для зливання забрудненої води; 9 – кран для зливання знесоленої води.



Установка складається з ванни з вмонтованими кранами для зливання забрудненої **8** та знесоленої **9** води, анодної **4** і катодної **5** мембран, анода **6** і катода **7**.

Ванну форми паралелепіпеда виготовлено з органічного скла чи іншого подібного матеріалу (як клей використано дихлоретан або хлороформ). У ванні вклеєно поперечні перегородки з круглими або квадратними отворами. Отвори в перегородках за допомогою епоксидної смоли заклеєно аніонообмінною і катіонообмінною мембранами (марки відповідно МА-40 і МК-40). У дно ванни за допомогою епоксидної смоли вклеєно три крани для зливання забрудненої та очищеної води. Можна також відбирати воду за допомогою піпеток.

Можна використовувати електродіалізні установки з відмінними від описаної вище схемами, в яких мембранні комірки різних конструкцій поєднані з відповідним обладнанням: джерелом постійного електричного струму, контрольно-вимірювальними приладами, насосами та іншими необхідними пристроями.

Електроди в усіх випадках виготовляють з нержавіючої сталі або, в крайньому випадку, із заліза.

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Перед проведенням дослідів вимірюють рН призначеної для знесолення води, її опір і жорсткість.

Воду заливають у електродіалізер і вмикають електричний струм силою 0,2-0,3 А. Напруга на електродах залежить як від йонного складу води, так і від відстані між електродами, і може становити 20-50 В. Тому для живлення установки рекомендується використовувати випрямляч з регульованою напругою: напругу на електродах треба підвищувати поступово, слідкуючи за зростанням сили струму до вищевказаного значення.

Під час електродіалізу, в міру очищення води у середній камері, сила струму поступово падає внаслідок зростання опору. Через 20-30 хв струм вимикають і відбирають проби води з катодного простору і середньої камери та знову вимірюють рН води, її опір і жорсткість. Вода в анодному просторі містить підвищену кількість аніонів, тому її не аналізують.

### 3.1. Визначення жорсткості води

Спочатку перевіряють кислотність води, оскільки комплексні сполуки кальцію з трилоном Б нестійкі у кислому середовищі. Для цього у пробірку до проби води додають 3-4 краплі розчину метилоранжу. Якщо розчин матиме жовте забарвлення, можна проводити трилонометричне визначення жорсткості.

В конічну колбу місткістю 250 см<sup>3</sup> відміряють 100 см<sup>3</sup>, додають 5 см<sup>3</sup> аміачного буферного розчину, 10 крапель індикатора хромогену темно-синього і титрують по 1-ій краплі 0,1 н розчином трилону Б до зміни забарвлення розчину з червоно-фіолетового на синьо-фіолетовий.

Жорсткість води (мг-екв/л) визначають за формулою:

$$Ж_3 = \frac{V \cdot k \cdot N}{V_1} \cdot 1000 ,$$

де  $V_1$  – об'єм аналізованої води см<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм розчину трилону Б, використаний на титрування води для аналізу, см<sup>3</sup>;

$N$  – нормальність розчину трилону Б;

$k$  – поправочний коефіцієнт трилону Б до даної нормальності.

Результати записують до таблиці.

Вода	Жорсткість води, мг-екв/л	pH води	Опір, Ом
Перед дослідом			
В катодному просторі			
Знесолена			

### 3.2. Визначення електропровідності (та опору) води

Оскільки електропровідність – величина обернена опору, її визначення рівноцінне вимірюванню опору розчину, який виникає в містку Кольрауша, схему якого наведено на рис. 5. Постійний струм від акумулятора перетворюється на змінний з частотою приблизно 10<sup>3</sup> Гц за допомогою індукційної котушки з переривачем **1**, або лампового генератора. Котушку вмонтовують між точкою **С** і рухомим контактом **Д**

До кінців тонкого проводу з константану, який має однаковий опір по усій довжині **AB**, протягнутого над лінійкою з поділками, приєднують телефон **2**. Між точками **B** і **C** під'єднують магазин опорів, який дає змогу вводити відомий опір **R**, а між точками **C** і **A** – електродну комірку з водою, опір якої **R<sub>x</sub>** потрібно виміряти.

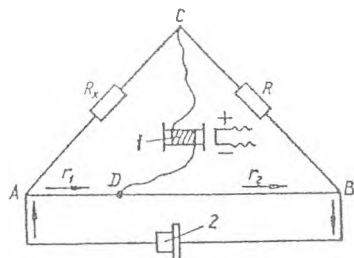


Рис. 5. Схема установки для визначення електропровідності води.

За законом розгалуження струму різниця потенціалів між точками **A** і **B** рівна нулю (відсутність звуку в телефоні). При такому положенні рухомого контакту, коли справедлива рівність між відношеннями опорів

$$R_x / R = r_1 / r_2,$$

звідки

$$R_x = R r_1 / r_2.$$

Відношення довжин відрізків **A** і **B** пропорційне, і тому  $R_x = R \cdot AD/DB$ . Найбільша точність вимірювання буває у випадку, коли **AD/DB** наближається до одиниці, тобто рухомий контакт знаходиться на середині відрізка **AB**. Такого положення досягають шляхом правильного вибору опору **R**. Визначення електропровідності починають з визначення константи електропровідності **K** комірки. Для цього у ній вимірюють опір розчину з відомою питомою електропровідністю **σ**, як правило, використовують 0,02 н. розчин KCl.

У електродну комірку, кілька разів промиту дистильованою водою і 0,02 н. розчином KCl, наливають таку кількість 0,02 н. розчину KCl, щоб електроди були повністю занурені у розчин. Комірку термостатують протягом 10-20 хв. і лише після цього починають експеримент.

Перевіривши сполучення усіх частин за схемою, вмикають струм і вибирають таке значення **R**, при якому відсутність або мінімум звуку співпадає з положенням рухомого контакту на середині проводу **AB**

Тричі визначають мінімум або відсутність звуку і беруть середнє значення відношення  $AD/DB$ . Змїнивши величину опору  $R$  на 10% в один, а потім в другий бїк, тричі повторюють знаходження точки положення рухомого контакту. Для кожного з трьох вимїрювань знаходять  $R_x$ . Середнє арифметичне значення  $R_x$  приймають для розрахунку константи комїрки за рївнянням  $K = R_x \sigma$ , узнявши значення  $\sigma$  з табл. 1. Константу комїрки розраховують з точнїстю до четвертого знака пїсля коми.

Виливають з комїрки розчин KCl, промивають її водою і дослїджуваною рїдиною. Заповнюють комїрку дослїджуваним розчином і вимїрюють його опір. Питому електропровіднїсть розраховують за рївнянням:

$$\sigma = K / R_x .$$

Таблиця 1

**Питома електропровіднїсть 0,02 н. розчину KCl (1,4911 г/дм<sup>3</sup>)**

$t^{\circ}C$	$\sigma$	$t^{\circ}C$	$\sigma$
16	0,002294	21	0,002552
17	0,003445	22	0,002606
18	0,002397	23	0,002659
19	0,002449	24	0,002712
20	0,002501	25	0,002765

Можна визначати електропровіднїсть води за допомогою стацїонарного лабораторного кондуктометра Hanna Instruments HI 9032.

### 3.3. Визначення активної реакції води (pH)

Активна реакція води, тобто ступїнь її кислотностї або лужностї, характеризується кїлькїсно концентрацією водневих йонів.

Визначають pH води потенціометричним методом за допомогою pH-метра зі скляним електродом.

Перед початком вимїрювання прилад вмикають в електричну мережу та прогрївають протягом 20 хв. Електроди перед зануренням у

досліджуваний розчин промивають дистильованою водою. Правильність роботи рН-метра перевіряють за допомогою стандартних буферних розчинів з відомим рН. Після цього визначають рН досліджуваного розчину. Вимірювання виконують спочатку у діапазоні шкали від  $-1$  до  $+14$ . Визначивши грубо інтервал рН, перемикають необхідний діапазон і визначають точне значення рН.

### Прилади та посуд (шт.):

1. Установка для знесолювання води	- 1
2. Джерело постійного струму (випрямляч, батареї акумуляторів)	- 1
3. Місткова схема для вимірювання опору води (стаціонарний лабораторний кондуктометр Hanna Instruments HI 9032	- 1
4. рН-метр зі скляним електродом	- 1
5. Колба конічна ( $250\text{ см}^3$ )	- 2
6. Піпетка на $5\text{ см}^3$	- 1
7. Мірний циліндр ( $100\text{ см}^3$ )	- 1
8. Бюретка на $50\text{ см}^3$	- 2
9. Пробірки	- 2
10. Воронка скляна	- 1
11. Груша гумова	- 1
12. Індикаторний папір.	

### Реактиви, $\text{см}^3$ :

1. $0,1\text{ н}$ розчин $\text{NaOH}$	- 50
2. Аміачний буферний розчин	- 100
3. Розчин трилону Б $0,05\text{ н}$	- 100
4. $0,02\text{ н}$ . розчин $\text{KCl}$ ( $1,4911\text{ г/дм}^3$ )	- 50
5. Індикатори: метилоранж, хромоген темно-синій.	

### Контрольні запитання і завдання:

1. У чому полягає суть електродіалізу і які галузі його застосування?
2. Які конструктивні особливості електродіалітичних апаратів?
3. Які типи йонообмінних мембран ви знаєте? Охарактеризуйте їх.
4. Які фізико-хімічні властивості мембран ви знаєте?
5. На титрування  $100\text{ мл}$  води витрачено  $2\text{ мл}$   $0,1\text{ н}$ . розчину трилону Б. Розрахуйте жорсткість води.

1. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Том 2. // М.: Химия, 1995.
2. Ключников Н.Г. Практические занятия по химической технологии. / М.: Просвещение, 1978.
3. Клячко В.А. Ионитовые диафрагмы. / Ионный обмен и его применение. // Изд-во АН СССР, 1959.
4. Гончаров А.І., Михайленко В.П. Хімічна технологія. Практикум. // Київ, ГВВО "Вища школа", 1982.
5. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М., Брик М.Т., Гвоздяк П.І., Князькова Т.В. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: Підручник. – К.: Лібра, 2000.
6. Брык М.Т., Голубев В.Н., Чагаровский А.П. Мембранная технология в пищевой промышленности. / Киев, «Урожай», 1991.
7. Брык М.Т., Цапюк Е.А., Твердой А.А. Мембранная технология в промышленности. – К.:Тэхника, 1990.
8. Брык М.Т., Цапюк Е.А., Греков К.Б., Денисова Н.Е., Полоцкий А.Е. Применение мембран для создания систем кругового водопотребления. – М.: Химия, 1990.
9. Гребенюк В.Д. Электродиализ. – К.: Техніка, 1976.
10. Кульский Л.А., Гребенюк В.Д., Савлук О.С. Электрохимия в процессах очистки воды. / К.: Тэхника, 1987.
11. Гребенюк В.Д., Пономарев М.И. Электронно-мембранное разделение смесей. / К.: Наукова думка, 1992.
12. Неділько С.А., Попель П.П. Загальна й неорганічна хімія. Задачі та вправи. // Київ, вид-во «Либідь», 2001.

Солі широко застосовуються у промисловості, сільському господарстві та побуті. Основним споживачем солей є сільське господарство, для якого їх виробляють у вигляді добрив, пестицидів і різних добавок до кормів (стимуляторів росту).

Велика кількість солей використовується у виробництві лугів і кислот, содових продуктів, для виготовлення в'яжучих у виробництві будівельних матеріалів і скла, пластмас і гуми, штучного волокна та шкіри, м'яких засобів і барвників, каталізаторів і реактивів різного призначення.

Виробництво солей поєднує два основних процеси: добування природних солей з родовищ і виробництво солей з природної мінеральної сировини. Для синтезу солей найчастіше використовують реакції нейтралізації. Значну кількість солей добувають у вигляді побічних продуктів інших виробництв. Практика використання побічних продуктів для виробництва солей є одним з найважливіших економічних заходів боротьби із забрудненням довкілля.

## IV. ОТРИМАННЯ ТА АНАЛІЗ АМОНІЙ СУЛЬФАТУ

### Мета роботи

Практичне отримання амоній сульфату, визначення виходу та аналіз готового продукту.

### Теоретичні відомості

Амоній сульфат  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  використовується як аміачне добриво. Це малоконцентроване азотне добриво, яке у перерахунку на суху речовину містить 20,8 – 21% азоту. Як найменш гігроскопічне азотне добриво, його додають до гігроскопічної аміачної селітри для зменшення її злежування. Крім того, амоній сульфат широко застосовують для обробки шкіри на підприємствах легкої промисловості.

Амоній сульфат отримують поглинанням аміаку сульфатною кислотою.

Існує два способи виробництва амоній сульфату: мокрий та сухий. За сухим способом розбризкувана сульфатна кислота взаємодіє з газоподібним аміаком у сталевій камері. За рахунок тепла, яке виділяється внаслідок екзотермічної реакції, внесена з кислотою волога випаровується, і в камері утворюється готовий продукт у вигляді сухої дрібнокристалічної сипкої речовини.

Найпоширенішим є так званий мокрий спосіб отримання  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  – нейтралізація сульфатної кислоти газоподібним аміаком, який барботують крізь 75-78%-ну сульфатну кислоту:



При взаємодії аміаку з сульфатною кислотою спочатку розчин насичується амоній сульфатом, а далі частина солі виділяється з розчину. Кристали солі відділяють від рідини, а маточний розчин знову повертають у реактор, де він змішується з сульфатною кислотою для отримання розчину з вихідною концентрацією 75-78%. Готовий продукт повинен бути розсипчастий, при зберіганні не злежуватися і не перетворюватися на суцільну брилу.

При вмісті більше ніж 10-12% кислоти  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  утворюється у вигляді дрібних кристалів, які швидко злежуються, тоді як крупнокристалічний  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  злежується менше. Розмір кристалів залежить від концентрації кислоти і температури, тому розчин у реакторі містить від 4 до 8% вільної  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , а температуру підтримують близькою до 60°C. Крупнокристалічний  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  злежується менше. Готовий продукт повинен містити не більше ніж 0,3-0,4% вільної  $\text{H}_2\text{SO}_4$  і 1,5-2% води.

## УСТАНОВКА ДЛЯ ОТРИМАННЯ АМОНІЙ СУЛЬФАТУ

Схему установки для отримання  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  наведено на рис. 6. Вона складається з колби з розчином аміаку **1**, розміщеного у водяній бані **8** реактора **2** з пробкою, в яку вставлено термометр і трубки для підведення та виведення газу і пари, аспіратора **6** для просмоктування через вбирники певного об'єму газу, поглинальних посудин **4** і **5** для вловлювання  $\text{NH}_3$  з метою визначення його кількості у газопаровій суміші.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

### 4.1. Аналіз вихідних матеріалів і отримання $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Готують насичений розчин амоній сульфату. 480 см<sup>3</sup> приготованого розчину  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  змішують з 20 см<sup>3</sup> концентрованої сульфатної кислоти (з густиною 1,84 г/см<sup>3</sup>) і аналізують суміш на вміст  $\text{H}_2\text{SO}_4$  за методикою, описаною у розділі 4.1.1, та на вміст  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  за методикою, описаною у розділі 4.2.3.



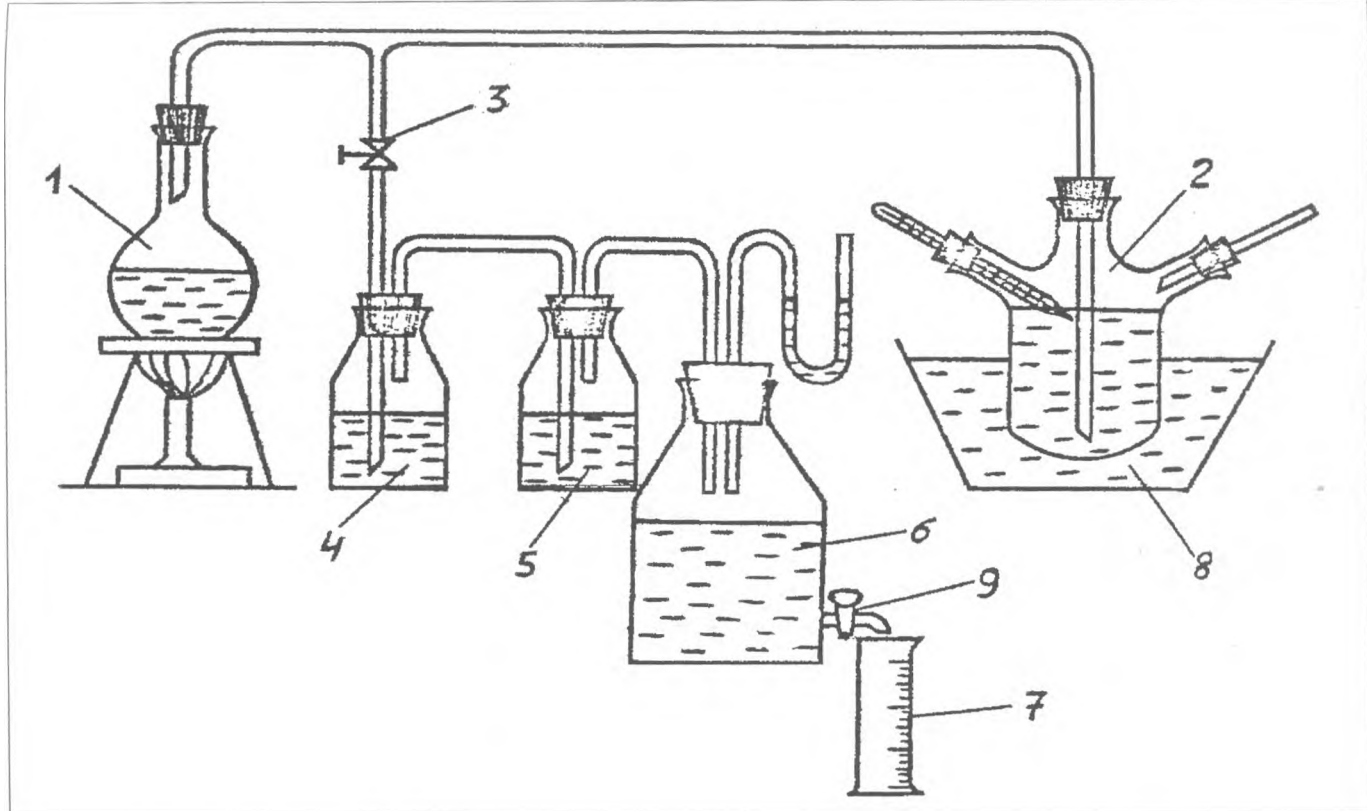


Рис. 6. Схема установки для отримання амоній сульфату.

1 – колба з розчином аміаку; 2 – реактор; 3, 9 – крани; 4,5 – поглинальні посудини з 1 н. розчином  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; 6 – аспіратор; 7 – мірний циліндр; 8 – водяна баня.

У зв'язку з тим, що в процесі отримання солі в лабораторних умовах в атмосферу виділяється значна кількість газоподібного аміаку, а також з метою скорочення тривалості реакції вміст  $\text{H}_2\text{SO}_4$  у реакційній суміші складає не 75-78%, а близько 4-8%).

50-70  $\text{cm}^3$  насиченого розчину  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  поміщають у реактор 2.

Аміак, який надходить у реактор, отримують розкладанням водного 10-15%-го розчину  $\text{NH}_4\text{OH}$  при нагріванні у колбі 1. 300 мл проаналізованого за методикою, описаною у розділі 4.1.2, розчину  $\text{NH}_4\text{OH}$  поміщають у колбу 1 місткістю 500  $\text{cm}^3$  і нагрівають до кипіння. За допомогою термометра спостерігають зміну температури в реакторі (не більше 60°C) та охолоджують його при потребі на водяній бані 8. Температуру води у бані необхідно підтримувати в межах 50-60°C.

Дослід проводять до того часу, поки в реакторі не утвориться густа суспензія амоній сульфату. Під час досліду за методикою, описаною у розділі 4.1.3, аналізують розчини в поглинальних посудинах на вміст аміаку.

Суспензію з реактора переносять у фільтрувальну лійку Бюхнера та відфільтровують. Вимірюють об'єм фільтрату. Вологу кристалічну сіль зважують на технічних терезах і аналізують за методиками, описаними в розділах 4.2.1 і 4.2.2. Для розрахунку матеріального балансу процесу за методикою, описаною в розділі 4.1.2, повторно аналізують розчин  $\text{NH}_4\text{OH}$  у колбі 1.

#### 4.1.1. Визначення вмісту $\text{H}_2\text{SO}_4$ в розчині з амоній сульфатом (у вихідному розчині та у фільтраті)

З кислого розчину  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  відбирають піпеткою 10  $\text{cm}^3$  розчину і переносять у мірну колбу місткістю 100  $\text{cm}^3$ . Дистильованою водою доводять розчин до мітки та добре перемішують. З отриманого розчину відбирають 10  $\text{cm}^3$ , переносять у конічну колбу, додають 100  $\text{cm}^3$  дистильованої води та 1-2 краплі метилоранжу. Титрують 0,5 н. розчином  $\text{NaOH}$  до зміни забарвлення з рожевого на оранжеве. 1  $\text{cm}^3$  0,5 н. розчину  $\text{NaOH}$  відповідає 0,0245 г  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Концентрацію  $\text{H}_2\text{SO}_4$  у розчині (г/дм<sup>3</sup>) обчислюють за формулою:

$$C_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{a \cdot 0,0245 \cdot 1000 \cdot 100}{10 \cdot 10} = a \cdot 24,5 ;$$

де **a** – об'єм 0,5 н. розчину NaOH, використаного на титрування розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{см}^3$ .

Кількість  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в реакторі визначають за формулою:

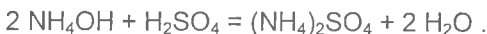
$$M_{\text{H}_2\text{SO}_4} = C_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot Y,$$

де **Y** – об'єм кислого розчину  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{дм}^3$ ;  $C_{\text{H}_2\text{SO}_4}$  – вміст  $\text{H}_2\text{SO}_4$  у розчині,  $\text{г/дм}^3$ .

#### 4.1.2. Визначення вмісту аміаку у водному розчині $\text{NH}_4\text{OH}$ (до та після реакції)

З колби з розчином  $\text{NH}_4\text{OH}$  відбирають піпеткою  $10 \text{ см}^3$  розчину і переносять у мірну колбу місткістю  $100 \text{ см}^3$ . Дистильованою водою доводять розчин до мітки та добре перемішують. З отриманого розчину відбирають  $10 \text{ см}^3$ , переносять у конічну колбу, додають  $100 \text{ см}^3$  дистильованої води та 1-2 краплі метилоранжу. Титрують 1 н. розчином  $\text{H}_2\text{SO}_4$  до рожевого забарвлення.

Хімічний процес описується таким рівнянням реакції:



Концентрацію  $\text{NH}_4\text{OH}$  у колбі ( $\text{г/дм}^3$ ) обчислюють за формулою:

$$C_{\text{NH}_4\text{OH}} = \frac{b \cdot 0,035 \cdot 1000 \cdot 100}{10 \cdot 10} = b \cdot 35 ;$$

де **b** – кількість 1 н. розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , використаного на титрування розчину  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{см}^3$ ;

**0,035** – кількість  $\text{NH}_4\text{OH}$ , яка відповідає  $1 \text{ см}^3$  1 н. розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , г.

Кількість  $\text{NH}_4\text{OH}$  в колбі **1** визначають за формулою:

$$M_{\text{NH}_4\text{OH}} = C_{\text{NH}_4\text{OH}} \cdot Z,$$

де  $C_{\text{NH}_4\text{OH}}$  – концентрація розчину  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{г/дм}^3$ ; **Z** – об'єм розчину  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{дм}^3$ .

Використовуючи співвідношення молекулярних мас, перераховують кількість  $\text{NH}_4\text{OH}$  на кількість  $\text{NH}_3$ .

#### 4.1.3. Визначення вмісту аміаку в поглинальних посудинах і фільтраті

Для визначення кількості аміаку, поглинутого у процесі отримання  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  в поглинальних посудинах **4** і **5**, до крана **3** під'єднують заповнені 1 н. розчином  $\text{H}_2\text{SO}_4$  поглинальні посудини **4** і **5**. В посудину **4** заливають

100 см<sup>3</sup> розчину, а в посудину 5 – 50 см<sup>3</sup> розчину, і додають до кожної по кілька крапель метилоранжу. За допомогою аспіратора 6 через поглинальні посудини просмоктують 1-3 дм<sup>3</sup> газу. Для цього відкривають кран 9 і випускають воду у мірну склянку 7. При зміні забарвлення у посудині 4 з червоного на оранжеве крани 3 і 9 закривають. Отриманий розчин з поглинальних посудин кількісно переносять в конічну колбу і залежно від кольору титрують надлишок кислоти 0,5 н. розчином NaOH або надлишок NH<sub>4</sub>OH 0,5 н. розчином H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

1 см<sup>3</sup> 1 н. розчину H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> або розчину NaOH відповідає 0,017 г аміаку.

Кількість поглинутого аміаку (г) у випадку титрування розчином NaOH обчислюють за формулою:

$$M_{NH_3} = (150 \cdot H_1 - c \cdot H_2) \cdot 0,017 ;$$

а у випадку титрування розчином кислоти – за формулою:

$$M_{NH_3} = (150 \cdot H_1 + c \cdot H_2) \cdot 0,017 ;$$

де  $c$  – кількість 0,5 н. розчину H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, або 0,5 н. розчину NaOH, використаних на титрування, см<sup>3</sup>;

150 – кількість 1 н. розчину H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в посудинах 4 і 5 см<sup>3</sup>;

H<sub>1</sub> – нормальність кислоти в посудинах 4 і 5, H<sub>1</sub> = 1;

H<sub>2</sub> – нормальність основи або кислоти, витрачених на титрування, H<sub>2</sub> = 0,5.

## 4.2. Аналіз готового продукту

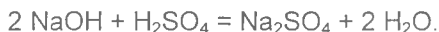
За наведеними нижче методиками отриману сіль і фільтрат аналізують на вміст (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (за методикою, описаною у розділі 4.2.1) і H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (за методикою, описаною у розділі 4.1.1).

### 4.2.1. Визначення вмісту амоній сульфату в готовому продукті

Для визначення вмісту амоній сульфату на попередньо зважене годинникове скло беруть наважку солі 5 г. Наважку через лійку змивають зі скла у мірну колбу місткістю 250 см<sup>3</sup>. Скло та лійку ополіскують дистильованою водою у ту ж колбу, доливають воду до мітки та добре перемішують (розчин №1).

50 см<sup>3</sup> отриманого розчину переносять у мірну колбу місткістю 500 см<sup>3</sup> і дистильованою водою доводять об'єм до мітки (розчин №2). З аналітичного розчину №2 відбирають 10 см<sup>3</sup> і переносять у конічну колбу місткістю 200-300 см<sup>3</sup> та додають 100 см<sup>3</sup> дистильованої води. Для нейтралізації наявної у готовому продукті кислоти отриманий розчин титрують 0,1 н. розчином NaOH в присутності метилоранжу до появи

оранжевого забарвлення (зміна забарвлення в присутності метилоранжу відбувається при  $\text{pH}=3,8$ ). Далі до відтитрованого розчину з бюретки додають  $50 \text{ см}^3$   $0,1 \text{ н.}$  розчину  $\text{NaOH}$ . Розчин кип'ятять до зменшення об'єму на одну третину, охолоджують і титрують  $1 \text{ н.}$  розчином  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в присутності метилоранжу. При цьому відбуваються такі реакції:



Вміст амоній сульфату в розчині №1 ( $\text{г/дм}^3$ ) обчислюють за формулою:

$$C_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = \frac{(50 \cdot H_1 - d \cdot H_2) \cdot 0,066 \cdot 1000 \cdot 500}{50 \cdot 10}$$

де  $d$  – кількість  $1 \text{ н.}$  розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , витраченого на зворотне титрування,  $\text{см}^3$ ;

$H_1, H_2$  – нормальність розчинів, відповідно, основи та кислоти;

$0,066$  – кількість амоній сульфату, яка відповідає  $1 \text{ см}^3$   $1 \text{ н.}$  розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , г.

Вміст амоній сульфату у вологому продукті (%) визначають за формулою:

$$X = \frac{C_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} \cdot 250}{g \cdot 1000} \cdot 100 ,$$

де  $C_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}$  – концентрація  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  у розчині №1,  $\text{г/дм}^3$ ;

$250$  – об'єм розчину №1,  $\text{см}^3$ ;

$g$  – наважка вологої солі для приготування розчину №1, г.

Кількість амоній сульфату у готовому продукті (г) визначають за формулою:

$$A = \frac{X \cdot (A_1 - A_0)}{100} ,$$

де  $X$  – процентний вміст  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  у вологому продукті;

$A_1$  – маса лійки Бюхнера з паперовим фільтром і вологою сіллю, г;

$A_0$  – маса лійки Бюхнера із зволоженим паперовим фільтром, г.

#### 4.2.2. Визначення кислотності готового продукту $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

З розчину №1 (отриманого при аналізі за методикою, описаною у розділі 4.2.1) відбирають у колбу піпеткою  $100 \text{ см}^3$ , додають кілька крапель

метилоранжу і титрують 0,5 н. розчином NaOH до зміни забарвлення з рожевого на оранжеве

Кислотність продукту К (%) обчислюють за формулою:

$$K = \frac{e \cdot 0,0245 \cdot 250 \cdot 100}{g \cdot 10},$$

де  $e$  – кількість використаного на титрування 0,5 н. розчину NaOH,  $\text{см}^3$ ,

$g$  – наважка вологої солі для приготування розчину №1, г;

250 – об'єм розчину №1,  $\text{см}^3$ ;

0,0245 г – кількість  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , яка відповідає 1  $\text{см}^3$  0,5 н. розчину NaOH.

#### 4.2.3. Визначення кількості $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (у вихідному розчині та фільтраті)

Після відфільтрування кристалічної солі амоній сульфату об'єм фільтрату вимірюють за допомогою мірного циліндра.

10  $\text{см}^3$  аналізованого вихідного розчину або фільтрату переносять у мірну колбу місткістю 100  $\text{см}^3$ , дистильованою водою доводять об'єм до мітки і добре перемішують. З розбавленого розчину піпеткою відбирають 10  $\text{см}^3$  і переносять у конічну колбу місткістю 250  $\text{см}^3$  і додають 100  $\text{см}^3$  дистильованої води. Розчин титрують 0,1 н. розчином NaOH в присутності метилоранжу до появи оранжевого забарвлення. Далі до відтитрованого розчину з бюретки додають 50  $\text{см}^3$  0,1 н. розчину NaOH. Розчин кип'ятять до зменшення об'єму на одну третину, охолоджують і титрують 1 н. розчином  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в присутності метилоранжу до появи рожевого забарвлення.

Вміст амоній сульфату ( $\text{г/дм}^3$ ) обчислюють за формулою:

$$M'_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = \frac{(50 \cdot H_1 - n \cdot H_2) \cdot 0,066 \cdot 1000 \cdot 100}{10 \cdot 10},$$

де  $n$  – кількість 1 н. розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , витраченого на титрування NaOH,  $\text{см}^3$ ;

$H_1$ ,  $H_2$  – нормальність розчинів, відповідно, основи та кислоти;

0,066 – кількість  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , яка відповідає 1  $\text{см}^3$  1 н. розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , г.

Кількість  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  у розчині (г) визначають за формулою:

$$M''_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = M'_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} \cdot V,$$

де  $M'_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}$  – вміст  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  у розчині,  $\text{г/дм}^3$ ;  $V$  – об'єм розчину (фільтрату),  $\text{дм}^3$ .

### 4.3. Визначення вологості продукту

Вологість визначають висушуванням 4-5 г наважки при 105-120°C до сталої маси.

Результати дослідів записують до таблиці.

Y	Z	Z <sub>1</sub>	V	a	b	c	d	e	n	g	X	A	A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>

C <sub>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>	M <sub>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>	M <sub>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>	C <sub>NH<sub>4</sub>OH</sub>	M <sub>NH<sub>4</sub>OH</sub>	M' <sub>NH<sub>4</sub>OH</sub>	M'' <sub>NH<sub>4</sub>OH</sub>	M <sub>NH<sub>3</sub></sub>	K	C <sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>	M <sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>	M' <sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>

### 4.4. Розрахунок матеріального балансу отримання амоній сульфату

Матеріальний баланс – матеріальне визначення закону збереження маси речовин, згідно з яким у будь-якій замкненій системі маса речовин, які вступають у взаємодію, рівна масі речовин, утворених в результаті взаємодії. Стосовно матеріального балансу будь-якого технологічного процесу це означає, що маса речовин, які поступили на технологічну операцію – ( $\sum N_{\text{вих}}$ ), рівна масі отриманих речовин – ( $\sum N_{\text{отр}}$ ):

$$\sum N_{\text{вих}} = \sum N_{\text{отр}}$$

Для розрахунку матеріального балансу отримання амоній сульфату за аміаком, сульфатною кислотою і сіллю (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> потрібні такі вихідні дані:

кількість

(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> у вихідному кислому розчині (M<sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>);

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> у вихідному кислому розчині (M<sub>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>);

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> у фільтраті (M'<sub>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>);

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, витраченої на взаємодію з аміаком (M''<sub>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>);

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в отриманій солі (K);

аміаку у вихідному розчині NH<sub>4</sub>OH (M<sub>NH<sub>4</sub>OH</sub>);

аміаку у фільтраті (M'<sub>NH<sub>4</sub>OH</sub>);

аміаку у розчині NH<sub>4</sub>OH після взаємодії (M''<sub>NH<sub>4</sub>OH</sub>);

аміаку, витраченого на взаємодію з H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (M<sub>NH<sub>3</sub></sub>);

аміаку, поглинутого посудинами 4 і 5 (M'<sub>NH<sub>3</sub></sub>);

(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в отриманій солі (X);

(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> у фільтраті M'<sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>;

об'єм

вихідного кислого розчину солі (Y);

фільтрату (V);

вихідного розчину  $\text{NH}_4\text{OH}$  (Z);

розчину  $\text{NH}_4\text{OH}$  після взаємодії ( $\text{Z}_1$ );

масу

масу фільтрувальної лійки Бюхнера із зволоженим паперовим фільтром ( $\text{A}_0$ );

масу фільтрувальної лійки Бюхнера з фільтром і вологою сіллю ( $\text{A}_1$ );

масу готового продукту  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (A).

### Матеріальний баланс на 1000 кг аміаку

Введено			Виведено		
Компоненти	кг	%	Компоненти	кг	%
$\text{H}_2\text{SO}_4$			$\text{H}_2\text{SO}_4$		
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$			$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$		
$\text{NH}_3$			$\text{NH}_3$		
Всього			Всього		

### Прилади та посуд (шт.):

1. Установка для отримання $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	- 1
2. Терези технічні	- 1
3. Електроплитка	- 1
4. Лійка Бюхнера з колбою	- 1
5. Штатив з бюретками	- 4
6. Мірний циліндр ( $500 \text{ см}^3$ )	- 1
7. Мірний циліндр ( $200 \text{ см}^3$ )	- 1
8. Піпетка на $10 \text{ см}^3$	- 3
9. Піпетка на $50 \text{ см}^3$	- 2
10. Піпетка на $100 \text{ см}^3$	- 1
11. Колба конічна ( $250 \text{ см}^3$ )	- 5
12. Колба конічна ( $1 \text{ дм}^3$ )	- 1
13. Колба мірна ( $100 \text{ см}^3$ )	- 2
14. Колба мірна ( $250 \text{ см}^3$ )	- 2
15. Лійка скляна	- 1
16. Ексикатор	- 1
17. Годинникове скло	- 2
18. Груша гумова	- 1
19. Фільтрувальний папір.	



## Реактиви, см<sup>3</sup> :

1. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (кристалічна)	- 200 г
2. Розчин NH <sub>4</sub> OH 15%-ий	- 500
3. Розчин NaOH 0,5 н	- 50
4. Розчин NaOH 0,1 н	- 50
5. Розчин H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1 н	- 50
6. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> концентрована (ρ = 1,84 г/см <sup>3</sup> )	- 20
7. Дистильована вода	- 500
8. Індикатори: метилоранж.	

## Контрольні запитання і завдання

1. Промислові способи отримання амоній сульфату і галузі його застосування.
2. Схема та принцип дії лабораторної установки для отримання амоній сульфату.
3. Обґрунтуйте основні технологічні параметри процесу.
4. Мета і суть методів аналізу вихідних реагентів для отримання амоній сульфату.
5. Мета і суть методів аналізу готових продуктів при отриманні амоній сульфату.

## Рекомендована література

1. Общая химическая технология. Под ред. Вольфовича С.И. // ГНТИ химической литературы. Москва, 1959.
2. Гончаров А.І., Михайленко В.П. Хімічна технологія. Практикум. // Київ, ГВВО "Вища школа", 1982.
3. Цебренько М.В., Ніколаєва А.П. Методичні вказівки до самостійної роботи при підготовці до лабораторних занять з дисципліни "Загальна хімічна технологія та основи промислової екології" / Київ, КТІЛП. – 1991.
4. Вєдь В.Є. та ін. Методичні вказівки до лабораторних робіт "Процеси хімічної технології" з курсу "Загальна хімічна технологія" / Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут». – 2002.
5. Походенко Л.А. Получение сульфата аммония мокрым способом. – Львов: ЛПИ, 1976.
6. Практикум по химической технологии. Под ред. Вольфовича С.И. // М.: Издательство Московского университета, 1968.
7. Бесков С.Д. Технологические расчеты / М.: Высшая школа, 1966. –Стор 28-40.
8. Неділько С.А., Попель П.П. Загальна й неорганічна хімія. Задачі та вправи. // Київ, вид-во «Либідь», 2001.

<b>Вступ .....</b>	<b>3</b>
<b>Технологія очистки води та водопідготовка .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Технічний аналіз води .....</b>	<b>6</b>
Теоретичні відомості .....	6
Методика проведення роботи .....	11
1.1. Визначення жорсткості води .....	11
1.2. Визначення окиснюваності води .....	12
1.3. Визначення вмісту диоксиду карбону .....	13
1.4. Визначення загального вмісту солей .....	14
Контрольні запитання та завдання .....	15
Рекомендована література .....	16
<b>2. Йонний обмін .....</b>	<b>17</b>
Теоретичні відомості .....	17
Установка для очищення води .....	22
Методика проведення роботи .....	23
2.1. Визначення вмісту йонів $\text{Cl}^-$ у воді .....	23
2.2. Визначення жорсткості води .....	24
Контрольні запитання та завдання .....	26
Рекомендована література .....	27
<b>Електрохімічні процеси у хімічній промисловості .....</b>	<b>28</b>
<b>3. Знесолювання води методом електродіалізу .....</b>	<b>28</b>
Теоретичні відомості .....	28
Установка для знесолювання води методом електродіалізу .....	32
Методика проведення роботи .....	33
3.1. Визначення жорсткості води .....	33
3.2. Визначення електропровідності (та опору) води .....	34
3.3. Визначення активної реакції води (pH) .....	36
Контрольні запитання та завдання .....	37
Рекомендована література .....	38
<b>Технологія солей та добрив .....</b>	<b>39</b>
<b>4. Отримання та аналіз амоній сульфату .....</b>	<b>39</b>
Теоретичні відомості .....	39
Установка для отримання амоній сульфату .....	40
Методика проведення роботи .....	40
4.1. Аналіз вихідних матеріалів і отримання амоній сульфату .....	42
4.2. Аналіз готового продукту .....	44
4.3. Розрахунок матеріального балансу отримання амоній сульфату .....	47
4.4. Визначення вологості продукту .....	47
Контрольні запитання та завдання .....	49
Рекомендована література .....	49
<b>Зміст .....</b>	<b>50</b>



2.ав  
ав

Авторське редагування

Надруковано в Копіювальному центрі НаУКМА  
Україна, 04070, м. Київ,  
вул.. Сковороди, 2, корп. 3

284/05

тел.: (044) 425-45-15; факс (044) 463-67-83

109102

UKMA Library \* Book



0325566

Наклад 300 шт.