

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ
“ВИРОБНИЦТВО СОЛЯНОЇ КИСЛОТИ
СУЛЬФАТНИМ МЕТОДОМ”
З ДИСЦИПЛІНИ “ЗАГАЛЬНА ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ”
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ВСІХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ
ТА ФОРМ НАВЧАННЯ**

Дніпропетровськ УДХТУ 2004

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ
“ВИРОБНИЦТВО СОЛЯНОЇ КИСЛОТИ
СУЛЬФАТНИМ МЕТОДОМ”
З ДИСЦИПЛІНИ “ЗАГАЛЬНА ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ”
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ВСІХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ
ТА ФОРМ НАВЧАННЯ

Затверджено на засіданні
кафедри загальної хімічної технології.
Протокол № 1 від 29.08.2003.

Дніпропетровськ УДХТУ 2004

Методичні вказівки до лабораторної роботи “Виробництво соляної кислоти сульфатним методом” з дисципліни “Загальна хімічна технологія” призначені для студентів університету всіх спеціальностей та форм навчання / Укл.: А.Г. Рудницький. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2004. – 17 с.

Укладач А.Г. Рудницький

Відповідальний за випуск В.Д. Барський, д-р техн. наук

Вказівки містять теоретичні основи процесу виробництва соляної кислоти сульфатним методом, опис технологічної схеми процесу, експериментальної лабораторної установки, що моделює розглядане виробництво. Наведено порядок проведення роботи на лабораторній установці, необхідні методики аналізів та обробки експериментальних даних, вимоги щодо звіту з лабораторної роботи, перелік контрольних запитань та навчальних посібників, що рекомендуються для поглибленого вивчення матеріалу.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи
“Виробництво соляної кислоти
сульфатним методом”
з дисципліни “Загальна хімічна технологія”
для студентів всіх спеціальностей та форм навчання

Укладач РУДНИЦЬКИЙ Андрій Георгійович

Редактор Л.М. Тонкошкур
Коректор Л.Я. Гоцуцова

Підписано до друку 21.01.04. Формат 69x84 1/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.
Умовн.-друк. арк.0,67. Облік.-вид. арк. 0,75. Тираж 50 прим. Замовлення № 50.
Свідоцтво ДК №303 від 27.12.2000 р.

УДХТУ, 49005, м. Дніпропетровськ, 5, просп. Гагаріна, 8

Видавничо-поліграфічний комплекс ІнКомЦентру

ВСТУП

Соляна кислота має широке застосування в різних галузях промисловості і за об'ємом виробництва серед інших кислот займає третє місце (після сірчаної та азотної). В хімічній промисловості соляна кислота використовується у виробництві органічних барвників, хлористих солей, активованого вугілля, преципітату, синтетичного каучуку та ін. В легкій і текстильній промисловості вона використовується при обробці текстилю, дубленні шкіри, обробці бавовни, гідролізі деревини, у виробництві цукру, глюкози, клеїв, при омиленні жирів та олій. В металообробній промисловості соляна кислота використовується для очищення металевих поверхонь перед гальванізацією, в гідрометалургії кольорових і благородних металів – для розкладання руди. Використовується вона і в сільському господарстві для консервації кормів.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА СОЛЯНОЇ КИСЛОТИ

1.1. Отримання хлористого водню

Основну кількість безводного хлористого водню і соляної кислоти отримують в якості побічного продукту [1]:

1) у процесах заміщувального хлорування вуглеводнів



(наприклад, хлорування CH_4 з метою отримання CH_3Cl , CH_2Cl_2 , $CHCl_3$ та CCl_4 , хлорування бензолу з отриманням C_6H_5Cl);

2) у процесах піролізу хлорпохідних вуглеводнів



(наприклад, отримання вінілхлориду піролізом дихлоретану);

3) у процесах гідрофторування хлорпохідних вуглеводнів

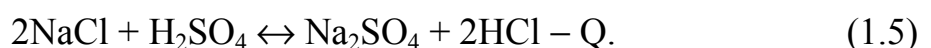


(наприклад, отримання фреонів та фторопластів).

Крім того, деяку кількість хлористого водню отримують при його синтезі з елементів:



та при взаємодії $NaCl$ з концентрованою сірчаною кислотою:



В усіх випадках виробництво соляної кислоти складається з двох стадій: отримання хлористого водню і поглинання (абсорбція) хлористого водню водою.

Останній спосіб, як найбільш простий та безпечний, рекомендується для отримання соляної кислоти в лабораторних умовах. До переваг цього способу слід віднести також утворення в якості цільового продукту сульфату натрію, заради виробництва якого, власне, він і був розроблений. Основним недоліком цього способу є невисока концентрація і недостатня чистота хлористого водню. Сульфатним способом отримують технічну соляну кислоту, що містить не більше 28–32% HCl, забруднену миш'яком, залізом та іншими домішками. Однак, не зважаючи на його недоліки, сульфатний спосіб знайшов широке розповсюдження в регіонах, які не мають природних родовищ сульфату натрію.

Сировиною для одержання хлористого водню сульфатним методом є подрібнена поварена сіль і 92–93%-на сірчана кислота.

В даний час розкладання повареної солі сірчаною кислотою здійснюється в безупинно діючих печах. У промисловості застосовуються муфельні та обертотві механічні сульфатні печі.

В муфельних печах обігрівальні топкові гази безпосередньо не стикаються з реагуючими речовинами, а передають своє тепло через стінку муфеля. У центрі муфеля розташований чавунний вал із гребками, на яких закріплені чавунні зуби з керамічними чи карборундовими наконечниками. Гребки з зубами розташовані таким чином, що при обертанні валу здійснюється тісний контакт сірчаної кислоти з повареною сіллю і пересування реакційної маси від центра до периферії. Для обігріву муфеля в топці спалюють генераторний газ. У середині муфеля підтримують температуру 500–550⁰С, температура обігрівальних топкових газів складає 950–1000⁰С.

При розкладанні повареної солі 93%-ною сірчаною кислотою теоретично повинен утворюватися газ, що містить 83% HCl і 17 %H₂O, а сухий газ повинен складатися лише з HCl. Однак практичний вміст HCl у сухому газі складає 30–50%, що пояснюється підсмоктуванням у муфель повітря і димових газів, які розбавляють хлористий водень (у середині муфеля підтримується невеликий вакуум 1–2 мм вод. ст. щоб уникнути проникнення газу в навколишнє середовище) [2].

Перевагою муфельних печей є порівняно висока концентрація HCl і відсутність його забруднення топковими газами. До недоліків муфельних печей слід віднести складність конструкції і підвищені в порівнянні з обертотвими механічними печами експлуатаційні витрати.

В обертотвих механічних печах нагрів реагентів здійснюється безпосередньо гарячими газами. Для обігріву таких печей застосовується низькосортне рідке паливо чи генераторний газ. Перевагою механічних обертотвих печей є їх велика продуктивність і, як наслідок, менші (у 3–3,5 рази при рівній продуктивності) у порівнянні з муфельними печами виробничі площі для їх розміщення. Основними недоліками обертотвих печей є низький вміст HCl у газі (близько 5%), забруднення його продуктами згоряння палива та утворення на стінках печі твердого шару Na₃H(SO₄)₂.

1.2. Абсорбція хлористого водню

При поглинанні хлористого водню водою виділяється тепло, яке або використовується для одержання концентрованої соляної кислоти за способом адіабатичної абсорбції, який здійснюється у баштах з насадкою, або відводиться шляхом зрошення холодною водою поверхні абсорберів. Перший спосіб поглинання хлористого водню з використанням тепла реакції є більш досконалим. За цим способом концентрована соляна кислота утворюється при простому барботуванні хлористого водню через воду без охолодження абсорбера чи поглинаючої рідини. При розчиненні хлористого водню у воді поступово підвищується температура соляної кислоти і підвищується тиск її пари. Як тільки тиск пари соляної кислоти стане рівним атмосферному тиску, рідина закипить. При цих умовах парова фаза буде складатися з водяної пари і хлористого водню.

В адіабатичних умовах випаровування викликає зниження температури кислоти. Отже, концентрація кислоти, яка залежить від температури, при якій здійснюється поглинання хлористого водню, при його подальшій подачі почне збільшуватися. Таким чином, концентрована соляна кислота буде утворюватися без її охолодження, тому що теплота реакції буде витрачатися на випаровування води. За мірою концентрування кислоти вміст хлористого водню в парі також буде підвищуватися. Тому при одержанні концентрованої соляної кислоти в одному пустотілому апараті більша частина хлористого водню залишиться непоглинутою. Це небажане явище усувається проведенням поглинання хлористого водню в тарілчастій колоні чи в колоні невеликих розмірів з насадкою, що забезпечує достатню поверхню зіткнення хлористого водню і води. При описаному адіабатичному режимі поглинання втрати хлористого водню невеликі внаслідок незначного його парціального тиску над гарячою розведеною соляною кислотою.

З хлористоводневого газу, що утворюється в сульфатних печах, методом адіабатичної абсорбції легко вдається отримувати стандартну соляну кислоту, яка містить 27,5% HCl.

2. СТИСЛА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОМИСЛОВОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

На рис. 2.1 наведена технологічна схема виробництва соляної кислоти сульфатним способом із застосуванням принципу адіабатичної абсорбції [3].

Хлористий водень, що виходить з муфельної печі 1 і має температуру 425–450⁰C, піддається спочатку очистці від домішок (дрібні частки сульфату, туман сірчаної кислоти) в очисній башті 2, а потім охолоджується до температури 200–250⁰C в сталевому газоході.

Очисна башта 2 зазвичай виготовляється з плит пісковика чи граніту і насаджена коксом або керамічними кільцями. Брудна соляна кислота, що витікає з башти 2, містить 8–10% сірчаної кислоти і є відходом виробництва.

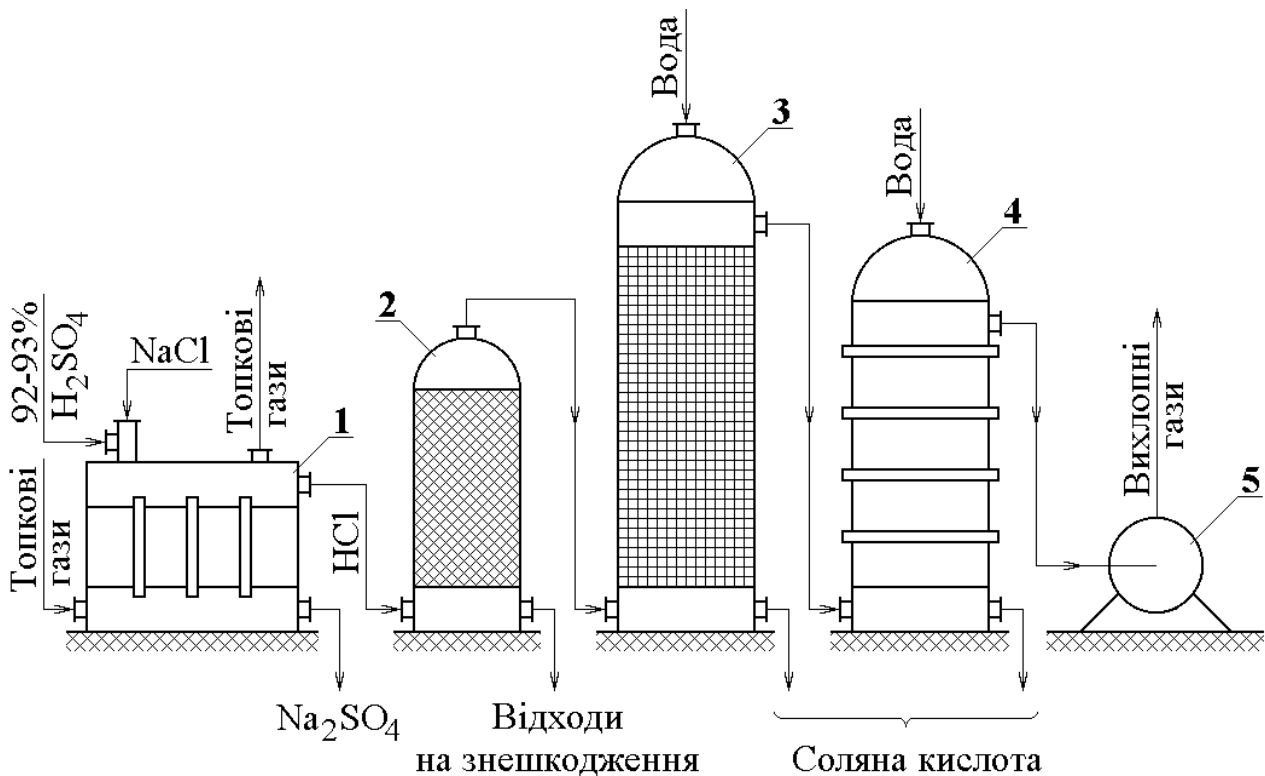


Рис. 2.1. Технологічна схема виробництва соляної кислоти із застосуванням принципу адіабатичної абсорбції:

1 – муфельна піч; 2 – очисна башта; 3 – абсорбер; 4 – промивальник хвостових газів; 5 – відсмоктувач вихлопних газів

З очисної башти газ надходить знизу в абсорбер 3, заповнений керамічними кільцями, та взаємодіє з водою, яка рухається назустріч. Соляна кислота, що утворюється у верхній частині абсорбера 3, стікаючи по насадці донасичується хлористим воднем. За мірою руху газу вгору концентрація стікаючої кислоти зменшується, посилюється абсорбція хлористого водню, а кількість тепла, що виділяється, безупинно зростає. В середній частині абсорбера 3 кислота кипить при температурі 110°C а концентрація її складає 20%, що відповідає складу азеотропної суміші.

Внаслідок випаровування азеотропної суміші відбувається охолодження кислоти у верхній частині абсорбера і поглинання хлористого водню водою, що надходить в верхню частину колони. Газ, що відходить з абсорбера, містить 1,0–1,5% HCl і спрямовується в промивальник хвостових газів 4, який зрошується водою або вапняним молоком. Рідина, що виходить з нього, містить 0,2–0,5% HCl і спрямовується в каналізацію кислих стоків, а газ, практично звільнений від хлористого водню, через відсмоктувач вихлопних газів 5 викидається в атмосферу. Готова соляна кислота з температурою $70\text{--}75^{\circ}\text{C}$ і концентрацією 31,0–31,5% відбирається з нижньої частини абсорбера 3 і надходить до сховища, де вона охолоджується до звичайної температури.

3. МЕТА РОБОТИ

Моделювання процесу отримання соляної кислоти сульфатним методом. Визначення основних кількісних характеристик процесу та отриманого продукту.

4. ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Лабораторна установка для виробництва соляної кислоти сульфатним методом, наведена на рис. 4.1, складається з колбонагрівача 1, краплинної лійки 2, реакційної колби 4, холодильника-сепаратора 5 та абсорберів 6.

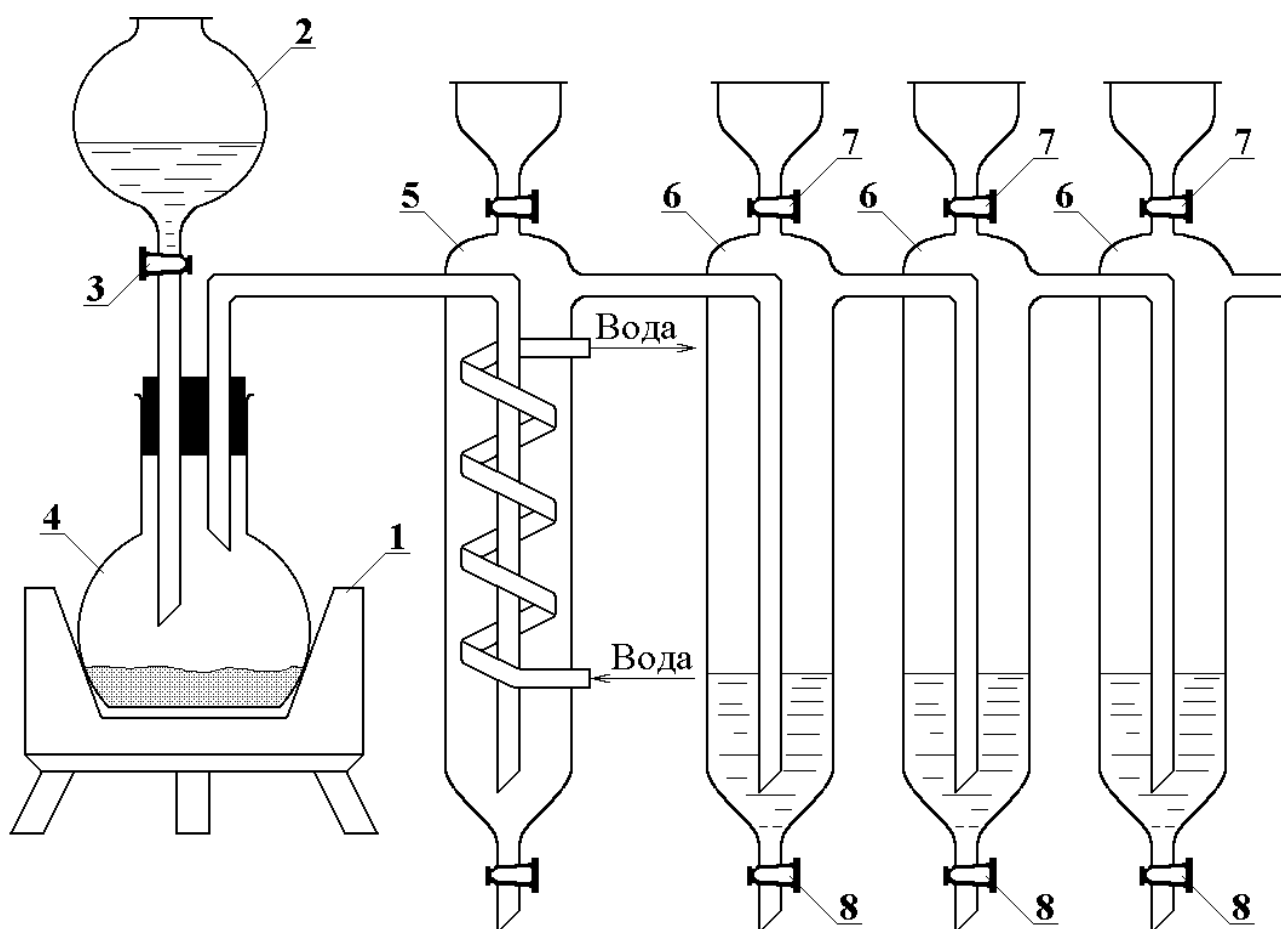


Рис. 4.1. Схема лабораторної установки для виробництва соляної кислоти сульфатним методом:

1 – колбонагрівач; 2 – краплинна лійка; 3, 7, 8 – крани;
4 – реакційна колба; 5 – холодильник-сепаратор; 6 – абсорбери

Краплинна лійка 2 обладнана краном 3 для зливу сірчаної кислоти до реакційної колби 4 на початку досліду і герметизації установки під час експерименту.

Абсорбери 6 постачені верхніми кранами 7 для введення дистильованої води в абсорбери та нижніми кранами 8 для зливу отриманої соляної кислоти після завершення досліду.

5. ПИТАННЯ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

При виконанні даної роботи забороняється:

- приступати до досліду без дозволу викладача;
- вмикати та вимикати колбонагрівач вологими руками;
- вести дослід при закритому випускному крані 7 на останньому абсорбері, бо зростання тиску в системі може призвести до вибуху;
- залишати без нагляду включену установку.

Кожну рідину належить відбирати за допомогою окремого вимірювального посуду, на якому зазначена назва відповідної рідини – сірчана кислота для досліду відміряється мірним циліндром, аліквоти отриманих розчинів соляної кислоти для визначення їх концентрацій відбираються піпетками, на яких зазначений номер абсорбера.

Особливої обережності слід дотримуватися при роботі з сірчаною кислотою та концентрованою соляною кислотою з першого абсорбера. При попаданні цих рідин на відкриті ділянки шкіри невідкладно промити їх рясним струменем води та обробити содовим розчином.

6. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

6.1. Попередні зауваження

При виконанні роботи необхідно:

- а) уважно ознайомитися із завданням;
 - б) не захащувати своє робоче місце сторонніми предметами, що не стосуються виконуваної роботи;
 - в) не відволікатися та не заважати товаришам, нічого не брати з іншого столу – все необхідне для виконання роботи наявне на вашому робочому місці;
 - г) при виникненні будь-яких ускладнень звертатися за роз'ясненням до викладача;
 - д) по закінченні роботи навести порядок на робочому місці;
 - е) отриману концентровану соляну кислоту з першого абсорбера, після досліду та виконання аналізів, вилити в склянку-збірник концентрованої соляної кислоти (ні в якому разі не зливати у раковину!).
- Обов'язковим є виконання наведених вище вимог техніки безпеки.

6.2. Виконання роботи

При підготовці установки до досліду необхідно:

- 1) засипати в колбу 4 задану викладачем кількість хлориду натрію;
- 2) залити в абсорбери 6 заданий викладачем об'єм дистильованої води;
- 3) зібрати лабораторну установку відповідно до рис. 4.1;
- 4) подати охолоджуючу воду в холодильник-сепаратор 5;
- 5) звільнити холодильник-сепаратор 5 від рідини, що могла залишитися в ньому від попереднього досліду;
- б) ввімкнути колбонагрівач 1;

7) у краплинну лійку 2 зібраної установки при закритому крані 3 залити розраховану кількість концентрованої сірчаної кислоти.

При запуску установки, який здійснюється обов'язково в присутності викладача, за рахунок вакууму, що створюється насосом Комовського, кислота з краплинної лійки 2 при відкритому крані 3 подається в реакційну колбу 4. Хлористий водень, що утворюється в результаті взаємодії хлористого натрію з сірчаною кислотою, через холодильник-сепаратор 5 подається в абсорбери 6. При цьому на лабораторній установці повинні бути закриті всі крани окрім крану 7 на останньому абсорбері.

Під час досліду необхідно стежити за герметичністю установки, не допускаючи виходу хлористого водню в атмосферу.

При помітному уповільненні виділення хлористого водню, для його відводу із зони реакції у абсорбери, через реакційну систему за допомогою насоса Комовського слід прокачати атмосферне повітря. Для цього відкривають кран 3, закривають кран 7 на останньому абсорбері і роблять декілька обертів колісного приводу насоса Комовського. Через 5–7 секунд, необхідних для вирівнювання тиску в системі, закривають кран 3 і відкривають кран 7 на останньому абсорбері.

Якщо після чергового прокачування виділення хлористого водню незначне і швидко припиняється, дослід завершують. Для цього вимикають колбонагрівач, відкривають всі верхні крани абсорбційного відділення (крани 6 і кран на холодильнику-сепараторі) і зливають отриману соляну кислоту з кожного абсорбера у відповідно підписані скляні стаканчики.

Мірним циліндром, починаючи з третього абсорбера, вимірюють об'єм отриманих розчинів і з кожного розчину відбирають проби для визначення концентрації соляної кислоти (див. підрозд. 7.1). За результатами титрування розраховують практичну масу хлористого водню (табл. 7.1).

Також для складання матеріального балансу процесу отримання хлористого водню визначають масу хлориду натрію, що не вступив у реакцію (див. підрозд. 7.2).

7. МЕТОДИКИ АНАЛІЗІВ І ВИЗНАЧЕНЬ

7.1. Визначення концентрації отриманої соляної кислоти

Визначення концентрації отриманої соляної кислоти виконується для кожного абсорбера окремо і проводиться за допомогою основної формули об'ємного аналізу, яка для даного випадку має вигляд:

$$N_{\text{HCl}} = \frac{V_{\text{NaOH}} \cdot N_{\text{NaOH}}}{V_{\text{HCl}}}, \quad (7.6)$$

де V_{HCl} і V_{NaOH} – об'єм соляної кислоти, взятої для аналізу, та об'єм лугу, що витратився на титрування, відповідно, мл; N_{HCl} і N_{NaOH} – нормальності соляної кислоти та лугу, відповідно, г-екв/л.

Для визначення концентрації кислоти, отриманої в кожному абсорбері, з відповідного стаканчика за допомогою піпетки відбирають проби для титрування – з першого абсорбера 5 мл, з другого та третього абсорбера – по 10 мл. Проби переносять у відповідно підписані конічні колби, добавляють близько 50 мл дистильованої води і титрують кислоту з першого абсорбера, враховуючи її високу концентрацію, 1 н. розчином лугу, а кислоту з другого та третього абсорберів – 0,1 н. розчином лугу з використанням у якості індикатора фенолфталеїну або метилоранжу.

Отримані дані заносять до табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Визначення концентрації отриманої соляної кислоти

Величина	Абсорбери		
	1	2	3
Об'єм дистильованої води, залитої у абсорбери, мл			
Об'єм отриманої соляної кислоти, мл			
Об'єм проби кислоти, взятої для аналізу, мл			
Нормальність лугу, взятого для аналізу, г-екв/л			
Об'єм лугу, що витратився на титрування, мл			
Нормальність отриманої соляної кислоти, г-екв/л			
Практична маса хлористого водню, г			
Загальна практична маса хлористого водню, г			
Теоретична маса хлористого водню, г			
Відносний вихід хлористого водню, %			

Практичну масу хлористого водню в кожному абсорбері визначають за формулою, г:

$$m_{\text{HCl}, i} = \frac{N_{\text{HCl}, i} \cdot E_{\text{HCl}}}{1000} \cdot V_{\text{розч.}, i} \quad (7.7)$$

де $N_{\text{HCl}, i}$ – нормальність соляної кислоти в i -тому абсорбері, г-екв/л; $V_{\text{розч.}, i}$ – об'єм соляної кислоти в i -тому абсорбері, мл; E_{HCl} – еквівалентна маса соляної кислоти, г/екв.

В подальших розрахунках використовують загальну практичну масу хлористого водню зі всіх абсорберів, г:

$$m_{\text{HCl}} = \sum_{i=1}^3 m_{\text{HCl}, i} \quad (7.8)$$

Теоретичну масу хлористого водню і відносний вихід хлористого водню розраховують у підрозд. 8.2.

7.2. Визначення маси хлориду натрію, що не вступив у реакцію

Масу хлориду натрію, що не вступив у реакцію, визначають через масу залишкової сірчаної кислоти.

Для цього після остигання колби 4 в неї до половини об'єму заливають дистильовану воду і після повного розчинення реакційного залишку переносять розчин в мірну колбу на 250 мл, доводять дистильованою водою до мітки і перемішують.

З мірної колби за допомогою бюретки відбирають пробу об'ємом 25 мл і переносять в конічну колбу. Пробу розбавляють дистильованою водою об'ємом близько 50 мл і титрують 0,5 н. розчином лугу в присутності фенолфталеїну або метилоранжу.

Масу залишкової сірчаної кислоти розраховують за формулою, г:

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{залишк.}} = \frac{V_{\text{NaOH}} \cdot N_{\text{NaOH}} \cdot 0,049 \cdot 250}{25}, \quad (7.9)$$

де V_{NaOH} – об'єм лугу, що витратився на титрування, мл; 0,049 – маса сірчаної кислоти, що відповідає 1 мл 1 н. розчину лугу, г.

Масу хлориду натрію, що не вступив у реакцію, розраховують за формулою, г:

$$m_{\text{NaCl}}^{\text{залишк.}} = \left[m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{залишк.}} - \left(m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{практ.}} - m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{теор.}} \right) \right] \cdot \frac{2 \cdot M_{\text{NaCl}}}{M_{\text{H}_2\text{SO}_4}}, \quad (7.10)$$

де M_{NaCl} і $M_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ – молярні маси хлориду натрію та сірчаної кислоти, відповідно, г/моль; $m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{практ.}}$ і $m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{теор.}}$ – теоретична та практична маса сірчаної кислоти для досліду (див. підрозд. 8.1), г.

Всі дані за визначення маси хлориду натрію, що не вступив у реакцію, заносять до табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Визначення маси хлориду натрію, що не вступив у реакцію

Об'єм 0,5 н. лугу, що витратився на титрування, мл	Маса залишкової H_2SO_4 , г	Маса NaCl, що не вступив у реакцію, г

8. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

8.1. Розрахунок об'єму розчину сірчаної кислоти для досліду

Перед початком роботи за заданими викладачем вихідними даними розраховують необхідний об'єм розчину сірчаної кислоти. Вихідні дані і результати розрахунків зводять до табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Розрахунок об'єму розчину сірчаної кислоти для досліду

Вихідні дані		Розрахункові дані	
Маса NaCl, г		Теоретична маса H ₂ SO ₄ , г	
Концентрація H ₂ SO ₄ , %		Практична маса H ₂ SO ₄ , г	
Надлишок H ₂ SO ₄ , %		Маса розчину H ₂ SO ₄ , г	
		Об'єм розчину H ₂ SO ₄ , мл	

Теоретичну масу сірчаної кислоти з урахуванням реакції (1.5) розраховують за формулою, г:

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{теор.}} = m_{\text{NaCl}} \cdot \frac{M_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{2 \cdot M_{\text{NaCl}}}, \quad (8.11)$$

де m_{NaCl} – задана маса NaCl, г; $M_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ і M_{NaCl} – молярні маси відповідно сірчаної кислоти і хлориду натрію, г/моль.

Практичну масу сірчаної кислоти розраховують за формулою, г:

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{практ.}} = m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{теор.}} \cdot \frac{(100 + k_{\text{надл.}})}{100}, \quad (8.12)$$

де $k_{\text{надл.}}$ – надлишок H₂SO₄, %.

Масу розчину сірчаної кислоти розраховують за формулою, г:

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{розч.}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{практ.}}}{C_{\text{H}_2\text{SO}_4}} \cdot 100, \quad (8.13)$$

де $C_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ – концентрація розчину H₂SO₄, %.

Об'єм розчину сірчаної кислоти розраховують за формулою, мл:

$$V_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{розч.}}}{\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{розч.}}} \quad (8.14)$$

де $\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{розч.}}$ – густина розчину сірчаної кислоти, г/см³.

Значення $\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ визначають за допомогою табл. 8.2.

Таблиця 8.2

Густина розчинів сірчаної кислоти в залежності від їх концентрації

$C_{H_2SO_4}, \%$	$\rho_{H_2SO_4}^{розч.}, \text{г/см}^3$	$C_{H_2SO_4}, \%$	$\rho_{H_2SO_4}^{розч.}, \text{г/см}^3$	$C_{H_2SO_4}, \%$	$\rho_{H_2SO_4}^{розч.}, \text{г/см}^3$
74	1,6574	83	1,7594	92	1,8240
75	1,6692	84	1,7693	93	1,8279
76	1,6810	85	1,7786	94	1,8312
77	1,6927	86	1,7872	95	1,8337
78	1,7043	87	1,7951	96	1,8355
79	1,7158	88	1,8022	97	1,8364
80	1,7272	89	1,8087	98	1,8365
81	1,7383	90	1,8144	99	1,8342
82	1,7491	91	1,8195	100	1,8305

8.2. Визначення відносного виходу хлористого водню

Відносний вихід хлористого водню визначають за формулою, %

$$\Phi_{HCl} = \frac{m_{HCl}}{m_{HCl}^{теор.}} \cdot 100, \quad (8.15)$$

де m_{HCl} і $m_{HCl}^{теор.}$ – загальна практична і теоретична маса хлористого водню, відповідно, г.

Загальна практична маса хлористого водню визначена раніше – див. табл. 7.1.

Теоретичну масу хлористого водню визначають за реакцією (1.5) при умові, що реакція пройшла до кінця (для цього потрібно постійно виводити з зони реакції хлористий водень, так як рівновага розглядової реакції визначається тільки його парціальним тиском), за формулою, г

$$m_{HCl}^{теор.} = m_{NaCl} \cdot \frac{M_{HCl}}{M_{NaCl}}, \quad (8.16)$$

де M_{HCl} – молярна маса HCl, г/моль; m_{NaCl} – маса хлориду натрію, взятого для дослідів, г.

Розраховані значення теоретичної маси та відносного виходу хлористого водню заносять до табл. 7.1.

8.3. Складання матеріального балансу процесу отримання хлористого водню

Матеріальний баланс (МБ) складається на основі матеріального розрахунку, як при проектуванні, так і при аналізі роботи підприємства або якоїсь його частини, цеху, установки. Завершенням розрахункової частини роботи є складання МБ реактора(реакційної колби) лабораторної установки.

Рівняння матеріального балансу (РМБ) в загальному випадку має такий вигляд:

$$\sum m_{\text{приб.}} = \sum m_{\text{витр.}} \quad (8.17)$$

де $m_{\text{приб.}}$ і $m_{\text{витр.}}$ – маси прибуткової і витратної частин МБ, відповідно.
Для реакційної колби лабораторної установки РМБ має вигляд:

$$m_{\text{NaCl}} + m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{практ.}} + m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{приб.}} = m_{\text{HCl}} + m_{\text{Na}_2\text{SO}_4} + m_{\text{NaCl}}^{\text{витр.}} + m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{витр.}} + m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{витр.}} + m_{\text{HCl}}^{\text{втр.}} \quad (8.18)$$

де m_{NaCl} , $m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{практ.}}$, $m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{приб.}}$ – маси хлористого натрію, сірчаної кислоти та води в прибутковій частині МБ, відповідно; m_{HCl} – маса отриманого хлористого водню; $m_{\text{NaCl}}^{\text{витр.}}$, $m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{витр.}}$, $m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{витр.}}$ – маси хлористого натрію, сірчаної кислоти та води у витратній частині МБ, відповідно; $m_{\text{HCl}}^{\text{втр.}}$ – маса непоглинутого хлористого водню.

Критерієм правильності складання матеріального балансу є однаковість мас його прибуткової і витратної частин.

При складанні матеріального балансу реакційної колби використовуються дані з табл. 7.1, 7.2. і 8.1.

Матеріальний баланс оформляється в табличній формі (табл. 8.3).

8.3.1. Складання прибуткової частини матеріального балансу

Маса NaCl задається в складі вихідних даних (див. табл. 8.1).

Маса H₂SO₄ розрахована раніше (див. табл. 8.1).

Масу H₂O у складі сірчаної кислоти розраховують з використанням даних табл. 8.1 за формулою, г:

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{приб.}} = m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{розч.}} - m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{практ.}} \quad (8.19)$$

8.3.2. Складання витратної частини матеріального балансу

Практична маса HCl розрахована раніше (див. табл. 7.1).

Масу Na₂SO₄ визначають за формулою, г:

$$m_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = \left(m_{\text{NaCl}} - m_{\text{NaCl}}^{\text{витр.}} \right) \cdot \frac{M_{\text{Na}_2\text{SO}_4}}{2 \cdot M_{\text{NaCl}}} \quad (8.20)$$

Маси NaCl та H₂SO₄ після досліду розраховані раніше (див. табл. 7.2).

Так як H₂O в даному процесі участі не приймає, її кількість у витратній частині матеріального балансу буде дорівнювати її кількості в прибутковій його частині.

Масу непоглинутого HCl визначають за формулою, г:

$$m_{\text{HCl}}^{\text{втр.}} = \left(m_{\text{NaCl}} - m_{\text{NaCl}}^{\text{випр.}} \right) \cdot \frac{M_{\text{HCl}}}{M_{\text{NaCl}}} - m_{\text{HCl}} \quad (8.21)$$

Після складання матеріального балансу розраховують так названу його нев'язку, %:

$$X = \frac{|m_{\text{приб.}} - m_{\text{випр.}}|}{\max(m_{\text{приб.}}, m_{\text{випр.}})} \cdot 100. \quad (8.22)$$

Таблиця 8.3

Матеріальний баланс процесу отримання хлористого водню

ПРИБУТОК			ВИТРАТИ		
Статті прибутку	г	%	Статті витрат	г	%
NaCl			HCl		
Сірчана кислота:			Na ₂ SO ₄		
H ₂ SO ₄			NaCl		
H ₂ O			H ₂ SO ₄		
Разом:			H ₂ O		
			Непоглинутий HCl		
Всього:			Всього:		
Нев'язка матеріального балансу, %:					

9. ВИМОГИ ДО УПОРЯДКУВАННЯ ЗВІТУ

Звіт про роботу повинен бути написаний охайно і грамотно, містити дані усіх визначень, розрахунки, схему лабораторної установки.

Рекомендований план звіту:

- мета роботи;
- стислий опис фізико-хімічних основ отримання соляної кислоти сульфатним методом (отримання хлористого водню, його абсорбція);
- стислий опис лабораторної експериментальної установки;
- порядок проведення роботи;
- методики і результати аналізів (визначення концентрації отриманих розчинів соляної кислоти, кількості залишкових сірчаної кислоти і хлориду натрію);
- розрахунки до роботи (визначення об'єму сірчаної кислоти для досліду, відносного виходу хлористого водню);

- матеріальний баланс процесу отримання хлористого водню;
- висновки про роботу.

Всі експериментальні дані і результати розрахунків повинні бути оформлені у вигляді відповідних таблиць.

10. ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДО ЗАХИСТУ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Які області застосування соляної кислоти Ви знаєте?
2. З яких стадій складається виробництво соляної кислоти будь-яким методом?
3. Назвіть способи промислового отримання хлористого водню.
4. Зробіть коротку порівняльну характеристику існуючих хімічних схем виробництва хлористого водню.
5. Як на Вашу думку, за якою хімічною схемою можна отримати найчистіший хлористий водень?
6. Розкажіть, як функціонує технологічна схема виробництва хлористого водню сульфатним методом.
7. Які реактори використовуються в промисловості для отримання хлористого водню?
8. Зробіть коротку порівняльну характеристику промислових реакторів.
9. В чому полягає принцип адіабатичної абсорбції у виробництві соляної кислоти?
10. Вкажіть тип розгляданого ХТП за характером хімічного перетворення та за фазовим станом реагентів.
11. Особливості кінетики гетерогенного ХТП на прикладі розкладання хлориду натрію сірчаною кислотою.
12. Дайте визначення відносного Φ_R та практичного виходу (наведіть приклад з лабораторної роботи).
13. Поясніть вплив на рівноважний ступінь перетворення X_A^* : зміни температури, зміни тиску, зміни концентрації реагенту, зміни концентрації продукту реакції.
14. При припиненні виділення хлористого водню у лабораторній роботі через реакційну колбу прокачувалося повітря, після чого процес протікав значно більш інтенсивно. Як на Вашу думку, чому?
15. Підрахуйте, який об'єм 5 н. соляної кислоти можна отримати з 1 кг повареної солі, яка містить 98% хлориду натрію, якщо ступінь його перетворення складає 95%.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Левинский М.И.* и др. Хлористый водород и соляная кислота. – М.: Химия, 1985. – 160 с.
2. *Кутепов А.М.* и др. Общая химическая технология. – М.: Высш. шк., 1990. – 520 с.
3. *Бесков В.С., Сафронов В.С.* Общая химическая технология и основы промышленной экологии. – М.: Химия, 1999. – 470 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Теоретичні основи виробництва соляної кислоти	3
1.1. Отримання хлористого водню	3
1.2. Абсорбція хлористого водню	5
2. Стисла характеристика промислової технологічної схеми	5
3. Мета роботи	7
4. Опис лабораторної установки	7
5. Питання техніки безпеки	8
6. Порядок виконання роботи	8
6.1. Попередні зауваження	8
6.2. Виконання роботи	8
7. Методики аналізів і визначень	9
7.1. Визначення концентрації отриманої соляної кислоти	9
7.2. Визначення маси хлориду натрію, що не вступив у реакцію	11
8. Обробка результатів експерименту	12
8.1. Розрахунок об'єму розчину сірчаної кислоти для досліду	12
8.2. Визначення відносного виходу хлористого водню	13
8.3. Складання матеріального балансу процесу отримання хлористого водню	14
8.3.1. Складання прибуткової частини матеріального балансу	14
8.3.2. Складання витратної частини матеріального балансу	14
9. Вимоги до упорядкування звіту	15
10. Перелік питань до захисту лабораторної роботи	16
Список літератури	16