

Волинський національний університет
імені Лесі Українки
Факультет хімії, екології та фармації
Кафедра хімії та технологій

**Олег Марчук
Олександр Смітюх**

ОСНОВИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
(Частина 1)

**Методичні рекомендації до лабораторного практикуму
для студентів спеціальностей
102 – Хімія та 014 – Середня освіта (Хімія)**

Луцьк – 2020

УДК 66.01

*Рекомендовано до друку науково-методичною радою
Волинського національного університету
імені Лесі Українки
(протокол № 2 від 21 жовтня 2020 року)*

Рецензенти:

Мороз І. А. – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри матеріалознавства Луцького національного технічного університету;

Марушко Л. П. – кандидат хімічних наук, декан факультету хімії, екології та фармації Волинського національного університету імені Лесі Українки.

М 30 Марчук О., Смітюх О. Основи хімічної технології (Частина 1).
Методичні рекомендації до лабораторного практикуму для студентів спеціальностей 102 – Хімія та 014 – Середня освіта (Хімія) / Олег Васильович Марчук, Олександр Вікторович Смітюх. – Луцьк: ПП Іванюк В. П., 2020. – 46 с.

Навчально-методичне видання містить детальний опис лабораторних робіт з нормативної навчальної дисципліни “Основи хімічної технології”.

Для студентів напряму підготовки бакалавра (спеціальності 102 – Хімія та 014 – Середня освіта (Хімія), викладачів і лаборантів, що проводять лабораторні заняття.

УДК 66.01

© Марчук О. В., Смітюх О. В. 2020
© Волинський національний університет імені Лесі Українки, 2020

ЗМІСТ	ст.
Лабораторна робота № 1. <i>Очистка та визначення вологості сировини</i>	4
Лабораторна робота № 2. <i>Отримання мила</i>	6
Лабораторна робота № 3. <i>Синтез тіокольного каучуку</i>	10
Лабораторна робота № 4. <i>Аналіз та очистка води</i>	13
Лабораторна робота № 5. <i>Виділення калій хлориду із сільвініту та його аналіз</i>	16
Лабораторна робота № 6. <i>Добування сірчаної кислоти нітрозним методом</i>	19
Лабораторна робота № 7. <i>Електроліз розчину натрій хлориду</i>	23
Лабораторна робота № 8. <i>Розрахунок матеріального балансу печі для випалювання колчедану</i>	27
Лабораторна робота № 9. <i>Аналіз виробництва</i>	36
Перелік екзаменаційних питань	40
Рекомендована література	43

Лабораторна робота № 1

Очистка та визначення вологості сировини



Прилади і реактиви: штатив, склянка Оствальда, мірний циліндр, кристалізатор, лійка, з'єднувальні шланги, кільця, лапки і муфти для штатива, ваги, бюкс, зразок сировини, кальцій карбід.

Хід роботи

Газометр заповнюють водою: наливають воду в кристалізатор та мірний циліндр, мірний циліндр поміщають верх дном у кристалізаторі з водою, щоб не вилілась вода. Відмічають початковий об'єм води в газометрі (V_0).

Зразок сировини (рідина, 6 мл) наливають через лійку в одне з колін попередньо зваженої склянки Оствальда (m_1). Зважують склянку Оствальда разом із сировиною (m_2). Масу взятого зразка сировини визначають за різницею мас $g = m_2 - m_1$. В інше коліно через лійку вносять 2 г прожареного, розмеленого і просіяного кальцій карбід. Пробірку закривають пробкою зі шлангом і газовідвідною трубкою, інший кінець якої поміщають в газометр (під перевернутий циліндр).

Далі склянку Оствальда нахиляють так, щоб карбід кальцію висипався в зразок рідини. При цьому відразу ж починається реакція з виділенням ацетилену, і рівень рідини в газометрі повинен понижуватись. Суміш у пробірці струшують до припинення виділення газу. Відмічають кінцевий об'єм води в газометрі (V_1). За різницею ($V_1 - V_0$) встановлюють об'єм виділеного ацетилену ($V = V_1 - V_0$). Визначають вміст води у зразку сировини за формулою:

$$W = \frac{1,607 \cdot V(n)}{g} \cdot 100\%,$$

де (V) – об'єм виділеного ацетилену (л); g – маса зразка сировини, використаного для експерименту (г).

Питання для перевірки знань

1. Дайте визначення поняттю сировини в хімічній промисловості. Способи її класифікації.
2. Охарактеризуйте методи збагачення твердої сировини.
3. Охарактеризуйте методи збагачення рідкої сировини.
4. Охарактеризуйте методи збагачення газоподібної сировини.
5. Дайте характеристику основним етапам радіометричного сортування.
6. Основні види енергії, що використовуються у хімічній промисловості; їх характеристика.
7. Охарактеризуйте основні стадії виробництва стиролу та полістиролу.
8. Охарактеризуйте основні стадії виробництва кальцій карбід.
9. Дайте загальну характеристику методів первинної переробки нафти.
10. Дайте загальну характеристику методів вторинної переробки нафти.

Лабораторна робота № 2

Отримання мила



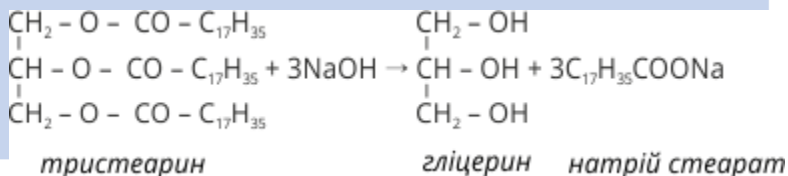
Мила – це солі високомолекулярних жирних кислот, головним чином натрієві (тверді туалетні мила) та калієві (рідкі туалетні мила).

Залежно від складу жирних кислот є два призначення мила: туалетне та господарське. Туалетне мило добре миє руки та обличчя в теплій та прохолодній воді завдяки тому, що містить у своєму складі лауринову ($C_{11}H_{23}COOH$) та миристинову ($C_{13}H_{27}COOH$) кислоти (кокосова та пальмоядрова олії). Мило господарське має більший вміст пальметинової ($C_{15}H_{31}COOH$), стеаринової ($C_{17}H_{35}COOH$) та олеїнової ($C_{17}H_{33}COOH$) кислот і тому добре миє забруднену білизну в гарячій воді.

Для виготовлення туалетного мила використовують природні жири тваринного та рослинного походження, синтетичні жирні кислоти, луги, допоміжні матеріали, барвники, віддушки, антиоксиданти, пережирювальні, дезінфекційні та лікувально-профілактичні домішки.

Як допоміжні компоненти для синтезу мила використовують: їдкий натр ($NaOH$, гідроксид натрію (товарна назва – каустична сода)), їдкий калій (KOH , гідроксид калію), вуглекислий натрій (Na_2CO_3 , карбонат натрію (товарна назва – кальцинована сода)), вуглекислий калій (K_2CO_3 , карбонат калію, поташ), силікат натрію $Na_2O \cdot nSiO_2$ ($n = 1 - 4$), гексаметафосфат натрію $[Na_6(PO_3)_6]$ (його вводять для запобігання утворенню нерозчинних у воді кальцієвих та магнієвих миль, які осідають на шкірі та волоссі), барвники і стабілізатори (антиоксиданти).

Процес миловаріння полягає в нагріванні жирів з лугами (омилення жирів):



До утвореної в'язкої рідини додають насичений розчин кухонної солі, для зменшення розчинності мила. Мило виділяється з розчину і спливає на поверхню. Цей процес називають **висолюванням**. Мило збирають і заповнюють ним форми, де воно твердне.

Прилади і реактиви: фарфорові стакани місткістю 100 – 150 мл (2 шт.), технічні терези, колби місткістю 100 – 250 мл, піпетки, скляні палички, жир, натрію гідроксид, хлоридна кислота, етанол або пропанол, насичений розчин натрій хлориду, мило різних сортів.

Порядок виконання роботи.

Частина 1. Отримання мила.

Проводять гідроліз жирів спиртовим розчином гідроксиду натрію. Для цього зважують 6 г жиру ($m_{\text{жир}}$), поміщають його у стакан і нагрівають до розплавлення. Готують розчин гідроксиду натрію: розчиняють 2,5 г NaOH (m_{NaOH}) в 6 мл H_2O ($V_{\text{H}_2\text{O}}$) і додають 15 мл етанолу або пропанолу ($V_{\text{спирт}}$). Спиртовий розчин NaOH доливають, перемішуючи, до розплавленого жиру (**обережно! стакан зняти з плитки**).

Отриманий розчин кип'ятять, доки він не стане однофазним (якщо за 10 – 15 хв. реакція не закінчиться, це означає, що були зроблені помилки при приготуванні розчину натрій гідроксиду.), додають до нього 20 мл насиченого розчину натрій хлориду (V_{NaCl}) і охолоджують у холодній воді. Мило, що утворилось дістають зі стакана, ретельно висушують фільтрувальним папером, залишають сохнути на повітрі протягом кількох діб, після чого зважують ($m_{\text{мило}}$). Розраховують витратні коефіцієнти для:

$$\text{води:} \quad \beta_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{m_{\text{мило}}} \quad [\text{мл/г}]; \quad (2.1)$$

$$\text{спирту:} \quad \beta_{\text{спирт}} = \frac{V_{\text{спирт}}}{m_{\text{мило}}} \quad [\text{мл/г}]; \quad (2.2)$$

$$\text{жиру:} \quad \beta_{\text{жир}} = \frac{m_{\text{жир}}}{m_{\text{мило}}} \quad [\text{г/г}]; \quad (2.3)$$

$$\text{натрій гідроксиду:} \quad \beta_{NaOH} = \frac{m_{NaOH}}{m_{\text{мило}}} \quad [\text{г/г}]. \quad (2.4)$$

Частина 2. Визначення вмісту жирних кислот.

Зважують 5 г туалетного або господарського мила ($m_{\text{мило},2}$), нарізають його тонкими смужками, поміщають в стакан місткістю 100 мл, доливають 50 мл дистильованої води ($V_{H_2O,2}$) і нагрівають на закритій електроплитці постійно перемішуючи до повного розчинення мила.

До отриманого розчину додають 10 мл хлоридної кислоти (1 : 1) (V_{HCl}) і продовжують його нагрівати до утворення на поверхні розчину маслянистого шару. При поганому розшаруванні помішують скляною паличною. Стакан охолоджують, після того як масло затвердіє зливають рідину. Жирні кислоти, що залишилися в стакані переносять на фільтрувальний папір (залишки знімають із стінок стакану скальпелем) і висушують на повітрі протягом кількох діб. Отримані жирні кислоти зважують ($m_{\text{кислоти}}$). Розраховують витратні коефіцієнти:

$$\text{мила:} \quad \beta_{\text{мило},2} = \frac{m_{\text{мило},2}}{m_{\text{кислоти}}} \quad [\text{г/г}]; \quad (2.5)$$

$$\text{води:} \quad \beta_{H_2O,2} = \frac{V_{H_2O,2}}{m_{\text{кислоти}}} \quad [\text{мл/г}]; \quad (2.6)$$

$$\text{хлоридної кислоти:} \quad \beta_{HCl} = \frac{V_{HCl}}{m_{\text{кислоти}}} \quad [\text{мл/г}]. \quad (2.7)$$

Питання для перевірки знань

1. Промисловий органічний синтез: продукти, типові процеси і відмінність від тонкого органічного синтезу.
2. Склад і властивості пластмас, їх класифікація.
3. Октанове число бензину, методи його підвищення.
4. Хімічна переробка твердого палива, її види та цілі.

5. Які умови проведення коксування та напівкоксування? Які кінцеві продукти цих процесів?
6. Типи поверхнево-активних речовин і методи їх синтезу.
7. Властивості, класифікація і методи отримання високомолекулярних сполук.
8. Виробництво ефірних масел методом перегонки із водяним паром.
9. Особливості виробництва синтетичних пахучих речовин.
10. Хімічні методи очистки пахучих речовин.

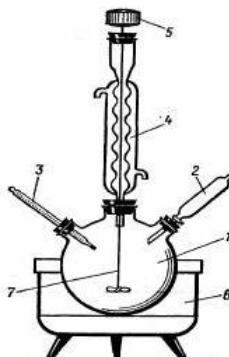
Лабораторна робота № 3

Синтез тіокольного каучуку

Каучуки – натуральні або синтетичні матеріали, що характеризуються еластичністю, водонепроникністю та електроізоляційними властивостями, із яких шляхом спеціальної обробки отримують резину.

Полісульфідні каучуки-тіоколи є продуктом поліконденсації аліфатичних дигалогенпохідних (наприклад, дихлоретану) з сульфідами або полісульфідами натрію.

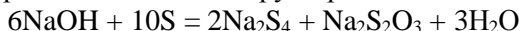
Прилади і реактиви: круглодонна колба, стакан на 200 мл, водяна баня, мішалка, крапельна лійка, термометр, фарфорова чашка, технохімічні терези, сірка, натрій гідроксид, дихлоретан, магній оксид.



Прилад для синтезу тіокольного каучуку:
1- трьохгорла колба; 2- крапельна воронка; 3-термометр; 4- зворотний холодильник;
5- двигун; 6-водяна баня; 7-мішалка

Хід роботи

Перший етап роботи полягає у приготуванні розчину натрій тетрасульфіді. Він утворюється при нагріванні сірки з концентрованим розчином їдкого натру за реакцією:

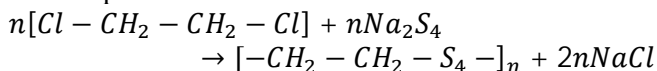


Для цього в 50 мл холодної води розчиняють 15 г їдкою натру (m_{NaOH}), додають, перемішуючи, розраховану кількість порошкоподібної сірки (110 % або 22 г (m_S)). Обережно нагріваючи і постійно перемішуючи, суміш доводять до кипіння і кип'ять до повного розчинення сірки. Розчин бурого кольору, що утворився після охолодження до температури $30 \div 40$ °С, фільтрують через гігроскопічну вату, поміщену у лійку з вкороченим носиком.

Профільтрований розчин переливають у круглодонну колбу (або термостійкий стакан) і нагрівають на водяній бані до 70 °С (температура бані). Після досягнення вказаної температури у реакційну суміш вводять диспергатор MgO (2 % від усієї реакційної маси або 1,7 г (m_{MgO})).

При енергійному перемішуванні додають невеликими порціями протягом 3 – 5 хв суміш 10 мл дихлоретану ($\rho_{C_2H_4Cl_2} = 1,2351$), ($m_{C_2H_4Cl_2} = V_{C_2H_4Cl_2} \cdot \rho_{C_2H_4Cl_2}$) та 10 мл етанолу (1 : 1) ($V_{етанол}$). Після додавання суміші, розчин енергійно перемішують ще 20 хв за температури 70 °С. Якщо суміш перегрівається (кипить), то вийняти посудину з водяної бані, доки кипіння не припиниться.

Поліконденсація натрію тетрасульфідіду з дихлоретаном відбувається за рівнянням:



Після закінчення процесу одержаний каучук промивають декілька разів спочатку холодною, а потім теплою водою (40-50 °С), відділяючи рідину декантацією. Отриманий каучук віджимають між листочками фільтрувального паперу, висушують на повітрі протягом кількох діб і зважують ($m_{п.тіокол}$). Розраховують витратні коефіцієнти для:

$$\begin{array}{l} \text{натрій} \\ \text{гідроксиду:} \end{array} \quad \beta_{NaOH} = \frac{m_{NaOH}}{m_{тіокол}} \quad [g/g]; \quad (3.1)$$

$$\begin{array}{l} \text{сірки:} \end{array} \quad \beta_S = \frac{m_S}{m_{тіокол}} \quad [g/g]; \quad (3.2)$$

$$\begin{array}{l} \text{магній оксиду:} \end{array} \quad \beta_{MgO} = \frac{m_{MgO}}{m_{тіокол}} \quad [g/g]; \quad (3.3)$$

$$\begin{array}{l} \text{дихлоретану} \\ \text{(за масою):} \end{array} \quad \beta_{C_2H_4Cl_2} = \frac{m_{C_2H_4Cl_2}}{m_{тіокол}} \quad [g/g]; \quad (3.4)$$

$$\begin{array}{l} \text{етанолу} \\ \text{(за об'ємом):} \end{array} \quad \beta_{етанол} = \frac{V_{етанол}}{m_{тіокол}} \quad [мл/g]. \quad (3.5)$$

За рівнянням реакції синтезу тіоколу визначають теоретичний вихід полімеру в розрахунку на дихлоретан:

$$m_{\text{тіокол, теор}} = \frac{m_{\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2} \cdot M_{\text{n, тіокол}}}{M_{\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2}}, \quad (3.6)$$

та практичний вихід полімеру за формулою:

$$\eta_{\text{тіокол}} = \frac{m_{\text{тіокол}}}{m_{\text{тіокол, теор}}} [\%]. \quad (3.7)$$

Питання для перевірки знань

1. Види природних та синтетичних каучуків.
2. Основні фізичні та хімічні властивості каучуків.
3. Методи отримання синтетичних полімерів.
4. Будова апаратів для проведення полімеризації та поліконденсації.
5. Процеси вулканізації каучуків.
6. Синтези на основі етилену і ацетилену.
7. Пірогенетична переробка деревини.
8. Стереорегулярні ізопренові каучуки: будова, властивості, добування.
9. Синтетичні і штучні латекси: отримання і використання.
10. Отримання, властивості і використання поліуретанів.

Лабораторна робота № 4

Аналіз та очистка води



Залежно від походження та складу природні води можна поділити на три групи: атмосферні, наземні і підземні або ґрунтові. Показниками якості природних вод є: твердість, загальний вміст солей, прозорість, окиснюваність, кислотність або лужність води, колір, запах, смак, температура, електропровідність, зміни при зберіганні, а також бактеріальна та радіоактивна забрудненість. Для хімічних виробництв основним показником якості води служить її твердість, зумовлена наявністю солей Ca та Mg. Одним із методів пом'якшення води є іонообмінний метод.

Прилади і реактиви: йоннообмінна колонка, штатив, піпетка, бюретка для титрування, колби для титрування, водопровідна вода, розчин трилону Б, індикатор (еріохром чорний), аміачний буфер.

Хід роботи

Очистка води в лабораторній роботі проводиться йоннообмінним методом. Колонкою служить бюретка або скляна трубка (1), закрита знизу пористим матеріалом (3) та заповнена катіонітом (2). Кран (4) йоннообмінної колонки закривають таким чином, щоб дистильована вода, якою вона заповнена в неробочому стані, витікала зі швидкістю 2-4 краплі за секунду.

У верхню частину колонки зразу ж починають доливати відстояну водопровідну воду, яка підлягає очистці. За час протікання очищеної води через колонку (40-50 хв.) з вихідної ємності відбирають проби водопровідної води для визначення її твердості до очистки.

Воду, що пройшла через колонку за цей час (дистильована і частина очищеної) відкидають, а з наступних порцій беруть проби

для визначення твердості води. Титрування проводять у тому ж порядку, що й для неочищеної води.

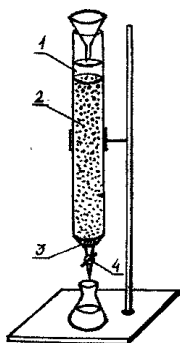


Рис. 1. Схема

установки для очистки
води.

Якщо об'єм розчину трилону Б, що йде на титрування важко визначити (менше 1 мл), то використовують розчин трилону Б меншої концентрації.

Твердість води до і після йонообмінної колонки розраховують за формулою:

$$T = 1000 \cdot \frac{A \cdot N}{V} \left[\frac{\text{мг-екв}}{\text{л}} \right],$$

де A – об'єм витраченого трилону Б (мл); N – нормальність розчину трилону Б (г-екв/л); V – об'єм проби, взятої для титрування (мл).

Отримавши значення твердості води до і після проходження через катіоніт, розраховують ефективність роботи йонообмінної колонки за формулою:

$$\phi = T_{\text{вих}} / T_{\text{кінц}},$$

де $T_{\text{вих}}$ – твердість води до проходження через катіоніт, $T_{\text{кінц}}$ – твердість води після проходження через катіоніт.

Питання для перевірки знань

1. Дайте характеристику основним джерелам та показникам якості води.
2. Напишіть рівняння реакцій, які відбуваються під час пом'якшення води вапняковим, содовим, натронним та фосфатним методами.
3. Вплив хлорування на якість питної води.

4. Знезаражування питної води диоксидом хлору: переваги та недоліки.
5. Основні операції промислової водопідготовки. Технологія підготовки питтєвої води.
6. Способи фільтрування води. Охарактеризуйте основні типи фільтрів для очистки води.
7. Методи фізичної та хімічної дегазації води.
8. Дайте характеристику методам обезсолення води.
9. Методи очистки води від радіоактивних забруднень.
10. Дайте характеристику основним методам усунення накипу.

Лабораторна робота № 5

Виділення калій хлориду із сильвініту та його аналіз



Сильвініт



Калій хлорид

Сильвініт – осадова смоляна гірська порода, що утворена сильвініом та кухонною сіллю (галіт). Вміст компонентів: KCl (12 - 60 %), $NaCl$ (22 – 80 %), $MgCl_2$ до 2,5 %, $CaSO_4$ (0,2 – 12 %). Присутні домішки K_2SO_4 (0,1 – 4,0 %) , $MgSO_4$ (2,5 – 26 %) і глинисті мінерали. Сильвініт є сировиною для калійно-добривної промисловості.

Хлорид калію – безбарвні кристали або білий кристалічний порошок з неприємним солоним смаком, без запаху. Широко застосовується в сільському господарстві як калійне добриво. Крім того, служить сировиною для одержання гідроксиду калію та інших сполук калію. Іноді застосовується як добавка до кухонної солі (так звана “сіль з пониженим вмістом натрію”).

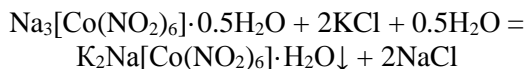
Прилади та реактиви: фарфоровий стакан на 400 мл, термостійка конічна колба на 250 мл, скляна паличка, лійка для гарячого фільтрування, сильвініт або суміш еквівалентних кількостей калій хлориду та натрій хлориду, технохімічні та аналітичні терези, мірний циліндр на 100 ÷ 150 мл.

Хід роботи

Попередньо зважений сильвініт ($m_{\text{сильв.}} = 50 \text{ г}$) і 200 мл води поміщують у фарфоровий стакан та нагрівають до кипіння, перемішуючи скляною паличкою. Кип’ячать 5 – 7 хв. Отриманий розчин фільтрують через **складчастий фільтр** на лійці для гарячого фільтрування у колбу на 250 мл. Колбу з одержаним фільтратом охолоджують під струменем холодної води, потім залишають на 10 хв на льодяній бані для завершення кристалізації. Кристалічний

осад, що випав, відфільтровують. Фільтр попередньо зважують ($m_{\phi,1}$). Для повного перенесення кристалів на фільтр використовують маточний розчин, з яким збовтують не відфільтрований осад. Фільтр з осадом переносять у попередньо зважену фарфорову чашку і висушують у сушильній шафі до постійної маси (або на повітрі протягом кількох діб) ($m_{\text{прод},1}$). За різницею маси фільтру з продуктом і фільтру визначають масу одержаного продукту ($m_{\text{ос},1} = m_{\text{прод},1} - m_{\phi,1}$). Визначають вміст калій хлориду в вихідному сильвініті та одержаному продукті.

Для аналізу продукту відважують на аналітичних терезах точні наважки по 0,5-1,0 г вихідного сильвініту та одержаної солі ($m_{\text{сильв,проба}}$ і $m_{\text{прод,проба}}$), кожену наважку розчиняють окремо в 15 ÷ 20 мл води. Розчин сильвініту фільтрують. В кожену аликвоту додають по 1-2 мл оцтової кислоти і доливають розчин натрій кобальто(III) нітриту (2.8 г $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6] \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) до припинення виділення рудого осаду $\text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$:



Залишають осад на 5 хв для „дозрівання”. В обох випадках кількісно відфільтровують осад через лійку з пористою пластинкою або через попередньо зважений фільтр ($m_{\phi,2}$ і $m_{\phi,3}$). Осади промивають спочатку 10 % розчином оцтової кислоти до появи безбарвного фільтрату, а потім спиртом.

Осади висушують за 110 °С (або за кімнатної температури впродовж кількох діб), зважують ($m_{\text{прод},2}$ і $m_{\text{прод},3}$). За різницею мас знаходять маси осадів: ($m_{\text{ос},2} = m_{\text{прод},2} - m_{\phi,2}$) та ($m_{\text{ос},3} = m_{\text{прод},3} - m_{\phi,3}$). За одержаними даними знаходять маси калій хлориду ($m_{\text{KCl},2}$ і $m_{\text{KCl},3}$) в пробах, використовуючи рівняння реакції осадження $\text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$. На основі результатів аналізу та загальної маси отриманого осаду солей розраховують:

- а) масову частку (процентний вміст) калій хлориду у вихідному сильвініті:

$$\omega_{KCl, \text{сильв.}} = \frac{m_{KCl, 2}}{m_{\text{сильв. проба}}} \cdot 100[\%]; \quad (5.1)$$

б) масову частку вмісту калій хлориду в продукті:

$$\omega_{KCl, \text{прод.}} = \frac{m_{KCl, 3}}{m_{\text{прод. проба}}} \cdot 100[\%]; \quad (5.2)$$

в) вихід концентрату:

$$X_{\text{конц}} = \frac{m_{\text{прод.1}}}{m_{\text{сильв}}} \cdot 100 \quad [\%]; \quad (5.3)$$

г) ступінь вилучення калій хлориду:

$$E_{KCl} = \frac{\omega_{KCl, \text{прод.}} \cdot m_{\text{прод.1}}}{\omega_{KCl, \text{сильв.}} \cdot m_{\text{сильв}}} \cdot 100[\%]; \quad (5.4)$$

д) ступінь концентрування калій хлориду:

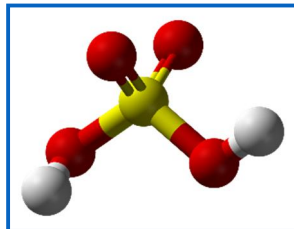
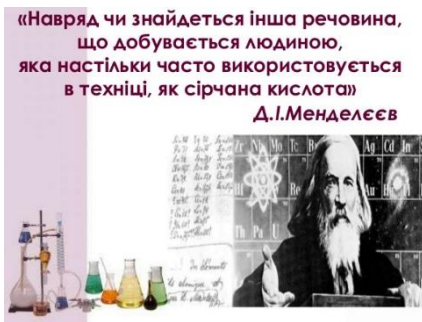
$$K_{KCl} = \frac{\omega_{KCl, \text{прод.}}}{\omega_{KCl, \text{сильв}}} \quad (5.5)$$

Питання для перевірки знань

1. Використання мінеральних солей у сільському господарстві. Класифікація мінеральних добрив.
2. Розчинні солі у природі і методи їх отримання.
3. Поташ: фізико-хімічні властивості, методи отримання та застосування.
4. Природні фосфати: фізико-хімічні властивості, особливості транспортування і застосування. Фосфоритна мука.
5. Солі нітратної кислоти: фізико-хімічні властивості, методи отримання та застосування.
6. Солі амонію: фізико-хімічні властивості, методи отримання та застосування.
7. Карбамід: фізико-хімічні властивості, методи отримання та застосування.
8. Рідкі добрива: фізико-хімічні властивості, методи отримання та застосування.
9. Природні калійні солі: сировина, фізико-хімічні властивості і застосування.
10. Хлорид натрію: сировина, фізико-хімічні властивості і методи отримання.

Лабораторна робота № 6

Добування сірчаної кислоти нітрозним методом



Серед мінеральних кислот, які виробляються хімічною промисловістю, сульфатна кислота за обсягами виробництва займає перше місце. Це пояснюється тим, що вона є однією з найсильніших і найдешевшою з усіх кислот, не димить і немає запаху. Значна її частина використовується як напівпродукт для виробництва мінеральних добрив, солей, кислот, вибухових та інших речовин.

Безводна сульфатна кислота (моногідрат) – це важка масляниста безбарвна рідина, що добре змішується з водою та з сульфур (VI) оксидом. Густина H_2SO_4 за температури $0\text{ }^\circ\text{C}$ дорівнює 1850 кг/м^3 . Розчини сульфур (VI) оксиду в моногідраті називають олеумом ($\text{H}_2\text{SO}_4 + n\text{SO}_3$).

Прилади і реактиви: установка для отримання сірчаної кислоти, стружка з мідного сплаву, концентрована нітратна кислота, натрію сульфід або гідросульфід, концентрована сульфатна кислота, 10% сульфатна кислота, 0,1 н. розчин лугу, резинова груша, мірна колба на 250 мл, піпетка на 20-25 мл.

Хід роботи

Отримання сірчаної кислоти нітрозним методом проводять в установці, схема якої приведена на рис. 2. Реактор (4) заповнений битим склом. У пробірку (1) поміщають стружки з міді (2). У колбу (5) – $3 \div 5\text{ г}$ (беруть точну наважку) натрію сульфіту чи гідросульфіту (8) ($m_{\text{Na}_2\text{SO}_3}$). У крапельні лійки наливають відповідні реактиви: у (10) – 7 – 10 мл концентрованої нітратної

кислоти; у (7) – дистильовану воду; у (6) – 40 ÷ 50 мл розбавленої сульфатної кислоти. При необхідності в промивалках (3) замінюють концентровану сульфатну кислоту.

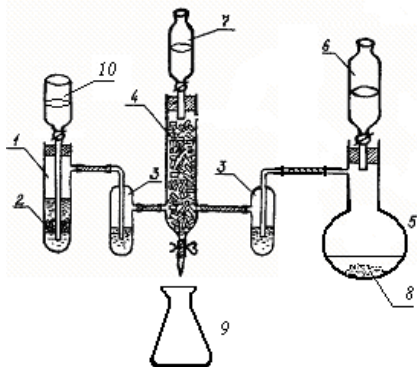


Рис. 2. Схема установки для добування сульфатної кислоти.

У результаті реакції в реакторі (4) утворюється розбавлена сульфатна кислота, яка через кран внизу реактора (4) потрапляє у приймач (9).

Відкривають крани в крапельних лійках (6), (7), (10).

Сульфатну та нітратну кислоти прибавляють по краплях, добиваючись, щоб виділення газів відбувалося з однаковою швидкістю та невеликими порціями (про це можна судити по бульбашках, що проходять через промивалки з розведеною сірчаною кислотою), одна газова кулька за 1–2 с. Вода подається з швидкістю одна крапля за 1–2 с.

Увага! Під час роботи потрібно:

- 1) слідкувати щоб нітроген оксиди і сульфур (IV) оксид поступали в реактор невеликими порціями. Буре забарвлення допустиме лише у нижній частині реактора. Якщо ж весь реактор буде заповнений бурими парами нітроген (IV) оксиду, то подачу нітроген оксидів потрібно припинити, перекривши кран на лійці (10), доки забарвлення не зникне;
- 2) не допускати надто бурхливої реакції в пробірці (1) та перекиду вмісту в промивну посудину (3). У цьому випадку перекрити кран на лійці (10), доки не сповільниться реакція;
- 3) не допускати накопичення надмірної кількості розбавленої сульфатної кислоти в нижній частині реактора (4). Щоб

- кислота не проливалась у промивки, (3) її слід час від часу випускати через кран внизу реактора (4);
- 4) доливати дистильовану воду через лійку (7), якщо вона закінчується;
 - 5) при зменшенні виділення сульфур (IV) оксиду колбу (5) підігрівають на водяній бані та легенько струшують.

Реакцію проводять до повного розчинення натрій сульфїту у колбі (8). Потім через горло лійки (6) систему обережно продувають повітрям за допомогою резинової груші для того, щоб весь сульфур (IV) оксид прореагував. Систему продувають 5–10 раз дотримуючись швидкості подачі газу в одну газову кульку за 1–2 с. Після цього промивають реактор 20÷50 мл дистильованої води, подачу води з лійки (7) можна збільшити.

Після завершення протікання всіх реакцій, за допомогою мірного циліндра вимірюють об'єм синтезованої сульфатної кислоти ($V_{H_2SO_4}$).

Використавши 0,01 н. розчин лугу, титруванням (**В** **присутності індикатора**), визначають концентрацію одержаної кислоти:

$$C_{E, H_2SO_4} = \frac{V_{NaOH} \cdot C_{E, NaOH}}{V_a}, \quad (6.1)$$

де V_a – об'єм аліквоти (10 мл) одержаної сульфатної кислоти (мл); V_{NaOH} – об'єм розчину натрій гідроксиду, витраченого на титрування одержаної сульфатної кислоти (мл); $C_{E, NaOH}$ – молярна концентрація еквівалента (нормальна концентрація розчину натрій гідроксиду, моль-екв/л або н.).

Маса сульфатної кислоти, що утворилась:

$$m_{H_2SO_4} = \frac{C_{E, H_2SO_4} \cdot V_{H_2SO_4} \cdot M_{E, H_2SO_4}}{1000} [г], \quad (6.2)$$

де C_{E, H_2SO_4} – молярна концентрація еквівалента розчину сульфатної кислоти (моль-екв/л); $V_{H_2SO_4}$ – об'єм одержаної сульфатної кислоти (мл); M_{E, H_2SO_4} – молярна маса еквівалента сульфатної кислоти (г/моль-екв).

Теоретичний вихід сульфатної кислоти розраховують вважаючи, що натрій сульфїт повністю перетворюється в сульфатну кислоту:

$$m_{H_2SO_4, теор} = \frac{m_{Na_2SO_3} \cdot M_{H_2SO_4}}{M_{Na_2SO_3}} [\%], \quad (6.3)$$

де $m_{Na_2SO_3}$ – маса натрій сульфїту (г); $M_{H_2SO_4}$ – молярна маса сульфатної кислоти (г/моль); $M_{Na_2SO_3}$ – молярна маса натрій сульфїту (г/моль).

Практичний вихід сульфатної кислоти розраховують за формулою:

$$\eta = \frac{m_{H_2SO_4}}{m_{H_2SO_4, теор}} [\%], \quad (6.4)$$

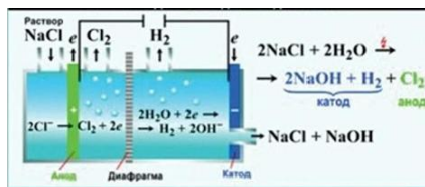
де $m_{H_2SO_4, теор}$ – теоретичний вихід сульфатної кислоти (г); $m_{H_2SO_4}$ – маса сульфатної кислоти, що утворилась (г).

Питання для перевірки знань

1. Дайте характеристику видам сировини для виробництва сірчаної та соляної кислот.
2. Дайте характеристику видам сировини для виробництва азотної та фосфатної кислот.
3. Дайте характеристику основних етапів контактного методу виробництва сірчаної кислоти.
4. Дайте характеристику основних етапів нітрозного методу виробництва сірчаної кислоти.
5. Дайте характеристику основних етапів виробництва соляної кислоти.
6. Дайте характеристику основних етапів виробництва азотної кислоти.
7. Дайте характеристику основних етапів виробництва фосфатної кислоти.
8. Промислові способи виробництва синтетичного аміаку.
9. Властивості та способи отримання перхлоратів.
10. Виробництво каустичної та кальцинованої соди: сировина та основні хімічні процеси.

Лабораторна робота № 7

Електроліз розчину натрій хлориду



Електроліз – сукупність окисно-відновних процесів, що протікають на поверхні електродів при проходженні постійного електричного струму через розчин (розплав) електроліту. Пристрої, в яких електричний струм від зовнішніх джерел витрачається для здійснення на електродах окисно-відновних реакцій, називаються **електролізером**.

Електролізом водних розчинів хлоридів лужних металів отримують луки, водень та хлор.

Прилади і реактиви: електролізер, кулономір, мірні циліндри (250 мл, 1000 мл), кристалізатор, хлоркальцієва трубка, джерело постійного струму, бюретка, піпетки, колби для титрування, ваги, штатив з набором муфт, лапок, кілець, насичений натрій хлориду, кальцій гідроксид (сухий), насичений розчин купрум (II) сульфату, розчин HCl (0,1 н), фенолфталеїн.

Хід роботи

Складають прилад (рис. 3). Електролізер (3) заповнюють розчином NaCl. На технохімічних вагах з точністю до 0,01 г зважують хлоркальцієву трубку (7), заповнену свіжим гашеним вапном ($m_{\text{трубки},1}$), а також центральну пластину кулономіра (2) (m_1). Кулономір заповнюють розчином CuSO_4 , закріплюють хлоркальцієву трубку у штативі. Перевіривши герметичність установки, підключають електроди (4) до відповідних полюсів джерела струму (1). Про початок реакції свідчить інтенсивне виділення дрібних бульбашок газу на катоді.

Через деякий час, коли водень заповнить більшу частину мірного циліндра (5), опущеного в кристалізатор з водою (6),

електроліз припиняють. Зважують хлоркальцієву трубку ($m_{\text{трубки,2}}$), центральну пластину кулономіра (m_2) та заміряють об'єм виділеного водню (V_{H_2}). Розчин з електролізера (3) кількісно переливають у мірний циліндр та відмічають його об'єм ($V_{p-ny NaOH}$). Пробу (10 мл) розчину з електролізера титрують 3 рази розчином HCl (в присутності фенолфталеїну) для встановлення концентрації отриманого розчину NaOH.

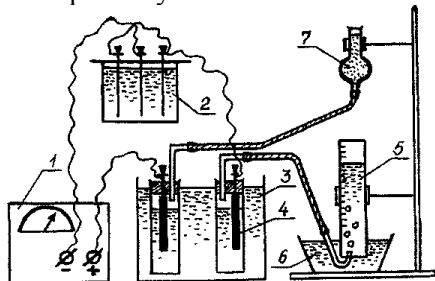


Рис. 3. Схема установки для проведення електролізу.

За цими даними розраховують вихід за струмом для хлору, водню та лугу. Необхідну для розрахунків фактичну кількість електрики ($Q_{\text{факт}}$), яка пройшла через коло, визначають за зміною маси пластини кулономіра:

$$Q_{\text{факт}} = 3015,6 \cdot (m_2 - m_1) \quad [\text{Кл}], \quad (7.1)$$

де m_2 і m_1 – кінцева та початкова маси центральної пластини (г).

Вихід за струмом для водню розраховують за формулою:

$$\mu(H_2) = 0,0232 \cdot \frac{(P - p_b) \cdot V_{H_2}}{(273 + t) \cdot Q_{\text{факт}}} \cdot 100 \quad [\%], \quad (7.2),$$

де P – тиск у приміщенні (Па); p_b – тиск водяної пари при температурі дослідження (Па), (див. таблиця 1); V_{H_2} – об'єм водню (мл); t – температура дослідження ($^{\circ}\text{C}$).

Вихід за струмом для хлору розраховують за формулою:

$$\mu(Cl_2) = 2718,3 \cdot \frac{(m_{\text{трубки,2}} - m_{\text{трубки,1}})}{Q_{\text{факт}}} \cdot 100 \quad [\%] \quad ((7.3)$$

Вихід за струмом для лугу розраховують за формулою:

$$\mu(\text{NaOH}) = 96480 \cdot \frac{N_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{р-ну NaOH}}}{V_a \cdot Q_{\text{факт}}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7.4),$$

де N_{HCl} – нормальність кислоти (г-екв/л); V_{HCl} – об'єм кислоти, яка витрачена на титрування (мл); $V_{\text{р-ну NaOH}}$ – об'єм розчину NaOH в електролізері після завершення електролізу (л); V_a – об'єм аліквоти лугу (мл).

Таблиця 1

Тиск насиченої водяної пари при різних температурах

t, °C	p, мм рт. ст.	t, °C	p, мм рт. ст.	t, °C	p, мм рт. ст.
0	4,58	18	15,48	36	44,560
2	5,29	20	17,53	38	49,690
4	6,10	22	19,83	40	55,320
6	7,01	24	22,38	45	71,880
8	8,04	26	25,21	50	92,510
10	9,21	28	28,35	60	149,38
12	10,52	30	31,82	70	233,70
14	11,99	32	35,66	80	355,10
16	13,63	34	39,90	90	525,80

Парціальний тиск у Паскалях знаходять за формулою:

$$p_b [\text{Па}] = \frac{p_b [\text{мм рт. ст}] \cdot 101325 \text{Па}}{760 \text{мм рт. ст}}$$

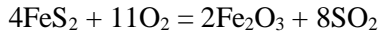
Питання для перевірки знань

1. Основні закони електрохімії.
2. Електроліз водних розчинів. Виробництво їдкого натру та хлору.
3. Електроліз розплавів металів. Промислове виробництво алюмінію.
4. Основні електротермічні закони. Виробництво кальцій карбїду.
5. Дайте характеристику електрохімічному способу отримання калію.

6. Принцип дії паливних елементів.
7. Електрохімічне рафінування міді, срібла та золота.
8. Основні стадії виробництва свинцевих акумуляторів.
9. Отримання металів методом електроекстракції.
10. Будова та принцип дії хімічних джерел струму одноразової дії.

Лабораторна робота № 8
Розрахунок матеріального балансу печі для випалювання колчедану

Вихідною речовиною для отримання сірчаної кислоти в заводських умовах є, головним чином, сульфідні руди. Отримання сірчистого ангідриду (перша стадія процесу) проводиться шляхом випалювання сірковмісних руд (наприклад, піриту FeS_2) у потоці повітря. Реакція перебігає за сумарним рівнянням:



Якщо б процес випалювання здійснювати в потоці сухого повітря при стехіометричній нормі кисню у повітрі, то вміст SO_2 у випалювальних газах міг би досягти 16,2 %, фактично ж його концентрація нижча внаслідок введення в піч надлишку повітря під час випалювання. Частина сірчистого ангідриду під час випалювання піритної сировини окиснюється до сірчаного ангідриду; вміст останнього при цьому не перевищує частки процента. У випалювальних газах містяться також великі кількості азоту, кисню, водяної пари, пилу та незначні кількості сполук селену, арсену тощо. Тому гази подаються на очистку і осушку, де звільняються від пилу, сполук селену і арсену та водяної пари. Випалювання проводиться у полчкових печах, наприклад, типу ВХЗ, або у печах “киплячого шару”.

На другій і головній стадії сірчаноокислого виробництва здійснюється окиснення сірчистого ангідриду в сірчаний за участю ванадієвого каталізатора:



На третій стадії сірчаний ангідрид із газів після контактного вузла поглинається в абсорбційних апаратах спочатку олеумом, а потім концентрованою (98 %) сірчаною кислотою.

Методика складання балансів

При складанні матеріального балансу можна зробити деякі спрощення, які значно полегшать розрахунки, суттєво не впливаючи на результати. Зокрема, флотацийний колчедан, який поступає в піч, містить пірит, вологу, пусту породу, що не взаємодіє з киснем при випалюванні. При цьому вся сірка зв’язана у вигляді FeS_2 . Повітря складається з 21 % (об.) кисню, решту становлять азот, водяна пара

та неактивні домішки. Ще декілька уточнень та коментарів наведені в процесі розрахунків. Як приклад, можна використати набір вихідних даних, поданих в табл. 2. Кожен студент отримує у викладача індивідуальне завдання табл. 3.

Таблиця 2.

Вихідні дані для розрахунку матеріального балансу печі для випалювання колчедану.

№ п/п	Параметр	Умовне позначення	Одиниця виміру	Значення
1.	Продуктивність печі	m	кг/год	8540
2.	Вміст сірки в колчедані	c_{S1}	%	43,2
3.	Вологість колчедану	c_{H2O}	%	2,8
4.	Вміст SO ₂ у випалювальному газі	c_{SO2}	%	12
5.	Вміст SO ₃ у випалювальному газі	c_{SO3}	%	0,31
6.	Вміст сірки в недогарку	c_{S0}	%	0,68
7.	Вологість повітря	φ	%	72
8.	Температура поступаючого колчедану	$t_{кол.}$	°C	9
9.	Середні річні температури	$t_{пов.}$	°C	3
10.	Температура газів на виході з печі	$t_{газ.}$	°C	800
11.	Температура повітря на виході з валу	$t_{пов.1}$	°C	185
12.	Температура недогарку	$t_{нед.}$	°C	400

Алгоритм складання матеріального балансу:

1. Маса сірки в колчедані:

$$m_1 = \frac{m \cdot c_{S1}}{100} = \frac{8540 \cdot 43,2}{100} = 3689,3 \text{ (кг/Год)} \quad (8.1)$$

2. Маса піриту в колчедані:

$$m_2 = m_1 \frac{55,847 + 32,064 \cdot 2}{32,064 \cdot 2} = 6902,2 \text{ (кг/год)} \quad (8.2)$$

3. Маса вологи в колчедані :

$$m_3 = \frac{m \cdot c_{H_2O}}{100} = \frac{8540 \cdot 2,8}{100} = 239,1 \text{ (кг/год)} \quad (8.3)$$

4. Маса пустої породи:

$$m_{\text{пп.}} = m - m_2 - m_3 = 8540 - 6902,2 - 239,1 = 1398,7 \text{ (кг/год)} \quad (8.4)$$

5. Вміст піриту в недогарку:

$$c_{\text{пір.}} = c_{SO} \frac{55,847 + 32,064 \cdot 2}{32,064 \cdot 2} = 1,27 \text{ (\%)} \quad (8.5)$$

6. Маса піриту, що вигорів:

знайти масу недогарку через c_{SO} не можна, бо немає кінцевої маси сірки в недогарку (m_{SO}). Однак можна знайти масу піриту, що вигорів, та масу сірки, що витрачена на утворення SO_2 і SO_3 :

$$c_{SO} = \frac{m_{S \text{ кінц.}} \cdot 100}{m_{\text{пп.}} + m_{\text{пір.кінц.}} + m_{Fe_2O_3}} \quad (8.6.1)$$

$$m_{\text{пір.кінц.}} = m_2 - m'_{\text{пір.}} \quad (8.6.2)$$

де $m'_{\text{пір.}}$ – маса піриту, що вигорів.

Виходячи з рівняння реакції горіння піриту:

$$m_{Fe_2O_3} = \frac{m_{\text{пір.кінц.}} \cdot 2 \cdot 159,694}{4 \cdot 119,975} = 0,6655 \cdot m'_{\text{пір.}} \quad (8.6.3)$$

Позначивши масу піриту, що вигорів за “ x ”, можна виразити через неї масу сірки в недогарку (m_{SO}):

$$m_{\text{пір.кінц.}} = m_2 - x \quad (8.6.4)$$

$$m_{SO} = \frac{m_{\text{пір.кінц.}} \cdot 64,128}{119,975} = 0,5345(m_2 - x) \quad (8.6.5)$$

Підставивши значення m_{SO} у формулу (8.6.1.), знаходимо формулу для “ x ”:

$$x = m'_{\text{пір}} = \frac{c_{S_0} \cdot (m_{\text{пн}} + m_2) - 53,45 \cdot m_2}{0,3345 \cdot c_{S_0} - 53,45} = 6825,5 \text{ (кг/Год)} \quad (8.6.6)$$

7. Маса утвореного Fe_2O_3 :

$$m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 0,6655 \cdot m'_{\text{пір}} = 0,6655 \cdot 6825,6 = 4542,4 \text{ (кг/Год)} \quad (8.7)$$

8. Маса непрореагованого піриту:

$$m_{n_0} = m_2 - m'_{\text{пір}} = 6902,2 - 6825,5 = 76,6 \text{ (кг/Год)} \quad (8.8)$$

9. Сумарний вихід недогарку (пилу, що виноситься з випалювальним газом):

$$\begin{aligned} m_0 &= m_{\text{пн}} + m_{n_0} + m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = \\ &= 1398,7 + 76,7 + 4542,4 = 6017,8 \text{ (кг/Год)} \end{aligned} \quad (8.9)$$

10. Маса непрореагованої сірки:

$$m_{S_0} = \frac{c_{S_0} \cdot m_0}{100} = \frac{0,68 \cdot 6017,7}{100} = 40,9 \quad (8.10)$$

11. Ступінь вигорання сірки:

$$\alpha = \frac{(m_1 - m_{S_0}) \cdot 100}{m_1} = \frac{(3689,3 - 40,9) \cdot 100}{3689,3} = 98,9 \text{ (\%)} \quad (8.11)$$

12. Маса сірки, що витрачена на утворення SO_2 і SO_3 :

$$m_{S_1} = m_1 - m_{S_0} = 3689,3 - 40,9 = 3648,4 \quad (8.12)$$

13. Сумарний об'єм SO_2 і SO_3 :

Це можна зробити через кількість молів сірки, тому що з 1 моля її утворюється 1 моль SO_2 , а потім з нього 1 моль SO_3 . При цьому слід пам'ятати, що мольні об'єми газів за температури входу і виходу з печі відрізняються.

$$V_{\text{мол.1}} = \frac{22,413 \cdot (273 + t_{\text{нов.1}})}{273} = 37,601 \text{ (м}^3\text{/кмоль)} \quad (8.13.1)$$

$$V_{\text{мол.2}} = \frac{22,413 \cdot (273 + t_{\text{газ.2}})}{273} = 88,092 \text{ (м}^3\text{/кмоль)} \quad (8.13.2)$$

$$V_{\text{сум.}} = \frac{m_{S_1} \cdot V_{\text{мол.2}}}{32,064} = \frac{3648,4 \cdot 88,092}{32,064} = 10023,4 \text{ (м}^3\text{/Год)} \quad (8.13.3)$$

14. Об'єм утвореного SO_2 :

$$V_{\text{SO}_2} = \frac{V_{\text{сум}} \cdot c_{\text{SO}_2}}{c_{\text{SO}_2} + c_{\text{SO}_3}} = \frac{10023,4 \cdot 12}{12 + 0,31} = 9771,0 \text{ (м}^3\text{/Год)} \quad (8.14)$$

15. Маса утвореного SO₂:

$$m_{SO_2} = \frac{V_{SO_2} \cdot (32,064 + 32)}{V_{\text{мол.2}}} = 7105,9 \text{ (кг/год)} \quad (8.15)$$

16. Маса сірки, що міститься в SO₂:

$$m_{S_2} = \frac{V_{SO_2} \cdot 32,064}{V_{\text{мол.2}}} = \frac{9771,0 \cdot 32,064}{88,092} = 3556,5 \text{ (кг/год)} \quad (8.16)$$

17. Маса сірки, що міститься в SO₃:

$$m_{S_3} = m_{S_1} - m_{S_2} = 3648,4 - 3556,5 = 91,9 \text{ (кг/год)} \quad (8.17)$$

18. Маса утвореного SO₃:

$$m_{SO_3} = m_{S_3} \cdot \frac{32,064 + 48}{32,064} = 91,9 \cdot \frac{80,064}{32,064} = 229,4 \text{ (кг/год)} \quad (8.18)$$

19. Об'єм утвореного SO₃:

$$V_{SO_3} = \frac{m_{S_3} \cdot V_{\text{мол.2}}}{32,064} = \frac{91,9 \cdot 88,092}{32,064} = 252,4 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (8.19)$$

20. Маса кисню, затраченого на утворення SO₂:

$$m_{к1} = m_{SO_2} \cdot \frac{32}{32,064 + 32} = 3549,4 \text{ (кг/год)} \quad (8.20)$$

21. Маса кисню, затраченого на утворення SO₃:

$$m_{к2} = m_{SO_3} \cdot \frac{48}{32,064 + 48} = 137,5 \text{ (кг/год)} \quad (8.21)$$

22. Маса кисню, затраченого на утворення Fe₂O₃:

$$m_{к3} = m_{Fe_2O_3} \cdot \frac{48}{159,694} = 4542,4 \cdot \frac{48}{159,694} = 1365,3 \text{ (кг/год)} \quad (8.22)$$

23. Загальна маса затраченого кисню:

$$\begin{aligned} m_{O_2} &= m_{к1} + m_{к2} + m_{к3} = \\ &= 3549,4 + 137,5 + 1365,3 = 5052,2 \text{ (кг/год)} \end{aligned} \quad (8.23)$$

24. Об'єм затраченого кисню:

$$V_{O_2} = \frac{m_{O_2} \cdot V_{\text{мол.1}}}{32} = \frac{5052,2 \cdot 37,601}{32} = 5936,6 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (8.24)$$

25. Об'єм необхідного повітря (враховуючи надлишок в 1,3 раза):

$$V_{\text{пов.}} = \frac{V_{O_2} \cdot 1,3 \cdot 100}{21} = \frac{5936,6 \cdot 1,3 \cdot 100}{21} = 36750,5 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (8.25)$$

26. Маса необхідного повітря:

$$m_{нов.} = V_{нов.} \cdot \frac{29}{V_{мол.1}} = 36750,5 \cdot \frac{29}{37,601} = 28343,8 \text{ (кг/год)} \quad (8.26)$$

27. Об'єм надлишкового кисню (що виходить з випалювальним газом):

$$V_{к4} = \frac{V_{O2} \cdot 0,3 \cdot V_{мол.2}}{V_{мол.1}} = 4172,5 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (8.27)$$

28. Маса надлишкового кисню:

$$m_{к4} = m_{O2} \cdot 0,3 = 5052,2 \cdot 0,3 = 1515,7 \text{ (кг/год)} \quad (8.28)$$

29. Загальна маса кисню, необхідна для роботи печі:

$$m_{к5} = m_{O2} + m_{к4} = 5052,2 + 1515,7 = 6567,9 \text{ (кг/год)} \quad (8.29)$$

30. Загальний об'єм необхідного кисню:

$$V_{к5} = V_{O2} - V_{к4} = 5936,6 + 4172,5 = 10109,1 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (8.30)$$

31. Маса водяної пари, що вноситься з повітрям:

маса водяної пари в 1 кг повітря (F) при середньорічній температурі 3 °С і вологості 75 % становить 0,0036 кг (знаходиться з таблиці Д. 1 шляхом лінійної інтерполяції).

$$m_{H2O} = m_{нов.} \cdot F = 28343,8 \cdot 0,0036 = 102,0 \text{ (кг/год)} \quad (8.31)$$

32. Об'єм водяної пари, що вноситься з повітрям:

$$V_{H2O} = \frac{m_{H2O} \cdot V_{мол.1}}{18} = \frac{102 \cdot 37,601}{18} = 213,2 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (8.32)$$

33. Маса вологи у випалювальному газі:

$$m_{вол.} = m_3 + m_{H2O} = 239,1 + 102 = 341,1 \text{ (кг/год)} \quad (8.33)$$

34. Об'єм вологи у випалювальному газі:

$$V_{вол.} = \frac{m_{вол.} \cdot V_{мол.2}}{18} = \frac{341,1 \cdot 88,092}{18} = 1669,6 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (8.34)$$

35. Маса азоту і домішок у поступаючому повітрі:

$$m_{N2} = m_{нов.} - m_{к5} - m_{H2O} = 21673,8 \text{ (кг/год)} \quad (8.35)$$

Така ж маса азоту і домішок буде у випалювальному газі.

36. Об'єм азоту і домішок у поступаючому повітрі:

$$V_{N2} = V_{нов.} - V_{к5} - V_{H2O} = 26428,2 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (8.36)$$

37. Об'єм азоту і домішок у випалювальному газі:

$$V'_{N_2} = \frac{V_{N_2} \cdot V_{\text{мол.2}}}{V_{\text{мол.1}}} = \frac{26428,2 \cdot 88,092}{37,601} = 61916 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (8.37)$$

38. Маса пилу у випалювальному газі (якщо прийняти, що вона становить 10 % від загальної маси недогарку):

$$m_{\text{пил}} = m_0 \cdot 0,1 = 6017,7 \cdot 0,1 = 601,8 \text{ (кг/год)} \quad (8.38)$$

39. Маса крупного недогарку:

$$m_{\text{нед.}} = m_0 \cdot 0,9 = 6017,7 \cdot 0,9 = 5415,9 \text{ (кг/год)} \quad (8.39)$$

Результати розрахунку матеріального балансу рекомендується звести в табл. 4.

Таблиця 3

Варіанти завдань для розрахунку матеріального балансу

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	8440	41,20	1,50	5	0,32	0,56	75	9	3	750	185	400
2	8660	34,10	1,60	25	0,33	0,73	75	9	3	760	185	400
3	8120	35,20	1,70	6	0,34	0,65	75	9	3	770	185	400
4	8450	37,10	1,80	7	0,35	0,89	75	9	3	780	185	400
5	8550	44,10	1,90	8	0,36	0,55	75	9	3	790	185	400
6	8650	41,70	2,00	9	0,37	0,54	75	9	3	800	185	400
7	8250	35,30	2,10	10	0,38	0,57	75	9	3	810	185	400
8	8900	41,90	2,20	11	0,39	0,58	75	9	3	820	185	400
9	8520	41,30	2,30	12	0,40	0,89	75	9	3	830	185	400
10	8540	42,00	2,40	13	0,31	0,77	75	9	3	840	185	400
11	8550	42,50	2,50	14	0,32	0,62	75	9	3	850	185	400
12	8240	37,40	2,60	15	0,33	0,63	75	9	3	860	185	400
13	8420	38,60	2,70	16	0,34	0,64	75	9	3	870	185	400
14	8470	36,90	2,80	17	0,35	0,84	75	9	3	880	185	400
15	8741	37,60	2,90	18	0,36	0,88	75	9	3	890	185	400
16	8452	39,20	3,00	19	0,39	0,67	75	9	3	900	185	400
17	8759	39,50	3,10	20	0,38	0,66	75	9	3	750	185	400
18	8249	39,70	3,20	21	0,39	0,69	75	9	3	760	185	400
19	8156	39,30	3,50	22	0,40	0,70	75	9	3	770	185	400

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20	8426	36,40	1,55	23	0,31	0,71	75	9	3	780	185	400
21	8248	36,80	1,75	24	0,32	0,98	75	9	3	790	185	400
22	8458	36,70	1,85	25	0,33	0,99	75	9	3	800	185	400
23	8125	35,50	1,95	5	0,34	0,74	75	9	3	810	185	400
24	8444	37,90	1,65	6	0,35	0,75	75	9	3	820	185	400
25	8124	40,20	2,15	7	0,36	0,76	75	9	3	830	185	400
26	8555	40,50	2,25	8	0,37	0,96	75	9	3	840	185	400
27	8777	40,90	2,35	9	0,38	0,78	75	9	3	850	185	400
28	9000	41,50	2,45	10	0,39	0,79	75	9	3	860	185	400
29	8850	41,70	2,25	11	0,40	0,80	75	9	3	870	185	400
30	8100	42,60	2,45	12	0,31	0,81	75	9	3	880	185	400
31	8200	42,80	2,65	13	0,32	0,82	75	9	3	890	185	400
32	8333	43,40	2,78	14	0,33	0,83	75	9	3	900	185	400
33	8112	43,60	2,80	15	0,34	0,94	75	9	3	750	185	400
34	8113	43,70	2,60	16	0,35	0,85	75	9	3	760	185	400
35	8556	45,50	2,80	17	0,36	0,86	75	9	3	770	185	400
36	8552	40,90	2,90	18	0,37	0,87	75	9	3	780	185	400
37	8559	45,30	2,30	19	0,38	0,92	75	9	3	790	185	400
38	8554	42,70	3,44	20	0,39	0,91	75	9	3	800	185	400
39	8400	42,00	1,50	5	0,32	0,56	75	9	3	750	185	400
40	8550	40,00	2,35	22	0,42	0,60	75	9	3	800	185	400
41	8560	39,00	2,10	20	0,50	0,55	75	9	3	810	185	400
42	8600	45,60	2,25	18	0,35	0,70	75	9	3	800	185	400
43	9000	44,00	2,00	17	0,40	0,70	75	9	3	800	185	400
44	8750	44,00	2,40	20	0,45	0,75	75	9	3	805	185	400
45	8950	45,00	2,80	19	0,50	0,80	75	9	3	810	185	400
46	8900	46,00	3,00	4	0,25	0,50	75	9	3	820	185	400
47	8450	32,00	3,20	5	0,30	0,55	75	9	3	830	185	400
48	8600	35,00	1,60	6	0,15	0,65	75	9	3	840	185	400
49	8500	36,00	1,80	10	0,25	0,45	75	9	3	850	185	400
50	8610	36,00	2,00	2	0,35	0,46	75	9	3	860	185	400

Таблиця 4

Матеріальний баланс поличкової печі для випалювання

колчедану

Прихід			Розхід		
Стаття	кг/год	м ³ /год	Стаття	кг/год	м ³ /год
1. Колчедан флотоційний:	8540,0	–	1. Випалювальний газ:	30866	–
а) сухий пірит	6902	–	а) SO ₂	7106	9771
б) пуста порода	1399	–	б) SO ₃	229	252
в) волога в колчедані	239	–	в) кисень	1516	4172
2. Повітря:	28344	36750	г) азот і домішки	21674	61916
а) кисень	6568	10109	д) волога	341	1670
б) азот і домішки	21674	26428	е) пил	602	–
в) волога і повітря	102	213	2. Крупний недогарок	5416	–
Разом:	36884	36750	Разом:	36884	77781
Ступінь випалювання сірки: 98,9 %.					

Лабораторна робота № 9 ***Аналіз виробництва***

Звіт про виконання лабораторної роботи подається у письмовому вигляді (простий зошит на 12 сторінок), додаються рисунки технологічних схем та апаратів. На обкладинці вказується: а) назва виробництва; б) прізвище, ім'я та по-батькові; в) вихідні дані студента – курс, група, факультет, рік.

Аналіз виробництва проводиться за наступною схемою:

1. Продукти виробництва. Для кожного продукту описуються:
 - а) фізичні властивості чистої речовини — температури плавлення, кипіння, агрегатний стан, органолептичні дані;
 - б) сорти продуктів, їх характеристики;
 - в) методи транспортування та зберігання великих та малих кількостей;
 - г) застосування та використання.
2. Сировина.
 - а) поширеність в природі;
 - б) об'єм та структура використання;
3. Методи збагачення та очистки сировини.
4. Технологічна схема виробництва. В звіт вклеюється малюнок (або ксерокопія) технологічної схеми.
 - а) класифікація технологічного процесу;
 - б) вихідні речовини та матеріали, що надходять до технологічного процесу;
 - в) Опис кожної технологічної стадії — класифікація апарату та технологічного режиму, вихідні матеріали та їх стан, які відбуваються процеси, хімічні реакції, каталізatori, роль апарату в технологічній схемі, продукти на виході апарату, їх фізико-хімічні характеристики.
 - г) Детальний опис реактора (реакторів) — які відбуваються процеси, хімічні реакції, каталізatori, технологічні режими, характерні розміри, характеристики технологічного процесу (продуктивність, вихід, ступінь перетворення та ін.). В звіті приводиться малюнок (або ксерокопія) всіх реакторів.

5. Техніко-економічні показники виробництва.
 - a) витратні коефіцієнти;
 - b) структура затрат;
 - c) собівартість продукції.
6. Відходи виробництва (забрудники) та їх вплив на екологію.

Для кожного забрудника описується:

 - a) агрегатний стан, об'єм та концентрація;
 - b) методи зберігання;
 - c) методи утилізації;
 - d) вплив на екологічний стан навколишнього середовища.

Список виробництв для виконання лабораторної роботи № 9

1. Нітрозний спосіб виробництва сульфатної кислоти.
2. Виробництво сульфатної кислоти з сірководню.
3. Виробництво сульфатної кислоти з сірки.
4. Виробництво нітратної кислоти прямим методом з NO_2 .
5. Парова каталітична конверсія метану.
6. Конверсія метану водяного газу.
7. Виробництво суперфосфату.
8. Виробництво екстракційної фосфатної кислоти.
9. Виробництво подвійного суперфосфату поточним способом.
10. Виробництво аміачної селітри.
11. Виробництво карбаміду.
12. Схема переробки бокситів мокрим способом.
13. Хлорування титано-тантало-ніобієвого концентрату.
14. Гідроліз деревини.
15. Гідрогенізація вугілля.
16. Термічний крекінг нафтопродуктів.
17. Каталітичний крекінг нафтопродуктів.
18. Виробництво водяного газу.
19. Виробництво бутадієну з етанолу.
20. Карбідний спосіб одержання ацетилену.
21. Виробництво метанолу з синтез-газу.
22. Виробництво пропіонового альдегіду оксосинтезом.
23. Виробництво етанолу прямою гідратацією етилену.
24. Виробництво ацетальдегіду гідратацією ацетилену.
25. Виробництво формальдегіду окисненням метану.

26. Окиснення парафіну.
27. Виробництво ацетальдегіду окисненням етилену.
28. Виробництво дихлорметану.
29. Виробництво дихлоретану з хлору та етилену.
30. Виробництво гексахлорану.
31. Хлорування бензену.
32. Виробництво фенолу сульфуванням бензену.
33. Виробництво β -нафталенсульфокислоти.
34. Виробництво нітробензену безперервним способом.
35. Виробництво нітробензену безперервним способом.
36. Виробництво портланд-цементу мокрим способом.
37. Алкілування бензену етиленом.
38. Диспропорціювання етилбензену.
39. Виробництво стиrolу з етилбензену.
40. Виробництво поліпропілену.
41. Випалювання колчедану.
42. Очистка конвертованого газу від оксидів карбону.
43. Виробництво чавуну.
44. Виробництво амоній фосфатів.
45. Виробництво амофосу.
46. Виробництво діамофоски.
47. Виробництво нітроамофоски азотсульфатним методом.
48. Конверсія кальцій сульфату.
49. Електроліз натрій хлориду на ртутному катоді.
50. Електроліз хлоридної кислоти.
51. Виробництво натрій хлорату.
52. Виробництво алюміній хлориду.
53. Виробництво силіцій (IV) хлориду.
54. Виробництво фосфор (III) хлориду.
55. Виробництво фосфор (V) хлориду.
56. Виробництво ферум (III) хлориду.
57. Виробництво манган (IV) оксиду електролітичним способом.
58. Виробництво фтору.
59. Виробництво поташу карбонізацією калій гідроксиду.
60. Виробництво магній оксиду з морської води.
61. Виробництво борної кислоти з датоліту.
62. Виробництво гідроген хлориду прямим синтезом.
63. Виробництво барій хлориду хлоркальцієвим методом.

64. Виробництво натрій сульфїду відновленням натрій сульфату.
65. Виробництво безводного натрій сульфїту.
66. Виробництво натрій тїосульфату сульфїдним способом.
67. Виробництво натрій бїхромату вуглекислотою плавкою.
68. Виробництво мїдного купоросу з гранульованої мїдї.
69. Виробництво мїдного купоросу з бїлого матта.
70. Виробництво фосфору.
71. Виробництво термїчної фосфатної кислоти.
72. Виробництво безводного гїдроген флуориду.
73. Виробництво кальцїєвої селїтри.
74. Виробництво натрїєвої селїтри.
75. Виробництво калїєвої селїтри конверсїйним методом.
76. Виробництво амонїй сульфату з коксового газу.
77. Виробництво амонїй сульфату з гїпсу рїдким методом.
78. Виробництво кальцїй арсенїту мокрим методом.
79. Виробництво амонїй перхлорату.
80. Виробництво кальцїй цїанамїду.

ПЕРЕЛІК ЕКЗАМЕНАЦІЙНИХ ПИТАНЬ

1. Зміст та завдання хімічної технології як науки.
2. Класифікація сировини. Методи збагачення твердої, рідкої та газоподібної сировини.
3. Загальна характеристика забруднень води. Класифікація природних вод. Показники якості води.
4. Гідромеханічні процеси.
5. Основи теплообміну.
6. Масообмінні процеси.
7. Загальна характеристика каталітичних процесів. Характеристики каталізаторів.
8. Склад каталізаторів. Каталітичні реактори.
9. Класифікація металів та металічних руд. Основні поняття металургії.
10. Виробництво чавуну та сталі.
11. Виробництво рідкісних металів. Виробництво вольфраму та молібдену.
12. Виробництво рідкісних металів. Виробництво ванадію та титану.
13. Виробництво рідкісних металів. Виробництво германію.
14. Особливості збагачення уранових руд. Виробництво урану та плутонію.
15. Технологія силікатів. Виробництво скла.
16. Технологія в'язучих матеріалів. Виробництво портландцементу.
17. Зв'язаний азот та його значення. Методи зв'язування азоту.
18. Виробництво азотної кислоти.
19. Хімічне паливо: визначення, класифікація і склад. Переробка рідкого палива.
20. Переробка твердого палива. Виробництво і переробка газоподібного палива.
21. Сировинна база та значення органічного синтезу. Синтез ацетилену.
22. Синтези на основі монооксиду Карбону.
23. Синтези на основі олефінів та ацетилену.
24. Типові хімічні процеси в органічному синтезі.
25. Класифікація та методи добування полімерів.

26. Виробництво штучного та синтетичного волокна.
27. Нітрозний спосіб виробництва сульфатної кислоти.
28. Виробництво нітратної кислоти прямим методом з NO_2 .
29. Виробництво суперфосфату.
30. Виробництво аміачної селітри.
31. Виробництво карбаміду.
32. Гідроліз деревини.
33. Гідрогенізація вугілля.
34. Термічний та каталітичний крекінг нафтопродуктів.
35. Карбідний спосіб одержання ацетилену.
36. Виробництво етанолу прямою гідратацією етилену.
37. Виробництво ацетальдегіду гідратацією ацетилену.
38. Виробництво формальдегіду окисленням метану.
39. Окислення парафіну.
40. Виробництво ацетальдегіду окисленням етилену.
41. Виробництво фенолу та ацетону окисленням ізопропілбензолу.
42. Виробництво метилхлориду.
43. Виробництво дихлоретану з хлору та етилену.
44. Виробництво гексахлорану.
45. Хлорування бензену.
46. Виробництво фенолу сульфуванням бензену.
47. Виробництво нітробензену безперервним способом.
48. Виробництво портланд-цементу мокрим способом.
49. Алкілування бензену етиленом.
50. Диспропорціонування етилбензену.
51. Виробництво стиролу з етилбензену.
52. Виробництво поліпропілену.
53. Випалювання колчедану.
54. Виробництво чавуну.
55. Виробництво амоній фосфатів.
56. Виробництво амофосу.
57. Виробництво нітроамофоски азотсульфатним методом.
58. Електроліз соляної кислоти.
59. Виробництво натрій хлорату.
60. Виробництво алюміній хлориду.
61. Виробництво ферум (III) хлориду.
62. Електроліз води.

63. Виробництво водню пероксиду електролізом сульфатної кислоти.
64. Виробництво фтору.
65. Виробництво поташу карбонізацією калій гідроксиду.
66. Виробництво хлороводню прямим синтезом.
67. Виробництво мідного купоросу.
68. Виробництво фосфору.
69. Виробництво термічної фосфатної кислоти.
70. Виробництво кальцієвої та натрієвої селітри.
71. Виробництво амоній сульфату з коксового газу.
72. Виробництво кальцій ціанаміду.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Альперт Л. З. Основы проектирования химических установок: Учеб. пособие для техникумов / Л. З. Альперт. – М.: Высшая школа – 1989. – 305 с.
2. Бесков В. С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии: Учебник для вузов / В. С. Бесков, В. С. Сафронов – М.: Химия – 1999. – 470 с.
3. Бесков С. Д. Техно-химические расчеты: Учебник для вузов / С. Д. Бесков – М.: Высшая школа – 1962. – 468 с.
4. Гончаров А. І. Хімічна технологія: Підручник для вузів. Ч.1. / А. І. Гончаров, І. П. Серета. – М.: Вища школа – 1979. – 288 с.
5. Гончаров А. І. Хімічна технологія: Підручник для вузів. Ч.2. / А. І. Гончаров, І. П. Серета. – М.: Вища школа – 1980. – 280 с.
6. Ковалев В. М. Технология производства синтетических моющих средств: Учеб. пособие для ПТУ / В. М. Ковалев, Д. С. Петренко. – М.: Химия – 1992. – 272 с.
7. Кононов А. В. Основы технологии комплексных удобрений: Учебник для вузов / А. В. Кононов, В. Н. Стерлин, Л. И. Евдокимова. – М.: Химия – 1988. – 320 с.
8. Крашенинников С. А. Технология кальцинированной соды и очищенного бикарбоната натрия: Учебник для вузов / С. А. Крашенинников. – М.: Высшая школа – 1985. – 287 с.
9. Линчевский Б. В. Металлургия черных металлов: Учебник для техникумов / Б. В. Линчевский, А. Л. Соболевский, А. А. Кальменев. – М.: Metallurgia – 1986. – 360 с.
10. Мельников Н. Н. Пестициды. Химия, технология и применение / Н. Н. Мельников. – М.: Химия – 1987. – 712 с.
11. Мухленов И. П. Общая химическая технология: Учебник для вузов. Т.1. Теоретические основы химической технологии / И. П. Мухленов, А. Я. Авербух, Е. С. Тумаркина и др. / Под ред. И. П. Мухленова. – М.: Высшая школа – 1984. – 256 с.
12. Мухленов И. П. Общая химическая технология: Учебник для вузов. Т.2. Важнейшие химические производства / И. П. Мухленов, А. Я. Авербух, Д. А. Кузнецов и др. / Под ред. И. П. Мухленова. – М.: Высшая школа – 1977. – 288 с.
13. Тихвинская М. Ю. Практикум по химической технологии: Учеб. пособие для вузов / М. Ю. Тихвинская, В. Е. Волынский. –

- М.: Просвещение – 1984. – 160 с.
14. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию: Учебник для вузов / Г. Фелленберг. – М.: Мир – 1997. – 232 с.
 15. Фрог Б. Н. Водоподготовка: Учеб. пособие для вузов / Б. Н. Фрог, А. П. Левченко. – М.: Издательство МГУ – 1996. – 680 с.
 16. Черняк А. С. Химическое обогащение руд: Учебник для вузов / А. С. Черняк. – М.: Недра – 1987. – 224 с.
 17. Якименко Л. М. Производство хлора, каустической соды и неорганических хлорпродуктов: Учебник для вузов / Л. М. Якименко. – М.: Химия – 1974. – 600 с.
 18. Пешук Л. В., Бавіка Л. І., Демідов І. М. Технологія парфумерно-косметичних продуктів. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 376 с.

Навчально-методичне видання

Марчук Олег Васильович
Смітюх Олександр Вікторович

ЗАГАЛЬНА ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ

(Частина 1)

**Методичні рекомендації до лабораторного практикуму
для студентів спеціальностей
102 – Хімія та 014 – Середня освіта (Хімія)**

Друкується в авторській
редакції
Верстка О.В. Марчука

Підписано до друку 30.11.2010. Формат 60x84 1/16
Ум. друк. арк. 4.5 Зам. № 189. Тираж 100
Папір офсетний. Гарнітура Times. Друк офсетний
Друк ПП Іванюк В.П. 43021, м. Луцьк, вул. Винниченка, 63
Свідоцтво Держкомінформу України
ВЛн № 31 від 04.02.2004 р.