

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г.Шевченка

І.М. Курмакова

## **ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ В ЗАДАЧАХ ТА ТЕСТОВИХ ЗАВДАННЯХ**



**Чернігів – 2019**

УДК 66(075.8)(076)

ББК Л10я 73

К 93

Укладач завідувач кафедри хімії та фармації Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, доктор технічних наук Курмакова Ірина Миколаївна

**Курмакова І.М. Хімічна технологія в задачах та тестових завданнях : навчальний посібник. Чернігів: НУЧК, 2019. 138 с.**

*Затверджено вченою радою Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, протокол №   7   від «27» лютого 2019 р.*

#### **Рецензенти:**

**Сиза Ольга Іллівна** – доктор технічних наук, професор кафедри харчових технологій Чернігівського національного технологічного університету, професор

**Москаленко Вадим Олегович** – доцент кафедри хімії та фармації Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя, кандидат хімічних наук, доцент

Посібник складено для здобувачів вищої освіти, які навчаються за освітньо-професійною програмою Середня освіта (Хімія) або Хімія за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти та вивчають хімічну технологію. Ця навчальна дисципліна сприяє розвитку хімічного мислення, формуванню наукового світогляду, розумінню єдності теоретичних питань та їх практичної реалізації при організації виробництва хімічних продуктів.

Навчальний посібник містить короткі теоретичні відомості, розрахункові задачі, розрахунково-графічні роботи, тестові завдання, список інформаційних джерел. Використання посібника дозволить здобувачу вищої освіти ефективно працювати як під час аудиторних занять, так і самостійно.

Використання навчального посібника забезпечить формування фахових компетентностей, зокрема здатності характеризувати досягнення хімічної технології, сучасний стан хімічної промисловості, їх роль у суспільстві та розв'язувати розрахункові задачі з виробничим змістом.

## Зміст

	Стор.
<b>Розділ 1. Теоретичні основи хімічної технології .....</b>	<b>4</b>
1.1. Техніко-економічні показники хімічного виробництва.....	4
1.2. Матеріальний та енергетичний баланс хіміко-технологічних процесів.....	15
1.3. Основні закономірності протікання хіміко-технологічних процесів.....	19
1.4. Апаратурне оформлення хіміко-технологічних процесів. Реактори.	29
1.5. Каталітичні процеси і апарати.....	31
<b>Розділ 2. Сировинна база хімічної промисловості.....</b>	<b>39</b>
<b>Розділ 3. Виробництво основних продуктів хімічної промисловості</b>	<b>50</b>
3.1. Виробництво сульфатної кислоти.....	50
3.2. Виробництво синтетичного амоніаку.....	61
3.3. Виробництво нітратної кислоти.....	68
3.4. Виробництво фосфатних добрив та фосфатної кислоти.....	76
3.5. Виробництво азотних добрив.....	81
3.6. Виробництво калійних добрив.....	86
3.7. Виробництво силікатних матеріалів.....	88
3.8. Виробництво чавуну та сталі.....	97
3.9. Електрохімічні виробництва.....	107
3.10. Переробка палива.....	115
3.11. Промисловий органічний синтез .....	123
<b>Розділ 4. Промислові викиди та методи їх очищення.....</b>	<b>133</b>
Використані інформаційні джерела.....	138

## Розділ I. Теоретичні основи хімічної технології

Вивчення розділу забезпечує формування умінь оцінювати техніко-економічну доцільність виробництва та вплив технологічних факторів на протікання хіміко-технологічних процесів.

### 1.1. Техніко-економічні показники хімічного виробництва

Економічна ефективність та практична доцільність хімічного виробництва визначаються **техніко-економічними показниками**, найважливішими з яких є витратний коефіцієнт сировини, вихід продукту, продуктивність роботи апарату, продуктивність праці, потужність, інтенсивність, собівартість продукту, питомі капітальні витрати.

**Витратний коефіцієнт (A)** – це кількість сировини або енергії для виробництва одиниці цільового продукту.

Одиниці вимірювання: для сировини т/т; кг/кг; м<sup>3</sup>/т; т/м<sup>3</sup> та ін., для енергії Дж/кг; кДж/т та ін.

**Теоретичний витратний коефіцієнти** розраховують на основі хімічних рівнянь (схем), згідно яких здійснюється перетворення сировини в цільовий продукт.

Наприклад, теоретичний витратний коефіцієнт для вуглекислого газу (н.у.) при виробництві карбаміду згідно схеми CO<sub>2</sub> (сировина) → (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO (продукт) обчислюється за формулою:

$$A_m = \frac{V_m}{M((NH_2)_2CO)}, \quad \text{де}$$

$A_m$  – теоретичний витратний коефіцієнт, м<sup>3</sup>/т

$M((NH_2)_2CO)$  – молярна маса карбаміду, т/Ммоль;

$V_m$  – молярний об'єм, м<sup>3</sup>/т

Наприклад, теоретичний витратний коефіцієнт для піриту при виробництві сульфатної кислоти згідно схеми FeS<sub>2</sub> (сировина) → H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (продукт) обчислюється за формулою:

$$A_m = \frac{M(FeS_2)}{2 \times M(H_2SO_4)}, \quad \text{де}$$

$A_m$  – теоретичний витратний коефіцієнт, т/т (кг/кг);

$M(FeS_2)$  – молярна маса піриту, т/Ммоль (кг/кмоль);

$M(H_2SO_4)$  – молярна маса сульфатної кислоти, т/Ммоль (кг/кмоль).

**Практичний витратний коефіцієнт** враховує вихід продукту.

$$A_{np} = \frac{A_m \times 100}{\eta}, \text{ де}$$

$A_{np}$  – практичний витратний коефіцієнт, т/т (кг/кг);

$A_m$  – теоретичний витратний коефіцієнт, т/т (кг/кг);

$\eta$  – вихід продукту, %.

Якщо відомі виробничі втрати ( $B$ , %), то практичний витратний коефіцієнт обчислюють за формулою:

$$A_{np} = \frac{A_m \times 100}{100 - B}$$

**Вихід продукту ( $\eta$ )** – це відношення маси, отриманого цільового продукту до його маси, яку можна одержати теоретично.

$$\eta = \frac{m_{np}}{m_{теор}}, \text{ де}$$

$m_{np}$  – маса отриманого цільового продукту, кг (т);

$m_{теор}$  – маса продукту, розрахована за рівнянням хімічної реакції, кг (т).

**Продуктивність апарату, цеху, заводу ( $\Pi$ )** – це фактична кількість виробленого продукту або переробленої сировини за одиницю часу.

Одиниці вимірювання: кг/год; т/рік; кг/доб; т/доб; м<sup>3</sup>/рік та ін.

$$\Pi = \frac{m_{np}}{\tau} \quad \Pi = \frac{V_{np}}{\tau}, \text{ де}$$

$V_{np}$  – об'єм отриманого цільового продукту або переробленої сировини, м<sup>3</sup> або л.

**Потужність ( $N$ )** – це максимально можлива продуктивність або продуктивність за оптимальних умов.

$$N = \Pi_{max}$$

$\Pi_{max}$  – продуктивність за оптимальних умов.

Зазвичай продуктивність становить 97 – 98 % від потужності:

$$\Pi = (0,97 \div 0,99) \times N$$

**Інтенсивність роботи апарату ( $I$ )** – це продуктивність, віднесена до корисного об'єму ( $V_k$ ) чи корисної площі ( $S_k$ ).

Одиниці вимірювання: кг/(м<sup>3</sup> × год); т/(м<sup>3</sup> × доб); кг/(м<sup>2</sup> × год); т/(м<sup>2</sup> × рік) та ін.

$$I = \frac{\Pi}{V_k} \quad I = \frac{\Pi}{S_k}$$

**Собівартість (С)** – це грошове вираження витрат даного підприємства на виготовлення та реалізацію одиниці продукції.

Одиниці вимірювання: грн/т; грн/кг.

**Продуктивність праці** – кількість виготовленої підприємством продукції за одиницю часу, яка приходить на одного працівника, зайнятого в даному виробництві.

**Питомі капітальні витрати ( $K_n$ )** – відношення загальної вартості установки (капітальні витрати) до його річної потужності.

Одиниці вимірювання: (грн×рік)/т.

$$K_n = \frac{K}{N}$$

Найважливішим показником є **економічна ефективність**, яка характеризується капітальними витратами, собівартістю продукції і продуктивністю праці.

Залежність між собівартістю і одиничною потужністю виробничого агрегату виражається рівнянням:

$$C = p \times N^n, \quad \text{де}$$

$p, n$  – коефіцієнти, значення  $n$  знаходиться в межах  $0,2 \div 0,3$ ;

$N$  – одинична потужність, т/рік.

Питомі капітальні витрати залежать від одиничної потужності установки:

$$K_n = a \times N^{0,4}$$

$a$  – коефіцієнт, який залежить від характеру виробництва.

### **Розрахункові задачі:**

1. Обчисліть практичний витратний коефіцієнт (т/т) для вапняку, що містить 89 %  $\text{CaCO}_3$ , з якого одержують негашене вапно.
2. Визначте практичний та теоретичний витратні коефіцієнти для фосфориту з масовою часткою  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  0,75 та для фосфатної кислоти з масовою часткою  $\text{P}_2\text{O}_5$  0,35 при виробництві подвійного суперфосфату з вмістом  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$  95 %. Вихід продукту 90 %.
3. Для виробництва 952 кг 98 % сульфатної кислоти було витрачено 0,75 т колчедану з масовою часткою Сульфуру 0,49. Обчисліть вихід продукту.
4. Визначте вихід сульфатної кислоти, якщо для одержання 300 тис. т 98%-ної кислоти витратили 48 тис. т сірки, що містить 5 % домішок та 133,5 тис. т флотаційного колчедану з масовою часткою Сульфуру 0,42.
5. Визначте масу кальцієвої селітри, одержаної в результаті обробки крейди нітратною кислотою масою 10 т. Вихід селітри 85 %.

6. Обчисліть продуктивність печі пиловидного випалу колчедану, якщо її діаметр 4,2 м, висота 8 м, а інтенсивність роботи 1000 кг/(м<sup>3</sup>×доб).
7. Обчисліть масу амоніаку та 58 % нітратної кислоти для забезпечення виробництва аміачної селітри на установці АС-72 продуктивністю 1575 т/добу, якщо практичні витратні коефіцієнти за амоніаком та 100 % нітратною кислотою складають 0,214 та 0,786 т/т відповідно. Визначте вихід продукту.
8. Обчисліть інтенсивність та продуктивність (т/год, т/добу, т/рік) колони синтезу амоніаку діаметром 140 см, висотою 14 м, якщо за 10 діб вироблено 3 тис. т амоніаку. Корисний об'єм колони складає 75%.
9. В колону для окиснення твердого парафіну завантажують 40 т парафіну, який займає 75 % об'єму колони. Висота колони становить 10 м, діаметр – 2,5 м. Процес окиснення відбувається 18 годин. Обчисліть продуктивність колони по переробленій сировині та інтенсивність процесу окиснення.
10. Визначте інтенсивність процесу одержання моногідрату, якщо абсорбер виробляє за добу 90 т H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Висота абсорбера 16 м, діаметр 5,5 м. Коефіцієнт використання корисного об'єму 0,85.
11. Який мінімальний об'єм повинні мати газгольдери (P = 5,065×10<sup>5</sup> Па, t = 18 °С) для водню та азоту, щоб газів було достатньо для трьох годин роботи заводу при його продуктивності 1360 т амоніаку за добу?
12. Система виробництва нітратної кислоти має такі показники: концентрація кислоти – 58 %, число агрегатів АК-72 з потужністю 380 тис. т/рік – 3. Визначте продуктивність системи за моногідратом у т/добу.
13. Визначте зниження питомих капітальних витрат при збільшенні одиничної потужності установки в 1,5 рази.
14. Як потрібно змінити потужність установки, щоб собівартість продукту знизилася на 13 %. Прийняти n = 0,2.
15. Перехід у виробництві сульфатної кислоти від агрегатів потужністю 240 т/добу до агрегатів потужністю 1500 т/добу забезпечив економію 36,7 %. Визначте коефіцієнт a для виробництва сульфатної кислоти.
16. Визначте теоретичні та практичні витратні коефіцієнти для сировини В при виробництві продукту А, якщо вихід становить η %.

№	Продукт А	η, %	Сировина В	Характеристика сировини
1	2	3	4	5
1	98 % розчин H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	99	Пірит (FeS <sub>2</sub> )	Тверда речовина з вмістом домішок 2 %

1	2	3	4	5
2	Моногідрат ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	99	Сірка	Тверда речовина, що містить 3 % домішок
3	Олеум з масовою часткою $\text{SO}_3$ 20 %	98	Сірка	Тверда речовина, що містить 3,5 % домішок
4	68 % розчин $\text{HNO}_3$	96	Амоніак	Газ з вмістом вологи 2 %
5	63 % розчин $\text{HNO}_3$	94	Амоніак	Газ з вмістом вологи 1 %
6	$\text{NH}_4\text{NO}_3$ з вмістом вологи 2 %	97	$\text{HNO}_3$	63% розчин
7	$\text{NH}_4\text{NO}_3$ з вмістом вологи 3 %	97	Амоніак	Газ з вмістом вологи 1,5 %
8	Суперфосфат з масовою часткою $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$ 0,87	95	$\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$	Тверда речовина з вмістом домішок 5 %
9	Суперфосфат з масовою часткою продукту $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$ 0,92	90	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	Тверда речовина з вмістом домішок 4 %
10	Метанол-сирець з масовою часткою $\text{CH}_3\text{OH}$ 0,98	97	Синтез газ ( $\text{CO}+2\text{H}_2$ )	Газ
11	Етанол з масовою часткою $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 0,96	99	$\text{C}_2\text{H}_4$	Газ
12	Амоніак $\text{NH}_3$	0,5	Азото-воднева суміш ( $3\text{H}_2+\text{N}_2$ )	Газ
13	Карбамід з масовою часткою $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 0,96	92	Амоніак	Газ
14	Карбамід з масовою часткою $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 0,92	96	Амоніак	Газ

17. Визначте вихід ( $\eta$  %) при одержанні продукту з певного виду сировини.

№	Сировина	Процес	Продукт
1	2	3	4
1	4,59 кг хром(III) оксиду	Відновлення алюмінієм	0,8 кг хрому
2	1,7 т вапняку з масовою часткою кальцій карбонату 0,94	Термічний розклад	1т вапна з масовою часткою кальцій оксиду 0,85



1	2	3	4
3	1 т руди, що містить 10 % халькопїриту ( $\text{CuFeS}_2$ )	Відновлення	33 кг міді
4	500 кг руди, що містить 10 % борніту ( $\text{Cu}_3\text{FeS}_3$ )	Відновлення	25 кг міді
5	1 т руди, що містить 20 % малахіту ( $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ )	Відновлення	2 кг міді
6	1 т натрій хлориду, що містить 10,5 % домішок	Розклад концентрованою сульфатною кислотою	1250 л 37 % хлоридної кислоти ( $\rho = 1,19 \text{ г/см}^3$ )
7	900 кг піриту, що містить 7 % домішок	Контактний спосіб	1367 кг 98 % розчину сульфатної кислоти
8	19724 л 57 % розчину нітратної кислоти ( $\rho = 1351 \text{ кг/м}^3$ )	Нейтралізація амоніаком	18700 кг амоній нітрату (амоніачна селїтра)
9	26647 кг 60 % розчину нітратної кислоти	Нейтралізація амоніаком	18300 кг амоній нітрату (амоніачна селїтра)
10	1251 кг 55 % розчину фосфатної кислоти	Нейтралізація амоніаком	900 кг триамоній фосфату
11	294 кг амоніаку	Каталітичне окиснення, окиснення NO та абсорбція	1140 л 62 % розчину нітратної кислоти ( $\rho = 1390 \text{ кг/м}^3$ )
12	1 т сірки, що містить 6 % домішок	Контактний спосіб виробництва	2400 кг олеуму з масовою часткою сульфур(VI) оксиду 0,2
13	300 кг 15 % розчину кальцинованої соди ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	Обробка негашеним вапном	76 кг 40 % розчину натрій гідроксиду
14	500 кг 12 % розчину кальцинованої соди ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	Обробка негашеним вапном	111 кг 35 % розчину натрій гідроксиду

### Тестові завдання

Субтест «Обізнаність» (вказіть одну вірну відповідь)

1. Кількість продукту, що виробляється за одиницю часу:

- 1) інтенсивність    2) потужність    3) собівартість    4) продуктивність

**2. Вкажіть основну статтю собівартості хімічних виробництв:**

- 1) паливо та енергія
- 2) амортизація основних виробничих фондів
- 3) сировина
- 4) заробітна платня працівників

**3. Вкажіть визначення продуктивності праці:**

- 1) продуктивність апарату, яка віднесена до корисної площі або об'єму
- 2) відношення загальної вартості установки до її річної потужності
- 3) грошові витрати на виготовлення одиниці цільового продукту
- 4) грошові витрати на виготовлення та збут одиниці цільового продукту
- 5) маса одержаного продукту одним працівником за одиницю часу

**4. Вкажіть одиниці вимірювання інтенсивності роботи апарату:**

- 1) т/(м×год)
- 2) кг/(м<sup>3</sup>×год)
- 3) кг/год
- 4) (м<sup>2</sup>×год)/кг

**5. Вкажіть одиниці вимірювання витратного коефіцієнту:**

- 1) т/(м×год)
- 2) т/т
- 3) т/год
- 4) (м<sup>2</sup>×год)/т

**6. Вкажіть одиниці вимірювання собівартості продукту:**

- 1) грошові одиниці/т
- 2) т/т
- 3) грошові одиниці /год
- 4) кг/(м<sup>3</sup>×год)

**7. Вкажіть одиниці вимірювання продуктивності апарату:**

- 1) грошові одиниці/т
- 2) т/т
- 3) т/год
- 4) кг/(м<sup>3</sup>×год)

**8. Продуктивність, що віднесена до корисного об'єму або площі:**

- 1) інтенсивність
- 2) потужність
- 3) собівартість
- 4) продуктивність

**9. Маса сировини, що необхідна для виробництва одиниці цільового продукту:**

- 1) інтенсивність
- 2) потужність
- 3) витратний коефіцієнт
- 4) продуктивність

**10. При розрахунку практичного витратного коефіцієнта враховують:**

- 1) виробничі втрати та вихід продукту
- 2) ступінь збагачення сировини
- 3) метод обробки сировини для одержання цільового продукту
- 4) продуктивність роботи апарату

**11. Продукт, який одержано на кінцевій стадії технологічного процесу:**

- 1) проміжний продукт
- 2) цільовий продукт
- 3) побічний продукт
- 4) відходи виробництва

**12. Продукт, який одержано на проміжній стадії виробництва:**

- 1) проміжний
- 2) цільовий
- 3) побічний
- 4) відходи

**13. Відходи виробництва, які можуть бути перероблені в корисний продукт:**

- 1) проміжний продукт
- 2) цільовий продукт
- 3) побічний продукт
- 4) вторинна сировина

**14. Вкажіть основну статтю собівартості електрохімічних виробництв:**

- 1) заробітна платня основних працівників
- 2) енергія
- 3) амортизація основних виробничих фондів
- 4) сировина

**15. Потужність апарату це:**

- 1) продуктивність яка віднесена до корисного об'єму
- 2) продуктивність яка віднесена до загального об'єму
- 3) мінімально можлива продуктивність
- 4) максимально можлива продуктивність

**16. Вкажіть визначення теоретичного витратного коефіцієнту:**

- 1) витрати сировини для виробництва одиниці цільового продукту з урахуванням його виходу та виробничих витрат
- 2) витрати сировини для виробництва одиниці цільового продукту без урахування його виходу та виробничих витрат
- 3) відношення маси цільового продукту, яка одержана до маси розрахованої за стехіометричним рівнянням реакції
- 4) маса одержаного цільового продукту або переробленої сировини за одиницю часу

**17. Вкажіть визначення практичного витратного коефіцієнту:**

- 1) витрати сировини для виробництва одиниці цільового продукту з урахуванням його виходу та виробничих витрат
- 2) продуктивність віднесена до корисного об'єму
- 3) відношення маси цільового продукту, яка одержана до маси розрахованої за стехіометричним рівнянням реакції
- 4) маса одержаного цільового продукту або переробленої сировини за одиницю часу

**18. Вкажіть визначення виходу продукту від теоретичного можливого:**

- 1) витрати сировини для виробництва одиниці цільового продукту з урахуванням його виходу та виробничих витрат

- 2) відношення маси цільового продукту, яка одержана до маси розрахованої за стехіометричним рівнянням реакції
- 3) маса одержаного цільового продукту або переробленої сировини за одиницю часу
- 4) максимально можлива продуктивність апарату

**19. Вкажіть визначення продуктивності апарату:**

- 1) витрати сировини для виробництва одиниці цільового продукту з урахуванням його виходу та виробничих витрат
- 2) витрати сировини для виробництва одиниці цільового продукту без урахування його виходу та виробничих витрат
- 3) відношення маси цільового продукту, яка одержана до маси розрахованої за стехіометричним рівнянням реакції
- 4) маса одержаного цільового продукту або переробленої сировини за одиницю часу

**20. Вкажіть визначення потужності апарату:**

- 1) витрати сировини для виробництва одиниці цільового продукту без урахування його виходу та виробничих витрат
- 2) відношення маси цільового продукту, яка одержана до маси розрахованої за стехіометричним рівнянням реакції
- 3) маса одержаного цільового продукту або переробленої сировини за одиницю часу
- 4) максимально можлива продуктивність апарату

**21. Вкажіть визначення інтенсивності роботи апарату:**

- 1) продуктивність, яка віднесена до корисної площі або об'єму;
- 2) відношення загальної вартості установки до її річної потужності;
- 3) грошові витрати на виготовлення одиниці цільового продукту;
- 4) грошові витрати на виготовлення та збут одиниці цільового продукту;
- 5) маса одержаного продукту одним працівником за одиницю часу.

**22. Вкажіть визначення питомих капітальних витрат:**

- 1) продуктивність, яка віднесена до корисної площі або об'єму
- 2) відношення загальної вартості установки до її річної потужності
- 3) грошові витрати на виготовлення одиниці цільового продукту
- 4) грошові витрати на виготовлення та збут одиниці цільового продукту
- 5) маса одержаного продукту одним працівником за одиницю часу

**23. Вкажіть визначення заводської собівартості:**

- 1) продуктивність, яка віднесена до корисної площі або об'єму
- 2) відношення загальної вартості установки до її річної потужності
- 3) грошові витрати на виготовлення одиниці цільового продукту
- 4) грошові витрати на виготовлення та збут одиниці цільового продукту

**Субтест «Класифікація»**

**(проаналізуйте запропоновані поняття або одиниці вимірювання; визначте поняття, які можна об'єднати в групу за певною ознакою; вкажіть поняття, що не відноситься до них)**

24. Витратний коефіцієнт, вихід продукту, масова частка домішок у сировині, інтенсивність роботи апарату, продуктивність праці

25. Витрати на сировину, витрати на паливо та енергію, витратний коефіцієнт, заробітна платня основних робітників, амортизація основних виробничих фондів, загальнозаводські витрати

26. кг/т, м<sup>3</sup>/т, кг/кг, кг/год, кг/м<sup>3</sup>

27. кг/(м<sup>3</sup>×год), т/(м<sup>3</sup>×доб), кг/(м<sup>2</sup>×год), т/(м<sup>2</sup>×рік), т/(м<sup>2</sup>×доб), кг/(м×год)

**Субтест «Логічний зв'язок»**

**(проаналізуйте твердження А та В окремо, встановіть наявність або відсутність логічного зв'язку між ними. Запропонуйте відповідь з використанням таблиці)**

№	Твердження А	Твердження В	Зв'язок
1	вірно	вірно	вірно
2	невірно	вірно	невірно
3	вірно	невірно	невірно
4	невірно	невірно	невірно
5	вірно	вірно	невірно

28. При збільшенні потужності установки собівартість продукції збільшується (твердження А), тому що збільшуються капітальні витрати на її будівництво (твердження В).

29. При збільшенні потужності установки собівартість продукції зменшується (твердження А), тому що залежність між собівартість продукції та потужністю установки має вигляд  $C = p \times N^n$ , де  $n = 0,2 \div 0,3$  (твердження В).

30. При збільшенні потужності установки питомі капітальні витрати збільшуються (твердження А), тому що залежність між питомими

капітальними витратами та потужністю установки має вигляд  $K_n = a \times N^{0,4}$  (твердження В).

31. Наявність домішок у сировині приводить до зменшення виходу цільового продукту (твердження А), тому що чим більша масова частка домішок у сировині, тим менше значення практичного витратного коефіцієнта (твердження В).

**Субтест відкритого типу (доповніть та продовжить речення)**

32. Теоретичний витратний коефіцієнт по піриту для виробництва сульфатної кислоти обчислюється за формулою \_\_\_\_\_ і дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
33. Теоретичний витратний коефіцієнт по піриту для виробництва 98 % розчину сульфатної кислоти обчислюється за формулою \_\_\_\_\_ і дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
34. Теоретичний витратний коефіцієнт по піриту для виробництва 20%-ого олеуму дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
35. Теоретичний витратний коефіцієнт по сірці для виробництва сульфатної кислоти обчислюється за формулою \_\_\_\_\_ і дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
36. Теоретичний витратний коефіцієнт по азотоводневій суміші (н.у.) для виробництва амоніаку дорівнює \_\_\_\_\_ м<sup>3</sup>/т.
37. Теоретичний витратний коефіцієнт по водню для виробництва амоніаку дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
38. Теоретичний витратний коефіцієнт по азоту для виробництва амоніаку дорівнює \_\_\_\_\_ т/т .
39. Теоретичний витратний коефіцієнт по амоніаку для виробництва нітратної кислоти обчислюється за формулою \_\_\_\_\_ і дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
40. Теоретичний витратний коефіцієнт по фосфориту ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) для виробництва подвійного суперфосфату ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$ ) обчислюється за формулою \_\_\_\_\_ і дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
41. Теоретичний витратний коефіцієнт по фторапатиту ( $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ ) для виробництва подвійного суперфосфату ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$ ) дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
42. Теоретичний витратний коефіцієнт по гідроксилапатиту ( $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ ) для виробництва подвійного суперфосфату ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$ ) дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
43. Теоретичний витратний коефіцієнт по амоніаку для виробництва карбаміду обчислюється за формулою \_\_\_\_\_ і дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
44. Теоретичний витратний коефіцієнт по амоніаку для виробництва аміачної селітри дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
45. Теоретичний витратний коефіцієнт по вуглекислому газу для виробництва карбаміду дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.

46. Теоретичний витратний коефіцієнт по нітратній кислоті для виробництва аміачної селітри дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
47. Теоретичний витратний коефіцієнт по сильвініту (вміст KCl 25%) для виробництва калій хлориду дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
48. Теоретичний витратний коефіцієнт по синтез-газу (н.у.) для виробництва метанолу дорівнює \_\_\_\_\_ м<sup>3</sup>/т.
49. Теоретичний витратний коефіцієнт по водню для виробництва метанолу дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
50. Теоретичний витратний коефіцієнт по етилену для виробництва етанолу дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
51. Теоретичний витратний коефіцієнт по магнетиту (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) для виробництва чавуну (96 % Fe) дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
52. Теоретичний витратний коефіцієнт по гематиту (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) для виробництва чавуну (96 % Fe) обчислюється за формулою \_\_\_\_\_ і дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
53. Теоретичний витратний коефіцієнт по сидериту (FeCO<sub>3</sub>) для виробництва чавуну (96 % Fe) дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
54. Практичний витратний коефіцієнт по піриту (містить 5 % домішок) для виробництва сульфатної кислоти дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
55. Практичний витратний коефіцієнт по піриту для виробництва сульфатної кислоти, якщо вихід складає 98 % дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
56. Практичний витратний коефіцієнт по сірці (містить 7 % домішок) для виробництва сульфатної кислоти дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
57. Практичний витратний коефіцієнт по азото-водневій суміші (н.у.) для виробництва амоніаку, якщо вихід складає 94 % дорівнює \_\_\_\_\_ м<sup>3</sup>/т.
58. Практичний витратний коефіцієнт по амоніаку для виробництва нітратної кислоти, якщо вихід складає 96 % дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
59. Практичний витратний коефіцієнт по фосфориту (Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, містить 6 % домішок) для виробництва подвійного суперфосфату (Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>×H<sub>2</sub>O), якщо вихід складає 92 % дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
60. Практичний витратний коефіцієнт по фторапатиту (Ca<sub>5</sub>F(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, містить 5 % домішок) для виробництва подвійного суперфосфату (Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>×H<sub>2</sub>O), якщо вихід складає 90% дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
61. Практичний витратний коефіцієнт по гідроксилапатиту (Ca<sub>5</sub>OH(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, містить 3 % домішок) для виробництва подвійного суперфосфату (Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>×H<sub>2</sub>O), якщо вихід складає 89% дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
62. Практичний витратний коефіцієнт по амоніаку для виробництва карбаміду, якщо вихід складає 80% дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.

63. Практичний витратний коефіцієнт по амоніаку для виробництва амонійної селітри, якщо вихід складає 90 % дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
64. Практичний витратний коефіцієнт по вуглекислому газу для виробництва карбаміду, якщо вихід складає 80 % дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
65. Практичний витратний коефіцієнт по нітратній кислоті для виробництва аміачної селітри, якщо вихід складає 90 % дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
66. Практичний витратний коефіцієнт по сильвініту (вміст КСІ 25 %) для виробництва калій хлориду, якщо вихід складає 90 % дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
67. Практичний витратний коефіцієнт по водню для виробництва метанолу, якщо вихід складає 96 % дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
68. Практичний витратний коефіцієнт по етилену для виробництва етанолу, якщо вихід складає 80 % дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
69. Практичний витратний коефіцієнт по магнетиту ( $Fe_3O_4$ , містить 7 % домішок) для виробництва чавуну (96 % Fe), якщо вихід складає 83 % дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
70. Практичний витратний коефіцієнт по гематиту ( $Fe_2O_3$ , містить 6 % домішок) для виробництва чавуну (96 % Fe), якщо вихід складає 87 % дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
71. Практичний витратний коефіцієнт по сидериту ( $FeCO_3$ , містить 4 % домішок) для виробництва чавуну (96 % Fe), якщо вихід складає 82 % дорівнює \_\_\_\_\_ т/т.
72. Практичний витратний коефіцієнт по бутану (н.у.) для виробництва оцтової кислоти, якщо вихід складає 80 % дорівнює \_\_\_\_\_ м<sup>3</sup>/т.

## ***1.2. Матеріальний та енергетичний баланс хіміко-технологічних процесів***

### ***1.2.1. Матеріальний баланс хіміко-технологічних процесів***

Матеріальний баланс хіміко-технологічних процесів (ХТП) складається на основі закону збереження маси речовини для оцінки економічної ефективності процесу, розрахунку обладнання і комунікацій.

Матеріальний баланс (МБ) має вигляд таблиці з двох частин: «витрачено» та «одержано».

Витрачено		Одержано	
Стаття	Маса, кг	Стаття	Маса, кг
Усього:		Усього:	



Загальне рівняння МБ  $\sum m_{\text{витр}} = \sum m_{\text{одерж}}$  або  $\sum m_{\text{витр}} - \sum m_{\text{одерж}} = 0$

Розрахунок при складанні МБ ведеться в одиницях маси (т, кг, г) або в одиницях кількості речовини (моль).

Матеріальний баланс на одиницю продукції складають для періодичних процесів або для безперервних з метою визначення витратних коефіцієнтів.

Матеріальний баланс на одиницю часу складається для безперервних процесів з метою розрахунку розмірів апаратів, діаметрів трубопроводів, для визначення вхідних і вихідних значень концентрацій реагуючих компонентів.

### Розрахункові задачі:

1. Складіть матеріальний баланс процесу випарювання 1 т 5 % розчину натрій хлориду до концентрації 20 %. Виробничі втрати становлять 3%.
2. Складіть матеріальний баланс відповідного процесу в розрахунку на одиницю (100 кг) цільового продукту.

№	Сировина	Процес	Цільовий продукт	Виробничі втрати сировини, %
1	2	3	4	5
1	Хром(III) оксид з домішками (масова частка 0,05)	Відновлення алюмінієм	Хром	3
2	Вапняк з масовою часткою кальцій карбонату 0,94	Термічний розклад	Кальцій оксид	4
3	Руда, яка містить 85% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Відновлення коксом (карбон)	Залізо	6
4	Газ з масовою часткою H <sub>2</sub> S 0,95	Спалювання (повітря, надлишок 1,5)	Сульфур(IV) оксид	2
5	Руда, яка містить 85 % Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Відновлення коксом	Залізо	5
6	Натрій хлорид, що містить 10,5 % домішок	Розклад концентрованою сульфатною кислотою	Хлороводень	3
7	Пірит, що містить 7 % домішок	Випал (повітря, надлишок 1,5)	Сульфур(IV) оксид	3

1	2	3	4	5
8	60% розчин нітратної кислоти	Нейтралізація амоніаком	Амоніачна селітра з вмістом вологи 7%	2
9	55 % розчин фосфатної кислоти	Нейтралізація амоніаком	Триамоній фосфат з вмістом вологи 5%	3
10	Амоніак	Каталітичне окиснення повітрям (2 кратний надлишок по кисню)	Нітроген оксид	2
11	Сірка, що містить 6 % домішок	Спалювання (повітря, надлишок 1,8)	Сульфур(IV) оксид	4
12	15 % розчин кальцинованої соди (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	Обробка негашеним вапном	Розчин натрій гідроксиду	2
13	Фосфорит, що містить 5 % домішок	Розчин сульфатної кислоти з масовою часткою 0,64	Простий суперфосфат	2
14	Етилен, що містить 5 % домішок	Парофазна гідратація (мольне співвідношення етилен : вода = 1 : 0,6)	Етиловий спирт	5

### 1.2.2. Тепловий баланс хіміко-технологічних процесів

Тепловий баланс ХТП складається на основі закону збереження енергії, згідно якому в замкненій системі сума енергій всіх видів постійна. Тепловий баланс (ТБ), як і матеріальний, має вигляд таблиці та дві частини: «витрачено» та «одержано».

$$\text{Загальне рівняння ТБ } \sum Q_{\text{прих.}} = \sum Q_{\text{расх.}} \quad \text{або} \quad \sum Q_{\text{прих.}} - \sum Q_{\text{расх.}} = 0$$

Статтями витратної частини в ТБ є: теплота, що поглинається в хімічній реакції, відповідна теплота фазових переходів; тепловміст вихідних речовин; теплота, що відводиться з теплоносієм.

Статтями частини «одержано» в ТБ є: теплота, що виділяється в хімічній реакції, відповідна теплота фазових переходів; тепловміст речовин – продуктів реакції; теплота, що підводиться теплоносієм.

На основі теплового балансу можна розраховувати кількість теплоносія для забезпечення оптимальних умов ХТП та площу теплообмінних поверхонь з використанням формули теплопередачі:

$$Q = K \times S \times (t_T - t_{3.p.}), \text{ де}$$

$Q$  – теплота, яку необхідно підвести (відвести), Дж;

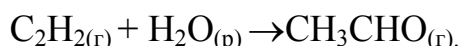
$K$  – коефіцієнт теплопередачі, Дж/(м<sup>2</sup>×град);

$S$  – площа теплообмінної поверхні, м<sup>2</sup>;

$(t_T - t_{3.p.})$  – різниця температур теплоносія та в зоні реакції, °С.

### Розрахункові задачі:

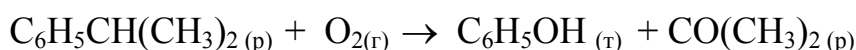
- Обчисліть площу поверхні теплопередачі (м<sup>2</sup>) конвективної камери трубчатої печі для нагріву нафти з 443 до 523 К. Продуктивність печі 20 м<sup>3</sup>/год, густина нафти 0,85 т/м<sup>3</sup>; теплоємність 2,05 кДж/(кг×град). Коефіцієнт теплопередачі 150 кДж/(м<sup>2</sup>×град×год). Температура газів на вході в камеру 1123 К, на виході 693 К.
- Визначте витрати води (т) на охолодження реактору виробництва ацетальдегіду при 90 °С, якщо процес протікає згідно рівнянню:



Потужність реактору 1,5 т/год. Температура води підвищується у змішувачу з 15 °С до 90 °С. Теплоємність води 4,18·10<sup>3</sup> Дж/(кг×К), вважати що тепловий ефект реакції від температури не залежить. Значення ентальпій утворення речовин за стандартних умов ( $\Delta H_f^0$ ) наведені в таблиці:

Речовина	C <sub>2</sub> H <sub>2(g)</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>(p)</sub>	CH <sub>3</sub> CHO <sub>(r)</sub>
$\Delta H_f^0$ , кДж/моль	+226,75	-285,84	-166,00

- Витрати води на охолодження реактору виробництва фенолу становлять 30 м<sup>3</sup>/год. Реакція у реакторі проходить при 110 °С за рівнянням:



Вважати, що тепловий ефект реакції від температури не залежить. Теплоємність води 4,18·10<sup>3</sup> Дж/(кг×К). Визначте з якою температурою вода подається у змішувач, якщо вона нагрівається до температури 95 °С. Потужність реактору 1,5 т/год. Значення ентальпій утворення речовин за стандартних умов ( $\Delta H_f^0$ ) наведені в таблиці:

Речовина	$C_6H_5CH(CH_3)_2 (p)$	$C_6H_5OH_{(r)}$	$CO(CH_3)_2 (p)$
$\Delta H_f^0$ , кДж/моль	-41,21	-155,90	-248,28

4. Виробництво оцтової кислоти базується на реакції, яку здійснюють при  $70\text{ }^\circ\text{C}$  та  $0,5\text{ МПа}$  згідно рівняння:  $2CH_3CHO_{(r)} + O_{2(r)} \rightarrow 2CH_3COOH_{(p)}$   
 Визначте витрати води у  $\text{м}^3/\text{год}$  (теплоносій) на охолодження реактора. Теплоємність води  $4,18 \cdot 10^3\text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ . Вважати, що тепловий ефект реакції від температури не залежить. Потужність реактору  $2,5\text{ т/год}$ . Температура води на вході у змішувик  $18$ , на виході –  $80\text{ }^\circ\text{C}$ . Значення ентальпій утворення речовин за стандартних умов ( $\Delta H_f^0$ ) наведені в таблиці:

Речовина	$CH_3CHO_{(r)}$	$CH_3COOH_{(p)}$
$\Delta H_f^0$ , кДж/моль	-166,00	-487,00

### 1.3. Основні закономірності протікання хіміко-технологічних процесів

#### 1.3.1. Швидкість хіміко-технологічних процесів

Швидкість технологічного процесу можна охарактеризувати зміною в часі кількості цільового продукту (його концентрації) або кількості однієї з вихідних речовин (її концентрації). Для вираження швидкості процесу застосовують також зміну в часі ступеня перетворення ( $x$ ) або виходу продукту.

Якщо кількість продукту чи його концентрація в часі змінюються лінійно, що справедливо для умов повного змішування, то за час від  $\tau_1$  до  $\tau_2$  кількість цільового продукту і його концентрація збільшуються відповідно від  $G_1$  до  $G_2$  і від  $C_1$  до  $C_2$ . Тоді швидкість процесу ( $u$ ) можна представити:

$$u = \frac{G_2 - G_1}{\tau_2 - \tau_1} \quad \text{або} \quad u = \frac{C_2 - C_1}{\tau_2 - \tau_1}$$

Якщо відрахунок часу починається з  $\tau = 0$ , а  $G_1$  і  $C_1 = 0$ , то

$$u = \frac{G}{\tau} \quad \text{або} \quad u = \frac{C}{\tau}$$

При ідеальному витісненні і неповному змішуванні зміна кількості продукту і його концентрації у часі відбувається нелінійно, і швидкість процесу визначають так:

$$u = \frac{dG}{d\tau} \quad \text{або} \quad u = \frac{dC}{d\tau}$$

Для гомогенних і гетерогенних процесів, при невідомій величині площі поверхні реагуючих фаз, відповідно до закону діючих мас:

$$u = k \times \Delta C \quad \text{або} \quad u = k \times \Delta P$$

Для гетерогенних процесів, тобто при фазовому переході речовин, та при відомому значенні площі поверхні реагуючих фаз ( $S$ ), швидкість процесу виражають:

$$u = k \times \Delta C \times S \quad \text{або} \quad u = k \times \Delta P \times S, \text{ де}$$

$k$  – константа швидкості процесу;

$\Delta C$  або  $\Delta p$  – рушійна сила процесу;

$S$  – площа поверхні реагуючих фаз.

**Константа швидкості процесу ( $k$ )** являє собою складну величину, яка залежить від хімічних властивостей реагуючих речовин, їх фізичних характеристик, конструкції апарата, гідродинамічних умов проведення процесу (швидкостей потоків, ступеня перемішування), дифузії реагуючих речовин і продуктів реакції. Значення  $k$  звичайно визначають експериментально.

**Рушійна сила процесу ( $\Delta C$  або  $\Delta p$ )** визначається для гомогенних реакцій за законом діючих мас як добуток концентрацій (тисків) реагуючих речовин у даний момент часу. Для реакції типу  $aA + bB = dD$

$$\Delta C = C_A^a \times C_B^b$$

Вплив температури на константу швидкості реакції для процесів, що відбуваються у кінетичній області, визначається рівнянням Арреніуса:

$$k = k_0 \times e^{\frac{-E}{RT}},$$

яке при розрахунках логарифмують і застосовують у вигляді:

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E}{R} \left( \frac{T_2 - T_1}{T_1 \times T_2} \right), \text{ де}$$

$k_1, k_2$  – константи швидкості реакцій при відповідних температурах  $T_1$  та  $T_2$ ;

$E$  – енергія активації реакції, Дж/моль;

$R$  – універсальна газова стала, яка дорівнює 8,314 Дж/(моль  $\times$  К).

### Розрахункові задачі:

1. Обчисліть об'єм керамічної насадки сушильної башти для  $SO_3$ , якщо маса парів води, що поглинається баштою за годину складає 1250 кг, коефіцієнт швидкості поглинання становить  $2,3 \times 10^{-4}$  кг/( $m^2 \times Pa \times год$ ), рушійна сила процесу 890 Па. Коефіцієнт запасу насадки  $1,25 m^2/m^3$ .

- Визначте об'єм та висоту башти з насадкою, якщо в час з газу абсорбується 3300 кг сульфур(VI) оксиду, коефіцієнт швидкості абсорбції  $1,58 \times 10^{-4}$  кг/( $\text{м}^2 \times \text{Па} \times \text{год}$ ), рушійна сила процесу становить 5070 Па, питома поверхня насадки  $87,5 \text{ м}^2/\text{м}^3$ . Площа розрізу башти  $9,5 \text{ м}^2$ , коефіцієнт запасу насадки 1,3.
- Початкову температуру в реакторі, яка становила  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ , збільшили на 20 градусів. Швидкість реакції збільшилася при цьому 7 разів. Обчисліть енергію активації реакції в кДж/моль.
- Енергія активації реакції становить 160 кДж/моль. Як зміниться швидкість реакції, якщо температуру змінити від  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ ?

### Розрахунково-графічне завдання

#### *Визначення енергії активації хіміко-технологічного процесу*

- Побудувати графік залежності  $\ln k - f(1/T)$ .
- Обчислити енергію активації, визначивши кутовий коефіцієнт.

№	Процес	Значення констант швидкості при відповідній температурі				
1	Окиснення сульфур(IV) оксиду на контактній масі БАВ при ступені перетворення > 0,6	$6,30 \times 10^{-7}$	$1,24 \times 10^{-6}$	$2,46 \times 10^{-6}$	$4,76 \times 10^{-6}$	$9,02 \times 10^{-6}$
		400 $^\circ\text{C}$	410 $^\circ\text{C}$	420 $^\circ\text{C}$	430 $^\circ\text{C}$	440 $^\circ\text{C}$
2	Окиснення сульфур(IV) оксиду на контактній масі БАВ при ступені перетворення > 0,6	$1,03 \times 10^{-5}$	$1,19 \times 10^{-5}$	$1,37 \times 10^{-5}$	$1,53 \times 10^{-5}$	$1,61 \times 10^{-5}$
		450 $^\circ\text{C}$	460 $^\circ\text{C}$	470 $^\circ\text{C}$	480 $^\circ\text{C}$	490 $^\circ\text{C}$
4	Піроліз пропану	26,22	30,01	42,56	50,01	67,93
		850 $^\circ\text{C}$	860 $^\circ\text{C}$	870 $^\circ\text{C}$	880 $^\circ\text{C}$	890 $^\circ\text{C}$
5	Термічний розклад етану	$2,5 \times 10^5$	$4,7 \times 10^5$	$8,2 \times 10^5$	$12,3 \times 10^5$	$23,1 \times 10^5$
		550 $^\circ\text{C}$	560 $^\circ\text{C}$	570 $^\circ\text{C}$	580 $^\circ\text{C}$	590 $^\circ\text{C}$
6	Конверсія етану з утворенням етену і водню	0,90	4,06	16,15	57,41	184,66
		800 $^\circ\text{C}$	850 $^\circ\text{C}$	900 $^\circ\text{C}$	950 $^\circ\text{C}$	1000 $^\circ\text{C}$

#### *1.3.2. Рівноважні хіміко-технологічні процеси*

Значна кількість важливих реакцій у хімічній технології є оборотними. Вони характеризуються константою хімічної рівноваги, яка може бути виражена через рівноважні концентрації (C), парціальні тиски (P), мольні частки (N або  $\chi$ ).

Для реакції  $aA + bB \leftrightarrow mM + dD$  вираз констант рівноваги наступний:

$$K_C = \frac{C_M^m \times C_D^d}{C_A^a \times C_B^b} \quad K_P = \frac{P_M^m \times P_D^d}{P_A^a \times P_B^b} \quad K_N = \frac{N_M^m \times N_D^d}{N_A^a \times N_B^b}$$

Константи рівноваги  $K_P$ ,  $K_C$ ,  $K_N$  співвідносяться:

$$K_P = K_C(RT)^{\Delta\nu}, \quad K_P = K_N \times P_{\text{заг}}^{\Delta\nu}, \text{ де}$$

$P_{\text{заг}}$  – загальний тиск в системі, Па;

$\Delta\nu$  – зміна числа молів газоподібних речовин в результаті реакції.

$$\Delta\nu = (m + d) - (a + b)$$

За значенням константи рівноваги оцінюють рівноважний вихід продукту за різних умов, що дозволяє вибрати оптимальні умови хіміко-технологічного процесу.

Таблиця 1.1. Зв'язок між константою хімічної рівноваги та рівноважним виходом продукту

Тип хімічної реакції	Вираз константи хімічної рівноваги	Рівноважний ступінь перетворення
$A + B \leftrightarrow D$	$K_P = \frac{4x}{(1-x)^2 \times P}$	$x = 1 - \sqrt{\frac{1}{1 + P \times K_P}}$
$A + B \leftrightarrow 2D$	$K_P = \frac{x^2}{(1-x^2)}$	$x = \frac{\sqrt{K_P}}{1 + \sqrt{K_P}}$
$A \leftrightarrow D + B$	$K_P = \frac{x^2 \times P}{(1-x)}$	$x = 1 - \sqrt{\frac{K_P}{K_P + P}}$

Залежність константи хімічної рівноваги від температури встановлюється рівнянням ізобари хімічної реакції:

$$\ln \frac{K_{P_1}}{K_{P_2}} = \frac{\Delta H}{R} \times \frac{(T_1 - T_2)}{T_1 T_2}, \text{ де}$$

$K_{P_1}$  та  $K_{P_2}$  – константи хімічної рівноваги при температурах  $T_1$  та  $T_2$  відповідно;  
 $\Delta H$  – тепловий ефект (зміна ентальпії) хімічної реакції, Дж/моль.

### Розрахункові задачі:

1. При якому парціальному тиску амоніак знаходиться в рівновазі з азотом і воднем при  $500^\circ\text{C}$ , якщо для водню парціальний тиск дорівнює  $74252,9$  Па, а

для азоту 53385,1 Па. При 500<sup>0</sup>С константа рівноваги реакції синтезу амоніаку  $K_p$  становить  $1,45 \times 10^{-5}$ .

- В системі  $N_{2(r)} + 3H_{2(r)} \leftrightarrow 2NH_{3(r)}$  при 700<sup>0</sup>С та 30 МПа встановився наступний склад рівноважної суміші (моль/л):  $N_2 - 0,3$ ;  $H_2 - 0,9$ ;  $NH_3 - 0,4$ . Обчисліть значення констант рівноваги  $K_c$ ,  $K_p$  та  $K_N$ .
- Константа рівноваги реакції  $2H_2 + O_2 = 2H_2O$  при температурі 1500 К  $K_p$  дорівнює  $7,6 \times 10^{-12}$ . Обчисліть  $K_p$  цієї реакції при температурі 1560 К. Зміна ентальпії реакції від температури не залежить і дорівнює  $\Delta H^0 = -241828,7$  Дж/моль.
- Константа рівноваги реакції  $2SO_2 + O_2 = 2SO_3$  при температурі 950 К дорівнює  $1,06 \times 10^{-12}$ . Визначити  $K_p$  реакції при температурі 850 К. Ентальпія реакції  $\Delta H^0 = -92,623$  кДж/моль.
- Константа рівноваги реакції  $C_2H_6 = C_2H_4 + H_2$  при температурі 1100 К дорівнює  $K_p = 1,67 \times 10^5$  Па. Ентальпія реакції  $\Delta H^0 = -144451,4$  Дж/моль. Визначити рівноважну ступінь перетворення етану при температурі 1000 К і тиску  $1,01 \times 10^5$  Па.
- Визначити рівноважну ступінь перетворення бутану в бутилен при температурі 1050 К і тиску  $1,01 \times 10^5$  Па, якщо відомо, що константа рівноваги цієї реакції при 1100 К становить  $1,67 \times 10^5$  Па, а ентальпія реакції  $\Delta H^0 = -144451,4$  Дж/моль.
- Константа рівноваги  $K_p$  реакції  $C_2H_5OH_{(r)} \leftrightarrow CH_3CHO_{(r)} + H_{2(r)}$  при 378 К дорівнює  $6,4 \cdot 10^{-9}$ . Ентальпії згоряння етанолу та оцтового альдегіду відповідно становлять (кДж/моль): -1412 та -1196. Обчисліть тепловий ефект хімічної реакції та константу  $K_p$  при 403 К.
- Константа рівноваги реакції дорівнює  $K_p$  при температурі  $T$  К та тиску  $P$  Па. Визначте рівноважну ступінь перетворення.

№	Процес	Рівняння реакції	$T$ , К	$P$ , Па	$K_p$
1	Гідратація етилену	$C_2H_4 + H_2O = C_2H_5OH$	573	$80 \times 10^5$	$2,9 \times 10^{-8}$
2	Гідрування формальдегіду	$H_2 + CH_2O = CH_3OH$	298	$1,05 \times 10^5$	$2,02 \times 10^{13}$
3	Дегідрування бутану	$C_4H_{10} = C_4H_8 + H_2$	1100	$1,01 \times 10^5$	$1,67 \times 10^5$
4	Дисоціація фосгену	$PCl_5 = PCl_3 + Cl_2$	523	$1,8 \times 10^5$	$1,83 \times 10^5$
5	Синтез йодоводню	$H_2 + I_2 = 2HI$	717	$1,01 \times 10^5$	50
6	Гідрування етену	$C_2H_4 + H_2 = C_2H_6$	873	$1,01 \times 10^5$	$2,86 \times 10^{-4}$



## Розрахунково-графічне завдання

### **Вплив температури та тиску на рівноважний вихід амоніаку**

Синтез амоніаку здійснюється за рівнянням:  $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$

Процес є екзотермічним:  $\Delta H_{298} = -91,96$  кДж/моль;  $\Delta H_{725} = -112,86$  кДж/моль

Для даної реакції константа рівноваги 
$$K_p = \frac{P_{NH_3}}{P_{N_2}^{1/2} \cdot P_{H_2}^{3/2}}$$

Виразимо  $K_p$  через мольну долю амоніаку в рівноважній суміші ( $x$ ).

Склад рівноважної суміші:

(1 -  $x$ ) моль  $N_2$ ; (3 - 3 $x$ ) моль  $H_2$ ; 2 $x$  моль  $NH_3$

Загальна кількість моль складає:  $1 - x + 3 - 3x + 2x = 4 - 2x$

Парціальні тиски компонентів суміші дорівнюють:

$$P_{N_2} = \frac{1-x}{4-2x} \cdot P; \quad P_{H_2} = \frac{3-3x}{4-2x} \cdot P; \quad P_{NH_3} = \frac{2x}{4-2x} \cdot P, \text{ де}$$

$P$  – загальний тиск рівноважної системи.

$$K_p = \frac{2x \cdot P \cdot 2^{1/2} (2-x)^{1/2} \cdot 2^{3/2} (2-x)^{3/2}}{2(2-x) \cdot (1-x)^{1/2} \cdot P^{1/2} 3^{3/2} (1-x)^{3/2} P^{3/2}} = \frac{4(2-x)}{3^{3/2} (1-x)^2 P}$$

Розв'язавши відносно  $x$ , одержимо рівняння для визначення рівноважної концентрації амоніаку

$$x = 1 + \frac{1,54}{K_p \cdot P} - \sqrt{\left(1 + \frac{1,54}{K_p \cdot P}\right)^2 - 1}$$

Побудувати графіки залежності:

- а) рівноважної концентрації амоніаку від температури при певному тиску;
- б) рівноважної концентрації амоніаку від тиску при певній температурі.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$t, ^\circ C$	200	300	400	500	600	700	200	300	400	500	600
$P, \text{ МПа}$	30	10	5	60	100	1	10	30	60	5	1

Константи рівноваги синтезу амоніаку при різних температурах і тисках [9, с.326]

$t, ^\circ C$	Константи рівноваги при певному тиску (МПа)					
	$P = 1$	$P = 5$	$P = 10$	$P = 30$	$P = 60$	$P = 100$
200	0,6488	0,6978	0,7368	0,9120	2,4930	10,3500
300	0,06238	0,06654	0,06966	0,08667	0,1733	0,51340
400	0,01282	0,01310	0,01379	0,01717	0,02761	0,06035
500	0,00378	0,00384	0,00409	0,00501	0,00646	0,00978
600	0,00152	0,00146	0,00153	0,00190	0,00200	0,00206
700	0,00071	0,00066	0,00070	0,00087	0,00085	0,00052

Зробити висновки про вплив температури та тиску на рівноважний вихід амоніаку.

## Тестові завдання

### Субтест «Обізнаність» (вказіть одну вірну відповідь)

1. Вкажіть рівняння, яке визначає швидкість гомогенних процесів у газовій фазі:

1)  $k = k_0 \times e^{\frac{E}{RT}}$     2)  $u = k \times \Delta C \times S$     3)  $D_{\text{газ}} = B \times \frac{T^\alpha}{P}$     4)  $u = k \times \Delta C$

2. Вкажіть рівняння, яке визначає швидкість гетерогенних процесів:

1)  $k = k_0 \times e^{\frac{E}{RT}}$     2)  $u = k \times \Delta C \times S$     3)  $D_{\text{газ}} = B \times \frac{T^\alpha}{P}$     4)  $u = k \times \Delta C$

3. Вкажіть оптимальний температурний режим для оборотних екзотермічних процесів:

- 1) знижувати температуру зі збільшенням ступеня перетворення
- 2) підвищувати температуру зі збільшенням ступеня перетворення
- 3) підтримувати постійну достатньо високу температуру
- 4) підтримувати постійну достатньо низьку температуру

4. Не впливає на швидкість процесів, які протікають у кінетичній області:

- 1) каталізатор
- 2) перемішування
- 3) температура
- 4) концентрація

5. Не впливає на швидкість процесів, які протікають у дифузійній області:

- 1) каталізатор
- 2) перемішування
- 3) температура
- 4) концентрація

6. Вкажіть схему реакції, швидкість якої виражається рівнянням

$$u = k_{np} \times C_A^a \times C_B^b - k_{ze} \times C_D^d \times C_M^m :$$

- 1)  $aA + bB \leftrightarrow dD$                       2)  $aA + bB \rightarrow dD + mM$
- 3)  $aA + bB \leftrightarrow dD + mM$               4)  $dD + mM \leftrightarrow aA + bB$

7. Вкажіть схему реакції, швидкість якої виражається рівнянням

$$u = k_{np} \times C_A^a \times C_B^b :$$

- 1)  $aA + bB \leftrightarrow dD$                       2)  $dD + mM \rightarrow aA + bB$
- 3)  $aA + bB \leftrightarrow dD + mM$               4)  $aA + bB \leftrightarrow dD$

8. Вкажіть з яких причин у виробничій практиці обмежують інтенсифікацію процесів шляхом підвищення температури:

- 1) складність регулювання температури
- 2) низька термостійкість конструкційних матеріалів
- 3) можлива зміна агрегатного стану реагуючих речовин
- 4) додаткові витрати на теплоносії

**9. Вкажіть область протікання ХТП, якщо найбільш повільною стадією є швидкість хімічної реакції:**

- 1) перехідна                      2) кінетична  
3) внутрішньо дифузійна      4) зовнішньо дифузійна

**10. Вкажіть область протікання ХТП, якщо найбільш повільною стадією є доставка реагуючих речовин в зону реакції:**

- 1) перехідна    2) кінетична    3) дифузійна

**11. Вкажіть область протікання ХТП, якщо швидкість всіх його стадій приблизно однакова:**

- 1) перехідна    2) кінетична    3) дифузійна

**12. Вкажіть характеристику режиму повного змішування:**

1) значна турбулізація потоку, концентрація реагентів у об'ємі проточного апарату однакова і дорівнює кінцевої

2) значна турбулізація потоку, концентрація реагентів у об'ємі проточного апарату однакова і дорівнює початкової

3) вихідна суміш не змішується з продуктами реакції, концентрація реагентів у об'ємі проточного апарату змінюється повільно

4) вихідна суміш не змішується з продуктами реакції, концентрація реагентів у об'ємі проточного апарату не змінюється

**13. Вкажіть характеристику режиму ідеального витискування:**

1) значна турбулізація потоку, концентрація реагентів у об'ємі проточного апарату однакова і дорівнює кінцевої

2) значна турбулізація потоку, концентрація реагентів у об'ємі проточного апарату однакова і дорівнює початкової

3) вихідна суміш не змішується з продуктами реакції, концентрація реагентів у об'ємі проточного апарату змінюється повільно

4) вихідна суміш не змішується з продуктами реакції, концентрація реагентів у об'ємі проточного апарату не змінюється

**14. Вкажіть показник, який дорівнює  $K_c \times (RT)^{\Delta n}$ :**

- 1)  $K_P$     2)  $K_N$     3)  $\Delta G_T^0$     4)  $\Delta H_T^0$

**15. Вкажіть показник, який дорівнює  $K_N \times P^{\Delta n}$ :**

- 1)  $K_P$     2)  $K_N$     3)  $\Delta G_T^0$     4)  $\Delta H_T^0$

**16. Вкажіть показник, який дорівнює  $RT \times \ln K_P$ :**

- 1)  $K_P$     2)  $K_N$     3)  $\Delta G_T^0$     4)  $\Delta H_T^0$

17. Вкажіть показник, який дорівнює  $\frac{\Delta H_T^0}{RT^2}$  :

- 1)  $d \ln K_p / dT$     2)  $K_N$     3)  $\Delta G_T^0$     4)  $\Delta F_T^0$

18. Тиск не є фактором зміщення рівноваги ХТП:

- 1)  $A_T + B_T \leftrightarrow D_T + M_T$             2)  $A_T + B_T \leftrightarrow D_T$   
3)  $B_T \leftrightarrow D_T + M_T$                       4)  $A_T + B_{ТВ} \leftrightarrow D_T + M_T$

19. Вкажіть схему ХТП, для якого тиск є фактором зміщення рівноваги:

- 1)  $A_T + B_T \leftrightarrow D_T + M_T$             2)  $A_{ТВ} + B_T \leftrightarrow D_T$   
3)  $B_T \leftrightarrow D_T + M_T$                       4)  $A_p + B_p \leftrightarrow D_p + M_p$

20. Вкажіть тип ХТП для яких температура не впливає на стан хімічної рівноваги:

- 1) екзотермічних  
2) ендотермічних  
3) які протікають без зміни об'єму реагуючих речовин  
4) тепловий ефект яких незначний

21. Вкажіть апаратне оформлення для проведення процесів у системі Р-Т:

- 1) башта з перегородками, піч з ежекторним пальником  
2) реактор з мішалкою, реактор з пневматичним перемішуванням  
3) апарат Вентурі, кожухотрубний апарат  
4) апарат з розбризкуванням рідини, пінний апарат, башта з насадкою

22. Вкажіть процес у системі Р-Р:

- 1) спікання    2) розчинення    3) дистиляція    4) емульгування

23. Вкажіть процес у системі Г-Р:

- 1) спікання    2) розчинення    3) дистиляція    4) емульгування

24. Вкажіть процес у системі Р-Т:

- 1) спікання    2) розчинення    3) дистиляція    4) ректифікація

25. Вкажіть апарат, який використовується і як реактор, і як теплообмінник:

- 1) башта з насадкою  
2) пінний апарат  
3) кожухотрубний апарат  
4) башта з перегородками



### Субтест «Узагальнення»

(проаналізуйте поняття та вкажіть спільну ознаку)

37. Абсорбція, ректифікація
38. Башта з насадкою, пінний апарат
39. Барботажний апарат, башта з розбризкуванням рідини
40. Печі кольорової металургії, доменна піч
41. Цементна піч, піч спікання

### Субтест «Логічний зв'язок»

(проаналізуйте твердження А та В окремо, встановіть наявність або відсутність логічного зв'язку між ними. Запропонуйте відповідь з використанням таблиці)

№	Твердження А	Твердження В	Зв'язок
1	вірно	вірно	вірно
2	невірно	вірно	невірно
3	вірно	невірно	невірно
4	невірно	невірно	невірно
5	вірно	вірно	невірно

42. Для збільшення швидкості процесів, які протікають в дифузійній області, застосовують каталізатори (твердження А), тому що вони зменшують енергію активації процесу (твердження В).
43. Для збільшення швидкості процесів, які протікають в кінетичній області, забезпечують інтенсивне перемішування (твердження А), тому що при цьому збільшується швидкість дифузії реагентів (твердження В).
44. Для підвищення швидкості гетерогенних процесів збільшують площу поверхні реагуючих фаз (твердження А), тому що це ефективний фактор впливу на швидкість процесів (твердження В).
45. Процеси, в яких беруть участь реагенти зі значною концентрацією реагуючих речовин, проводять в адіабатичних реакторах (твердження А), тому що в них можливе регулювання температури за допомогою теплоносіїв (твердження В).
46. Найбільша інтенсивність процесу в системі Г-Р забезпечується баштою з насадкою (твердження А), тому що в ній здійснюється протиток (твердження В).
47. Башта з перегородками для процесів окиснення відноситься до моделі повного змішування (твердження А), тому що в ній організовано інтенсивне перемішування реагентів (твердження В).

48. Піч з ежекторним пальником відноситься до моделі ідеального витиснення (твердження А), тому що в ній відсутня мішалка (твердження В).
49. Верхня частина пінного апарату має більший діаметр (твердження А), для того щоб зменшити швидкість газового потоку та запобігти виносу піни з зони реакції (твердження В).
50. Домна відноситься до печей прямого нагріву (твердження А), тому що теплоносій знаходиться в реакційній масі безпосередньо (твердження В)

#### **1.4. Апаратурне оформлення хіміко-технологічних процесів. Реактори.**

**Хімічний реактор** - це апарат, в якому здійснюються хімічні реакції та дифузійні процеси з етапами масоперенесення.

Хімічний реактор – основний апарат хіміко-технологічної системи. Перед ним розташовані апарати для підготовки реакційної суміші до переробки (очистка, нагрів і т.д.), а після нього – обладнання для виділення цільового продукту із суміші речовин.

До реакторів відносяться: контактні апарати, промислові печі, колони синтезу, абсорбери, гідратори, колони синтезу і т.д.

Вимоги до реакторів обумовлюються характером хімічного виробництва, але є і загальні вимоги:

1. Забезпечувати максимальну продуктивність при можливо більш високому ступені перетворення сировини.
2. Найбільш повно використовувати температуру екзотермічних реакцій і теплоту, що підводиться теплоносієм для проведення ендотермічних процесів.
3. Раціонально витратити енергію на транспортування і перемішування реагентів.
4. Бути достатньо простими за конструкцією і дешевими.
5. Найбільш повно механізувати процес і забезпечувати його автоматичне регулювання.

Більшість реакторів має циліндричну форму, тож їх об'єм обчислюється за формулою об'єма циліндру:

$$V = S_{\text{осн}} \times h \qquad V = \frac{\pi d^2}{4} \times h \quad , \quad \text{де}$$

$V$  – об'єм реактора, м<sup>3</sup>;       $S_{\text{осн}}$  – площа основи, м<sup>2</sup>;

$d$  – діаметр, м;       $h$  – висота, м

Об'єми апаратів кулеподібної форми обчислюється за формулою об'єму кулі:

$$V = \frac{4}{3} \pi \times r^3$$

Для обчислення об'єму електролізерів, ванн використовують формулу для паралелепіпеду:

$$V = a \times b \times h \quad , \text{де}$$

$a$  та  $b$  – довжина та ширина, м;  $h$  – висота, м.

### **Розрахункові задачі:**

1. При напівкоксуванні торфу масою 10,69 т утворюється газ з виходом 18% (від маси торфу), який заповнює газгольдер. Склад газу (% за об'ємом):  $H_2$  – 16,  $CH_4$  – 18,  $CO_2$  – 41,  $N_2$  – 11,5,  $CO$  – 13,5. Обчисліть об'єм та діаметр газгольдера, якщо його висота 6 м.
2. Визначте ступінь заповнення сталлю 350-тонного кисневого конвертору кулеподібної форми з внутрішнім діаметром 8 м. Густина рідкої сталі 7200 кг/м<sup>3</sup>.
3. Розрахуйте висоту шару сталі в 600-тонній мартенівській печі, якщо плавильний простір має довжину 17 м та ширину 7 м. Густина рідкої сталі 7200 кг/м<sup>3</sup>.
4. У газгольдері об'ємом 2000 м<sup>3</sup> підтримується постійний тиск 0,2 МПа. Визначте масу ацетилену, завантаженого у газгольдер взимку (-20 °С) та влітку (+30 °С).
5. Визначте об'єм газгольдеру, в якому підтримується тиск 5 атм та температура 20 °С, для синтезу газу, необхідного для одержання 500 кг метилового спирту з виходом 95 %.

### **1.5. Каталітичні процеси і апарати**

Каталіз – найбільш ефективний і раціональний засіб прискорення хімічних реакцій. Каталітичні реакції описуються загальними законами хімії і термодинаміки, але дія каталізаторів значно полегшує практичне здійснення хімічних процесів. У присутності каталізаторів ці реакції прискорюються в тисячі і мільйони разів, протікають при більш низьких температурах, що економічно вигідно. Багато промислових процесів вдалося здійснити лише завдяки застосуванню каталізаторів.

**Активність каталізатора (A)** – це міра його прискорюючої дії на дану реакцію.



Активність каталізатора обчислюють:

1. За однакових параметрах технологічного процесу (концентрація реагентів, температура, тиск й ін.) як відношення констант швидкості реакції з застосуванням каталізатора ( $k_k$ ) та без нього ( $k$ ):

$$A = \frac{k_k}{k} = e^{\frac{\Delta E}{RT}}, \text{ де}$$

$\Delta E$  — різниця енергій активації некаталітичної і каталітичної реакцій, Дж/моль.

2. Активність каталізатору у будь-якій реакції за різних умов виражають через кількість продукту, одержаного у каталітичному процесі:

$$A = \frac{G}{V \times \tau}, \text{ де}$$

$G$  – кількість продукту (т або м<sup>3</sup>), що одержано за час  $\tau$ ,

$V$  – об'єм, що займає каталізатор, м<sup>3</sup>.

**Селективність каталізатора ( $S_{кам}$ )** – це відношення маси сировини, яка перетворилася в цільовий продукт, до маси всієї сировини, що прореагувала.

**Об'ємна швидкість газу** – це його об'єм, що проходить за 1 годину через 1 м<sup>3</sup> каталізатора.

### Розрахункові задачі:

1. Визначте інтенсивність процесу з використанням контактної маси, якщо добова продуктивність складає 80 т SO<sub>3</sub>. Діаметр апарату 320 см. Висота шарів контактної маси в апараті з проміжним теплообміном складає:  $h_1 = 20$  см,  $h_2 = 45$  см,  $h_3 = 60$  см та  $h_4 = 70$  см.
2. Обчисліть час контакту газу на цинк-хромовому каталізаторі установки синтезу метанолу, що працює при 847 К та тиску  $1,5 \times 10^5$  Па. Об'ємна швидкість газу 950 м<sup>3</sup>/с, об'єм каталізатора 1 м<sup>3</sup>.
3. Синтез амоніаку здійснюють на залізному каталізаторі в колонні діаметром 1,4 м та висотою 13 м з об'ємною швидкістю 40 000 м<sup>3</sup>/год. Каталізатор займає 60 % об'єму колони. Визначте час контакту азото-водневої суміші з каталізатором та об'єм газу, що проходить через колону за дві години.
4. Активність ванадієвої контактної маси, що застосовується в процесі окиснення сульфур(IV) оксиду, складає  $3 \times 10^{11}$ . Визначте зниження енергії активації процесу, який проводиться при 500 °С.
5. При одержанні етанолу методом прямої гідратації етилену з 1000 кг газу одержують 1460 кг спирту, 31 кг діетилового етеру, 30 кг смол та 15 кг оцтового альдегіду. Розрахуйте селективність каталізатору по спирту.

6. Розрахуйте об'єм каталізатору для забезпечення роботи установки по виробництву етанолу методом прямої гідратації етилену продуктивністю 150 т/доб етанолу, якщо інтенсивність каталізатора 200 кг/(м<sup>3</sup>×год).
7. Каталізатор складу CuO×Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> працює при 220 °С та об'ємній швидкості газу, що очищується від СО, 12 000 год<sup>-1</sup>. Розрахуйте продуктивність каталізатора, якщо він забезпечує повну очистку газу при початковому вмісті СО 1 % за об'ємом.
8. Енергія активації реакції в температурному інтервалі t<sub>1</sub> – t<sub>2</sub> дорівнює E<sub>0</sub> кДж/моль. Каталізатор К знижує енергію активації до E<sub>к</sub> кДж/моль при температурі Т. Обчисліть активність каталізатора, якщо рушійна сила процесу не змінюється.

№	Реакція	(t <sub>1</sub> - t <sub>2</sub> ) °С	E <sub>0</sub> , кДж/моль	К	E <sub>к</sub> кДж/моль	t °С
1	2SO <sub>2(г)</sub> + O <sub>2(г)</sub> = 2SO <sub>3(г)</sub>	400 - 630	280	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	160	630
2	2SO <sub>2(г)</sub> + O <sub>2(г)</sub> = 2SO <sub>3(г)</sub>	400 - 630	280	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	92	450
3	2SO <sub>2(г)</sub> + O <sub>2(г)</sub> = 2SO <sub>3(г)</sub>	400 - 630	280	Pt	68	400
4	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2(р)</sub> + O <sub>2(г)</sub> = C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> OOH <sub>(г)</sub>	110 - 120	105,0	гідроперо- ксид ізопро- пілбензен	55,0	120
5	n-C <sub>4</sub> H <sub>10(г)</sub> = iso-C <sub>4</sub> H <sub>10(г)</sub>	50 - 55	57,2	Al <sub>2</sub> Br <sub>6</sub>	57,2	52

9. Обчисліть селективність каталізатору К при здійсненні хіміко-технологічного процесу (ХТП).

№	ХТП	К	Кількість утворених продуктів				
			4				
1	Алкілювання бензену етиленом	AlCl <sub>3</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> 51 мас.%	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> 18 мас.%	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> 13 мас.%	Непрор. C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> 18 мас.%	-
2	Газофазне гідрохлорування ацетилену	HgCl <sub>2</sub> на активovanому вугіллі	Вініл-хлорид 93 мас.%	HCl 5 мас.%	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 0,5 мас.%	Дихлоретан 0,3 мас.%	Оцтовий альдегід 0,3 мас.%
3	Гідродеалкілювання толуолу при 595 °С та 7,0 МПа	Хромоалюмінієвий	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> 62 мас.%	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub> 22 мас.%	H <sub>2</sub> 3 мас.%	CH <sub>4</sub> 13 мас.%	-

1	2	3	4				
4	Газофазна гідратація ацетилену (1 м <sup>3</sup> ) при 400 °С	Кадмій – кальцій - фосфат -ний	Ацет-альдегід 445 дм <sup>3</sup>	Кротоновий альдегід 3,5 дм <sup>3</sup>	Оцтова кислота 5 дм <sup>3</sup>	Ацетон 1,5 дм <sup>3</sup>	Непр. С <sub>2</sub> Н <sub>2</sub> 0,5 м <sup>3</sup>
5	Пряме окислення пропілену при 320-350 °С та 0,4 МПа	Сu <sub>2</sub> O	Акролеїн 9,11 мас.%	Азот 82,4 мас.%	Пропілен 3,07 мас.%	Карбонові к-ти 1,95 мас.%	СО <sub>2</sub> , альдегід, ацетон та інші 3,47 мас.%
6	Одержання етиленгліколю з контактних газів прямого окиснення етилену	Н <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Етилен-гліколь 1000 кг	Діетилен-гліколь 120 кг	Триетилен-гліколь 30 кг	Непро-реаг. оксид етилену 100 кг	-

### Тестові завдання

#### Субтест «Обізнаність» (вказіть одну вірну відповідь)

1. Вкажіть параметр, який характеризує прискорюючу дію каталізатора:

- 1) активність                      2) температура загоряння  
3) селективність                4) стійкість до дії отрут

2. Вкажіть формулу за якою визначається активність каталізатора за умови постійної рушійної сили процесу:

- 1)  $A = e^{\frac{\Delta E}{RT}}$                       2)  $A = u_{кат} - u(1 - \varphi_{кат})$   
3)  $A = \frac{G_{np}}{V \times \tau}$                       4)  $k = k_0 \times e^{\frac{-E}{RT}}$

3. Вкажіть формулу для обчислення активності каталізатора, якщо  $k_0$  не змінюється по відношенню до некаталітичної реакції:

- 1)  $A = e^{\frac{\Delta E}{RT}}$                       2)  $A = u_{кат} - u(1 - \varphi_{кат})$   
3)  $A = \frac{G_{np}}{V \times \tau}$                       4)  $k = k_0 \times e^{\frac{-E}{RT}}$

**4. Вкажіть формулу для обчислення активності каталізатора при порівнянні його дії за різних умов:**

1)  $A = e^{\frac{\Delta E}{RT}}$     2)  $A = u_{кат} - u(1 - \varphi_{кат})$     3)  $A = \frac{G_{np}}{V \times \tau}$     4)  $k = k_0 \times e^{\frac{-E}{RT}}$

**5. Вкажіть область протікання процесу при якій використовувати каталізатор доцільно:**

- 1) кінетична    2) внутрішньо дифузійна    3) зовнішньо дифузійна

**6. Оптимальний температурний режим зворотних екзотермічних каталітичних процесів:**

- 1) певне зниження температури зі збільшенням ступеня перетворення  
2) певне підвищення температури зі збільшенням ступеня перетворення  
3) підтримання постійної достатньо високої температури  
4) підтримання постійної достатньо низької температури

**7. Вкажіть частинки, що беруть участь в обміні згідно загального механізму окисно-відновного каталізу:**

- 1) протони    2) іони    3) електрони    4) радикали

**8. Вкажіть частинки, що беруть участь в обміні згідно загального механізму кислотно-основного каталізу:**

- 1) радикали    2) іони    3) електрони    4) нейтральні частинки

**9. Вкажіть апаратне оформлення для проведення гомогенних каталітичних процесів в системі Г-Р:**

- 1) башта з перегородками, піч з ежекторним пальником  
2) реактор з мішалкою, реактор з пневматичним перемішуванням  
3) апарат Вентурі, кожухотрубний апарат  
4) барботаажний апарат, колона з насадкою

**10. Вкажіть апаратне оформлення для проведення гетерогенних каталітичних процесів:**

- 1) башта з перегородками, піч з ежекторним пальником  
2) реактор з мішалкою, реактор з пневматичним перемішуванням  
3) з фільтруючим шаром, багатополічні, з киплячим шаром  
4) барботаажний апарат, колона з насадкою

**11. Вкажіть каталізатор для процесу окиснення  $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}$ :**

- 1) сплав Pt, Pd, Rh    2) солі Pd і Cu  
3)  $\text{ZnO} + \text{Cr}_2\text{O}_3$     4)  $\text{H}_3\text{PO}_4$  на носії

**12. Вкажіть каталізатор для процесу  $\text{CH}_2=\text{CH}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO}$ :**

- 1)  $\text{V}_2\text{O}_5$  з сульфатами лужних металів
- 2) солі Pd і Cu
- 3) Fe з промоторами ( $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  та ін.)
- 4)  $\text{ZnO} + \text{Cr}_2\text{O}_3$ ,
- 5)  $\text{H}_3\text{PO}_4$  на носії

**13. Вкажіть каталізатор для процесу  $\text{N}_2+3\text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{NH}_3$ :**

- 1)  $\text{V}_2\text{O}_5$  з сульфатами лужних металів
- 2) сплав Pt, Pd, Rh
- 3) Fe з промоторами ( $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  та ін.)
- 4)  $\text{ZnO} + \text{Cr}_2\text{O}_3$
- 5)  $\text{H}_3\text{PO}_4$  на носії

**14. Вкажіть каталізатор для процесу  $\text{CO}+2\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OH}$ :**

- 1)  $\text{V}_2\text{O}_5$  з сульфатами лужних металів
- 2) сплав Pt, Pd, Rh
- 3) солі Pd і Cu
- 4)  $\text{ZnO} + \text{Cr}_2\text{O}_3$
- 5)  $\text{H}_3\text{PO}_4$  на носії

**15. Вкажіть каталізатор для процесу  $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ :**

- 1)  $\text{V}_2\text{O}_5$  з сульфатами лужних металів
- 2) сплав Pt, Pd, Rh
- 3) солі Pd і Cu
- 4)  $\text{H}_3\text{PO}_4$  на носії

**16. Вкажіть каталізатор для процесу  $\text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COCH}_3$ :**

- 1)  $\text{ZnO}$  на вугіллі
- 2)  $\text{HgSO}_4$  (суспензія у рідині)
- 3) Ni
- 4) алюмосилікати, модифіковані магній оксидом
- 5) Ag

**17. Каталізатор процесу  $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{CHO}$ :**

- 1)  $\text{TiCl}_4+\text{AlR}_3$
- 2)  $\text{HgSO}_4$  (суспензія у рідині)
- 3) Ni
- 4) алюмосилікати, модифіковані магній оксидом
- 5) Ag

**18. Вкажіть каталізатор для процесу  $\text{CH}_4 \rightarrow \text{HCHO}$ :**

- 1)  $\text{TiCl}_4+\text{AlR}_3$
- 2)  $\text{ZnO}$  на вугіллі
- 3) Ni
- 4) алюмосилікати, модифіковані магній оксидом
- 5) Ag

**19. Вкажіть каталізатор для процесу  $\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{HCHO}$ :**

- 1)  $\text{TiCl}_4 + \text{AlR}_3$
- 2)  $\text{ZnO}$  на вугіллі
- 3) Ag
- 4) алюмосилікати, модифіковані магній оксидом

**20. Вкажіть каталізатор для процесу очищення нафтопродуктів від сполук Сульфуру:**

- 1) оксиди та сульфідни Мо та Со; Ni
- 2) Ni + Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- 3) Pt або Pd або Ni
- 4) Fe+Cu з промоторами або Со+ThO<sub>2</sub>+Mg або Fe
- 5) гопкаліт (суміш оксидів Mn, Cu, Со) або Pt або Pd

**21. Вкажіть каталізатор для процесу очищення газів від карбон(II) оксиду гідруванням:**

- 1) оксиди та сульфідни Мо та Со; Ni
- 2) Ni + Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- 3) Pt або Pd або Ni
- 4) Fe+Cu з промоторами або Со+ThO<sub>2</sub>+Mg або Fe
- 5) гопкаліт (суміш оксидів Mn, Cu, Со) або Pt або Pd

**22. Вкажіть каталізатор процесу гідрування ароматичних вуглеводнів:**

- 1) оксиди та сульфідни Мо та Со; Ni
- 2) Ni + Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- 3) Pt або Pd або Ni
- 4) Fe+Cu з промоторами або Со+ThO<sub>2</sub>+Mg або Fe
- 5) гопкаліт (суміш оксидів Mn, Cu, Со) або Pt або Pd

**23. Вкажіть каталізатор процесу одержання синтетичних бензинів з вуглеводнів:**

- 1) оксиди та сульфідни Мо та Со; Ni
- 2) Ni + Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- 3) Pt або Pd або Ni
- 4) Fe+Cu з промоторами або Со+ThO<sub>2</sub>+Mg або Fe
- 5) гопкаліт (суміш оксидів Mn, Cu, Со) або Pt або Pd

**24. Вкажіть каталізатор процесу окиснення при очищенні газів та повітря від карбон(II) оксиду:**

- 1) оксиди та сульфідни Мо та Со; Ni
- 2) Ni + Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- 3) Pt або Pd або Ni
- 4) Fe+Cu з промоторами або Со+ThO<sub>2</sub>+Mg або Fe
- 5) гопкаліт (суміш оксидів Mn, Cu, Со) або Pt або Pd

### Субтест «Логічний зв'язок»

(проаналізуйте твердження А та В окремо, встановіть наявність або відсутність логічного зв'язку між ними. Запропонуйте відповідь з використанням таблиці)

№	Твердження А	Твердження В	Зв'язок
1	вірно	вірно	вірно
2	невірно	вірно	невірно
3	вірно	невірно	невірно
4	невірно	невірно	невірно
5	вірно	вірно	невірно

25. Для збільшення швидкості процесів, які протікають в кінетичній області, застосовують каталізатори (твердження А), тому що вони зменшують енергію активації процесу (твердження В).
26. Каталізатори застосовують для здійснення зворотних екзотермічних процесів (твердження А), тому що вони зміщують рівновагу в бік утворення продуктів реакції (твердження В).
27. Каталізатори прискорюють швидкість прямій та зворотній реакції (твердження А), тому не є фактором зрушення рівноваги (твердження В).
28. Каталізатори прискорюють досягнення стану рівноваги (твердження А), тому широко застосовуються для здійснення зворотних процесів (твердження В).
29. При адсорбції отрут на поверхні каталізатору він незворотно втрачає активність (твердження А), тому що на поверхні утворюються стійкі сполуки (твердження В).
30. Деякі промотори підвищують активність каталізатора (твердження А), тому що утворюють з каталізатором тверді розчини з електронною структурою, яка відповідає більшій каталітичній активності (твердження В).

## Розділ II. Сировинна база хімічної промисловості

Вивчення розділу забезпечує формування умінь:

- оцінювати можливість переробки сировини в певні продукти хімічної технології;
- пояснювати вибір методів підготовки сировини для переробки в промисловості;
- аналізуючи склад, фізичні та хімічні властивості відходів оцінювати можливість використання їх в якості сировини хімічної промисловості.

### 2.1. Сировинна база хімічної промисловості

Вибір сировини для виробництва проводиться за показником приведених витрат, який повинен бути мінімальним і обчислюється за формулою:

$$Z_i = C_i + E_n K_i, \quad \text{де}$$

$C_i$  – собівартість одиниці продукції з  $i$ -того виду сировини, грн;

$K_i$  – питомі капіталовкладення, грн;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, рівний 0,12.

Собівартість готового продукту визначається як сума витрат на добування сировини, її збагачення, транспортування та переробку.

**Збагаченням** називається обробка мінеральної сировини з метою відділення корисної його частини від порожньої породи.

Для збагачення гірські породи подрібнюють і розділяють на фракції. Фракції, збагачені одним з корисних компонентів, називають **концентратом**. Фракції, що складаються з порожньої породи, називають **хвостами**.

Основними показниками збагачення є:

#### 1. Вихід концентрату ( $\eta_k$ )

$$\eta_k = \frac{m_k}{m_p}, \quad \text{де}$$

$m_k$  – маса концентрату, кг або т;

$m_p$  – маса руди, кг або т

2. **Ступінь концентрації основного компонента в продукті ( $\alpha$ )** показує в скільки разів збільшився процентний вміст корисного компонента в концентраті в порівнянні із сировиною.

$$\alpha = \frac{w_k}{w_c}, \quad \text{де}$$

$w_k$  – вміст корисного компонента в концентраті, %

$w_c$  – вміст корисного компонента в сировині, %



**3. Ступінь витягу корисної частини із сировини ( $\varepsilon$ )** – процентне відношення маси цієї частини в концентраті до маси її в сировині. Визначається за формулами:

$$\varepsilon = \frac{\eta_k w_k}{w_c} \quad \varepsilon = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100\% \quad \varepsilon = \eta_k \cdot \alpha, \text{ де}$$

$m_1$  – маса цільового компонента в сировині, кг або т;

$m_2$  – маса цільового компонента в концентраті, кг або т

Обчислення виходу концентрату основного продукту збагачення сировини необхідно вести з урахуванням залишкової кількості основної речовини в хвостах збагачення:

$$\eta_k = \frac{w_c - w_k}{w_k - w_x} \cdot 100\%, \text{ де}$$

$w_c$ ;  $w_k$ ;  $w_x$  – масова частка цільового компонента відповідно в сировині, концентраті і хвостах, %.

Одним з основних видів сировини у хімічній промисловості є вода. Вона також використовується як розчинник, каталізатор, теплоносії тощо.

Технологічними показниками якості води є: твердість, кислотність (рН), окислювальність, загальний вміст солей.

**Твердість води** визначається за кількістю солей магнію та кальцію, які розчинені в 1 (дм<sup>3</sup>) води.

Розрізняють твердість тимчасову (карбонатну), яка обумовлена присутністю у воді гідрогенкарбонатів, і постійну, яка обумовлена наявністю сульфатів, хлоридів та нітратів. Сума тимчасової і постійної твердості складає загальну твердість води. Кількісно твердість води виражається в ммольекв/дм<sup>3</sup>.

$$T_3 = T_k + T_{н.к.}$$

Загальну твердість визначають методом комплексонометричного титрування і розраховують за формулою:

$$T_3 = \frac{V_1 \times C_n \times 1000}{V_2} \quad , \text{ де}$$

$T_3$  – загальна твердість води, ммольекв/дм<sup>3</sup>;

$V_1$  – об'єм трилону Б, витраченого на титрування, мл

$C_n$  – нормальна концентрація трилону Б, ммольекв/л

$V_2$  – об'єм води, взятої для аналізу, мл.

Карбонатна (тимчасова) твердість визначається методом кислотно-основного титрування та розраховується за формулою:

$$T_k = \frac{V_1 \times C \times 1000}{V_2}, \text{ де}$$

$T_k$  – тимчасова твердість води, ммольекв/дм<sup>3</sup>;

$V_1$  – об'єм хлоридної або нітратної кислоти, витрачений на титрування, мл

$V_2$  – об'єм води, взятої для аналізу, мл

$C_n$  – концентрація розчину хлоридної або нітратної кислоти, ммольекв/л.

Некарбонатну твердість ( $T_{н.к.}$ ) розраховують як різницю між загальною і карбонатною:

$$T_{н.к.} = T_z - T_k$$

Для зниження твердості води її позбавляють солей твердості. Найбільш ефективним є іонообмінний метод. Він базується на іонообмінних реакціях, які протікають за участю іонітів. Як іоніти застосовують високомолекулярні смоли, що містять активні групи з іонами (катіоніти –  $H^+$ ,  $Na^+$  або  $NH_4^+$ ; аніоніти –  $OH^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ).

Основною характеристикою іонітів є ємність поглинання ( $E_n$ ). Вона визначається кількістю кальцій і магній катіонів, яка може бути поглинута 1 м<sup>3</sup> (або 1 кг) іоніту, та вимірюється в ммольекв на кг або м<sup>3</sup> катіоніту.

Повну робочу динамічну обмінну ємність (ДОЕ) катіоніту можна розрахувати за формулою:

$$ДОЕ = f \times v \times \tau \times T_6, \text{ де}$$

$v$  – швидкість фільтрування води, м<sup>3</sup>/год;

$\tau$  – час роботи фільтру, год;

$f$  – площа перерізу фільтру, м<sup>2</sup>;

$T_6$  – твердість води, ммольекв/дм<sup>3</sup>.

### Розрахункові задачі:

1. Визначте вихід концентрату, ступінь вилучення і концентрації міді, якщо при збагаченні мідної руди масою 5 т, що містить 1,5 % міді, отримують 200 кг концентрату, що містить 30 % Купруму.
2. Магнітний сепаратор горно-збагачувального комбінату переробляє за годину 160 т подрібненого титаномагнетиту. При цьому одержують магнітний продукт з виходом 38,1 % та ступенем вилучення заліза 72,1 %. Масова частка

заліза в руді 16,9 %, а в продукті – 32 %. Визначте масу концентрату і масу викидів, а також масову частку Феруму в них.

3. З 100 т поліметалічної руди було одержано 2240 кг мідного концентрату із ступенем концентрації 35,7 та 84 кг молібденового концентрату із ступенем концентрації 8,33. Масові частки Купруму і Молібдену в концентратах дорівнюють відповідно 25 % та 50 % відповідно. Визначте вихід концентратів та ступінь вилучення металів.
4. Порівняйте економічну доцільність виробництва сульфатної кислоти за даними таблиці з колчедану (варіанти 1 - 6) та сірки (варіанти 7 - 10). Врахувати, що колчедан збагачується в концентрат, який містить 45 % Сульфуру, а вміст Сульфуру у сірці 97 %.

Показник	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Експлуатаційні витрати, грн										
На добування 1 т сировини	8,5	8,7	8,8	8,2	8,3	8,6	40,0	38,8	40,2	40,4
На збагачення 1 т концентрату	6,0	5,2	4,8	6,2	6,0	5,8	-	-	-	-
На транспортування 1 т сировини	-	-	-	-	-	-	9,1	8,8	8,0	8,9
На транспортування 1 т концентрату	5,1	5,8	5,2	5,4	5,7	5,3	-	-	-	-
На переробку сировини, в перерахунку на 1 т H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7,0	7,0	6,8	6,8	6,9	6,9	13,0	13,0	12,0	12,0
Питомі капіталовкладення, грн.										
У добичу 1 т сировини	35,0	38,0	34,8	34,9	35,2	35,4	120	120	124	122
У збагачення 1 т концентрату	21,0	19,0	20,0	20,2	19,8	19,9	-	-	-	-
У виробництво 1 т H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	58,0	58,0	56,8	58,2	57,9	57,3	45,0	46,8	44,8	45,5
Витратні норми, т										
Сировини на 1 т концентрату	2,0	1,7	2,1	2,2	1,9	1,8	-	-	-	-
Сировини на 1 т H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	-	-	-	-	-	0,34	0,44	0,36	0,38
Концентрату на 1 т H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,8	0,8	0,7	0,7	0,9	0,9	-	-	-	-
Відстань транспортування, км										
Сировини	-	-	-	-	-	-	820	800	825	830
Концентрату	400	510	550	600	650	250	-	-	-	-

5. При флотації сільвініту утворюються галіто-глиністі відходи з масовою часткою  $KCl$  0,0227. Яка маса калій хлориду потрапить у відходи, якщо одержано галіто-глинистих відходів масою 1310 кг, що складає 0,695 масової частки вихідної кількості руди.
6. Яка маса цинкової руди, що містить 4,5 %  $ZnS$ , повинна перероблятися для річного виробництва цинку масою 10000 т, якщо в наслідок флотації руди одержують концентрат з масовою часткою цинку 0,4 при ступені вилучення 85 %, а вихід цинку в процесі переробки концентрату в цинк оксид, відновлення його і перегонки металу складає 92 % від теоретичного? Розрахувати масу концентрату цинку при виході 100 %.
7. Визначте вихід концентрату, ступінь вилучення та ступінь концентрації корисного компоненту при збагачення руди А. Маса руди, яка містить  $w_1(B)$  % корисного компоненту В, становить  $m(A)$  т. Маса концентрату  $m(K)$  т. Вміст корисного компоненту в концентраті  $w_2(B)$  %.

№	Руда А	$m(A)$ , т	Корисний компонент В	$w_1(B)$ , %	$m(K)$ , кг	$w_2(B)$ , %
1	Мідна руда	5	Мідь	1,5	200	30
2	Апатит-нефелінова	1	Апатит	44	410	97
3	Апатит-нефелінова	1	Нефелін	46	392	90
4	Сильвініт	2	Калій хлорид	25	480	98
5	Цинкова	15	Цинк	3,7	473	21
6	Титаномагнетит		Залізо	16.9		32
7	Марганцева	6	Манган	23	480	56
8	Магнітний залізник	12	Залізо	69		
9	Гематит	14	Залізо	62		

8. Визначити масу гашеного вапна, яку необхідно додати до 1000 л води, щоб усунути її тимчасову твердість, яка дорівнює 1,45 ммольекв/л.
9. Визначте тимчасову твердість води, в 1  $dm^3$  якої міститься 0,146 мг магній гідроген карбонату.
10. Визначте постійну твердість води, якщо на титрування карбонатів, що містяться в 250 мл води, використано 14 мл розчину хлоридної кислоти, молярна концентрація якого 0,1 моль/л, а загальна твердість дорівнює 5,2 ммоль/л.

11. Визначте час роботи колонки з Na-катіонітом до регенерації, якщо в неї потрапляє вода з твердістю 5,0 ммоль/л і швидкістю потоку 10 м<sup>3</sup>/год. Об'єм катіоніту 2 м<sup>3</sup>, його ємність поглинання 1200 моль/м<sup>3</sup>.
12. Протягом якого часу катіонітний фільтр з сульфовугіллям (обмінна ємність 500 моль/м<sup>3</sup>) буде робити без регенерації (до вичерпання обмінної ємності), якщо об'єм катіоніту у фільтрі 20 м<sup>3</sup>, об'єм води 50 м<sup>3</sup>/год. Твердість води 2,65 ммоль/л.
13. Якій об'єм катіоніту потрібно завантажити в катіонітні фільтри, якщо витрати води 5000 м<sup>3</sup>/доб і необхідно забезпечити безперервну роботу установки пом'якшення води протягом тижня (6 діб)? Обмінна ємність катіоніту 600 моль/м<sup>3</sup>, твердість води 4,5 ммоль/л. Скільки фільтрів потрібно включити в установку, якщо об'єм фільтру 25 м<sup>3</sup>?
14. Для визначення обмінної ємності сульфовугілля заповнили колонку об'ємом 200 л. До виявлення у воді іонів магнію через неї пропустили 13 л води з твердістю 6,75 ммоль/л. Визначте обмінну ємність катіоніту.
15. Обмінна ємність натрій-катіонітного фільтра діаметром 2,6 м і висотою 2,5 м 400 моль/м<sup>3</sup>. Якій об'єм води з твердістю 4,7 ммоль/л можна пом'якшити з використанням цього фільтра. Яка маса 3% розчину натрій хлориду знадобиться для його регенерації/
16. Для усунення твердості водопровідної води використовується катіонітна колонка об'ємом 0,4 м<sup>3</sup>. Через колонку пропускають воду твердість якої 12 моль/м<sup>3</sup> Ca<sup>2+</sup>. Об'ємна швидкість 8 м<sup>3</sup>/год. Визначте ємність катіоніту (моль/м<sup>3</sup>), враховуючі що колонка працює без регенерації 20 год, а вода пікся пом'якшення не містить солей твердості.
17. Через катіонітний фільтр, робочий об'єм якого становить 4,2 м<sup>3</sup> пропускають воду з об'ємною швидкістю 12 м<sup>3</sup>/год. Визначте ємність поглинання катіоніту, якщо твердість води, яка подається на фільтр становить 6 ммоль/л, а після пом'якшення – 0,01 ммоль/л. Фільтр працює без регенерації 60 годин.
18. Визначте масу катіоні та КУ-2, яку слід завантажити у катіонітний фільтр для 20 днів безперервної роботи. Ємність поглинання становить 2,2 моль/кг, продуктивність фільтру 70100 м<sup>3</sup> води за рік. Твердість води на вході – 6,61 ммоль/л, на виході – 0,01 ммоль/л.
19. Визначте середню твердість води, яку було помягшено з використанням катіонітного фільтра, що працював безперервно 30 днів. Ємність поглинання катіоніту становить 2,2 моль/кг, продуктивність фільтру 60500 м<sup>3</sup> води за рік. Маса катіоніту КУ-2 у фільтрі – 8000 кг.

## Тестові завдання

### Субтест «Обізнаність» (вказіть одну вірну відповідь)

**1. Вкажіть нерудну мінеральну сировину:**

- 1)  $\text{FeS}_2$       2)  $\text{CuFeS}_2$       3)  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$       4)  $\text{Al}_2\text{O}_3$

**2. Вкажіть рудну мінеральну сировину:**

- 1) глина      2) мідний блиск      3) азбест      4) пісок

**3. Вкажіть горючі мінеральні копалини:**

- 1) торф      2) халькозин      3) гіпс      4) барит

**4. Вкажіть вид сировини, яка використовується для виробництва металів:**

- 1) рудна      2) нерудна      3) горючі копалини      4) рослинна

**5. Вкажіть на різниці в яких фізико-хімічних властивостях концентрату та хвостів базується флотація:**

- 1) температура плавлення      2) розчинність  
3) здатність змочуватися      4) температура кипіння

**6. Вкажіть вид природної води, яка містить розчинені гази, солі твердості та не містить домішки органічного походження:**

- 1) підземні води      2) атмосферні води  
3) стічні води      4) поверхневі води

**7. Вкажіть вид природної води, яка містить розчинені гази, солі твердості та домішки органічного походження у достатній кількості:**

- 1) підземні води      2) атмосферні води      3) поверхневі води

**8. Вкажіть показник якості води, який визначається за вмістом органічних домішок:**

- 1) загальний вміст солей      2) кислотність води (рН)  
3) твердість      4) здатність до окиснення

**9. Вкажіть показник якості води, який визначається за вмістом солей кальцію та магнію:**

- 1) загальний вміст солей      2) кислотність води (рН)  
3) твердість      4) здатність до окиснення

**10. Вкажіть показник якості води, який визначається за сухим залишком:**

- 1) загальний вміст солей      2) кислотність води (рН)  
3) твердість      4) здатність до окиснення

**11. Вкажіть показник якості води, який визначається методом зворотного титрування після кип'ятіння зразка води з надлишком калій перманганату:**

- 1) загальний вміст солей      2) кислотність води (рН)  
3) твердість                      4) здатність до окиснення

**12. Вкажіть стадію водопідготовки, яка проводиться з використанням озону:**

- 1) дегазація                      2) пом'якшення      3) коагуляція      4) обеззаражування

**13. Вкажіть стадію водопідготовки, яка проводиться шляхом нагрівання води:**

- 1) дегазація                      2) пом'якшення  
3) коагуляція                      4) обеззаражування

**14. Вкажіть на якій стадії водопідготовки застосовуються електроліти:**

- 1) дегазація                      2) пом'якшення  
3) коагуляція                      4) обеззаражування

#### **Субтест «Аналогії»**

**(визначте причинно-наслідковий зв'язок в першій парі та підберіть поняття для другої пари)**

**15. Грохотіння : розмір кусків сировини = гравітаційне збагачення : ?**

- 1) здібність змочуватися водою      2) магнітна проникність  
3) електрична провідність              4) густина

**16. Грохотіння : розмір кусків сировини = флотація : ?**

- 1) здібність змочуватися водою      2) магнітна проникність  
3) електрична провідність              4) густина

**17. Електростатичне збагачення : електрична провідність = електромагнітне збагачення : ?**

- 1) здібність змочуватися водою      2) магнітна проникність  
3) розмір кусків сировини              4) густина

**18. Камери для осадження : мокре гравітаційне збагачення = сепаратор : ?**

- 1) флотація                                  2) електромагнітне збагачення  
3) грохочення                              4) флокуляція

**19. Тимчасова твердість :  $Mg(HCO_3)_2$  = постійна твердість : ?**

- 1)  $CaCl_2$                                       2)  $Ca(NO_3)_2$   
3)  $MgCO_3$                                   4)  $Mg_3(PO_4)_2$





**Субтест «Узагальнення»**  
(проаналізуйте поняття та вкажіть спільну ознаку)

36. Азбест, глина
37. Слюда, пісок
38. Кам'яне вугілля, сланці
39. Нафта, торф
40. Мідно-нікелеві руди, свинцево-цинкові руди
41. Фільтрація, знесолювання
42. Пом'якшення, відстоювання
43. Флотація, грохочення
44. Гідроциклон, флотаційна машина
45. Колектори, депресори
46. Активатори, регулятори
47. Кольоровість, загальний вміст солей
48.  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$
49.  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$
50. Схема переробки апатито-нефелінового концентрату, схема термічної переробки кам'яного вугілля
51. Повітря, вода
52. Ступінь вилучення, вихід концентрату
53.  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$

**Субтест «Ланцюги перетворень»**  
вкажіть поняття, які відповідають літерам А та В в запропонованій послідовності)

**54. Схема знесолювання води:**

**А → аніонітний фільтр → В → збірник води**

- |                       |              |
|-----------------------|--------------|
| 1) водорозподільник   | 2) сатуратор |
| 3) катіонітний фільтр | 4) дегазатор |

**55. Схема вапняно-содового засобу пом'якшення води:**

**водорозподільник → А → змішувач → В → відстойник → фільтр →  
кільцевий жолоб → дозатор**

- |                     |                        |
|---------------------|------------------------|
| 1) сатуратор        | 2) абсорбер            |
| 3) реакційна камера | 4) осаджувальна камера |

### Субтест «Логічний зв'язок»

**(проаналізуйте твердження А та В окремо, встановіть наявність або відсутність логічного зв'язку між ними. Запропонуйте відповідь з використанням таблиці)**

№	Твердження А	Твердження В	Зв'язок
1	вірно	вірно	вірно
2	невірно	вірно	невірно
3	вірно	невірно	невірно
4	невірно	невірно	невірно
5	вірно	вірно	невірно

56. Гематит є рудною сировиною (твердження А), тому що використовується для одержання чавуну (твердження В).
57. Сильвініт є рудною сировиною (твердження А), тому що містить металічний елемент Калій (твердження В).

### Розділ III. Виробництво основних продуктів хімічної промисловості

Вивчення даного розділу забезпечує формування умінь:

- обґрунтовувати вибір методів для здійснення певних процесів у промисловості з метою одержання основних продуктів неорганічного та органічного синтезу;
- обґрунтовувати умови, які будуть оптимальними для здійснення певних ХТП;
- пояснювати вибір апаратурного оформлення для здійснення певних ХТП;
- складати функціональні схеми виробництв основних процесів хімічної технології для обґрунтування технологічної схеми виробництва та її апаратурного оформлення;
- обґрунтовувати послідовність розміщення апаратів в технологічній схемі;
- пояснювати екологічні проблеми, які виникають при виробництві певних продуктів хімічної технології та можливі методи їх вирішення;
- розв'язувати розрахункові задачі виробничого змісту.

#### 3.1. Виробництво сульфатної кислоти

Таблиця 3.1. Фізичні властивості безводної сульфатної кислоти (моногідрат)

Густина (т/м <sup>3</sup> ) при 0 °С	1,85
Температура кипіння, °С	296,2
Температура кристалізації, °С	10,37
Масова частка H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> у водному азеотропному розчині	0,983
Температура кипіння азеотропного розчину (101,3 кПа), °С	336,5
Температура кипіння SO <sub>3</sub> (101,3 кПа), °С	44,7

Таблиця 3.2. Основні напрямки використання сульфатної кислоти

<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Виробництво мінеральних добрив
	Виробництво хімічних волокон
	Очищення нафтопродуктів
	Виробництво мінеральних кислот (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , HF)
	Виробництво барвників, пігментів, вибухових речовин
	Виробництво хроматів
	Виробництво спиртів, кислот, естерів
	Кольорова металургія
	Виробництво глюкози і патоки
	Травлення металів

Таблиця 3.3. Хіміко-технологічні процеси при виробництві сульфатної кислоти

Сировина	Хімічне рівняння та характеристика процесу	Апаратурне оформлення
Виробництво сульфур(IV) оксиду		
Пірит	$4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2 ; \Delta H = 3416 \text{ кДж}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• гетерогенний у системі Г-Т,</li> <li>• високотемпературний ,</li> <li>• екзотермічний,</li> <li>• некаталітичний,</li> <li>• протікає у внутрішньо дифузійній області,</li> <li>• необоротний,</li> <li>• оптимальні умови: <math>t = 800 - 900 \text{ }^\circ\text{C}</math>; атмосферний тиск</li> </ul>	Печі пиловидного випалу, печі КШ
Само-родна сірка	$\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2 ; \Delta H = 296 \text{ кДж}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• гомогенний у газовій фазі,</li> <li>• некаталітичний,</li> <li>• екзотермічний,</li> <li>• необоротний,</li> <li>• оптимальні умови: <math>t = 500 \text{ }^\circ\text{C}</math>; атмосферний тиск</li> </ul>	Циклонні розпилювальні печі
Виробництво сульфатної кислоти контактним способом		
Газ після стадії випалу	$\text{SO}_2 + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{SO}_3 ; \Delta H = 198 \text{ кДж}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• гетерогенного каталізу в системі Т-Г,</li> <li>• каталізатор – ванадієва контактна маса,</li> <li>• оборотний,</li> <li>• екзотермічний,</li> <li>• оптимальні умови: <math>t = 450 - 500 \text{ }^\circ\text{C}</math>; атмосферний тиск</li> </ul>	П'ятиполичний контактний апарат
Газ після стадії окиснення	$\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4 ; \Delta H = 198 \text{ кДж}$ $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{H}_2\text{SO}_4 \times \text{SO}_3 \text{ (олеум)}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• екзотермічний,</li> <li>• необоротний,</li> <li>• гетерогенний в системі Р-Г</li> <li>• оптимальні умови: використання азеопропу (98,3 % розчин <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math>)</li> </ul>	Моногідратний абсорбер, олеум ний абсорбер

## Розрахункові задачі:

### Характеристика сировини

Обчисліть масову частку сірковмісної сполуки або Сульфуру в сировині.

№	Масова частка сірковмісної сполуки	Масова частка Сульфуру	Масова частка домішок
1	$w(\text{FeS}_2) - ?$	0,36	–
2	$w(\text{FeS}_2) = 0,49$	?	–
3	$w(\text{FeS}_2) = 0,47$	–	?
4	$w(\text{FeS}_2) - ?$	?	0,06

### I стадія виробництва – одержання сульфур(IV) оксиду

1. Інтенсивність печі пиловидного випалу складає  $850 \text{ кг}/(\text{м}^3 \times \text{доб})$  колчедану. Діаметр печі – 3,8 м, висота – 10 м. Яка маса недогарку утворюється за тиждень, якщо колчедан містить 41 % Сульфуру. Ступень вигорання складає 98 %.
2. Визначте об'єм та склад (% за об'ємом) обжигового газу, який виходить з печі КШ за 1 годину. Продуктивність печі  $200 \text{ т}/\text{доб}$  сухого колчедану. Об'єм повітря, яке подається за годину, складає  $20000 \text{ м}^3$ . Колчедан містить 44 % Сульфуру і згоряє повністю.
3. Обжиговий газ, що одержано при випалі колчедану, має склад (за об'ємом):  $\text{SO}_2 - 10 \%$ ,  $\text{O}_2 - 11 \%$ ,  $\text{N}_2 - 79 \%$ . Розрахуйте надлишок повітря при його одержанні.
3. При спалюванні флотаційного колчедану в печі КШ утворилось  $720 \text{ кг}$  недогарку. Ступень вигорання піриту складає 95%. Яка маса піриту була спалена? Яку масу сульфатної кислоти з масовою часткою 0,98 можна одержати з цього піриту? Вважати, що колчедан не містить домішок.
4. Визначте об'єм повітря, необхідний для спалювання  $3000 \text{ м}^3$  газу, що містить 80 % сірководню. Надлишок повітря 1,3 по відношенню до стереометричної кількості.

### II стадія виробництва – окиснення сульфур(IV) оксиду

1. Газова суміш, яку одержано при випалюванні піриту, містить 9 % (за об'ємом) сульфур(IV) оксиду, 10 % кисню, 81 % азоту. Цю суміш пропустили через контактний апарат при температурі  $530 \text{ }^\circ\text{C}$  і тиску  $120 \text{ МН}/\text{м}^2$ . Після окиснення газова суміш містить 2 % (за об'ємом) сульфур(VI) оксиду. Обчисліть константу рівноваги ( $K_p$ ) реакції окиснення сульфур(IV) оксиду.

2. Розрахуйте підвищення температури в зоні реакції, якщо середня теплоємність газової суміші є постійною і складає  $1,382 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \times \text{К})$ . Склад газової суміші на вході в контактний апарат (% за об'ємом): 8 %  $\text{SO}_2$ , 11 %  $\text{O}_2$ , 81 %  $\text{N}_2$ . Ступінь перетворення 86 %. Розрахунок вести на  $100 \text{ м}^3$  газу. В результаті реакції виділяється  $94,4 \text{ кДж}/\text{моль}$  тепла.
3. Розрахуйте продуктивність каталізатора ( $\text{кг}/(\text{м}^3 \times \text{год})$ ) п'ятиполичного контактного апарату, якщо висота шарів каталізатору дорівнює: першого – 40 см, другого – 46 см, третього – 52 см, четвертого – 60 см, п'ятого – 68 см. Діаметр апарату 3,8 м. За добу апарат виробляє 240 т сульфур(IV) оксиду.
4. Константа швидкості реакції окиснення сульфур(IV) оксиду на ванадієвій контактній масі при температурі  $420 \text{ }^\circ\text{C}$   $2,46 \times 10^{-4}$ , а при  $400 \text{ }^\circ\text{C}$   $0,63 \times 10^{-4}$ . Розрахуйте енергію активації. В скільки разів збільшиться швидкість при підвищенні температури з  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $440 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### ***III стадія виробництва – абсорбція сульфур(VI) оксиду***

1. Визначте об'єм газу, який поступає в олеумний абсорбер, якщо на зрошення подається  $20000 \text{ кг}/\text{год}$  олеуму з масовою часткою 0,18. Концентрація олеуму після адсорбції 0,21. Ступень адсорбції сульфур(VI) оксиду 38 %, вміст його в газі 8 % (за об'ємом).
2. За годину в олеумному абсорбері поглинається  $3300 \text{ кг}$  сульфур(VI) оксиду. Визначте діаметр та висоту абсорберу, якщо коефіцієнт швидкості процесу абсорбції  $1,6 \times 10^{-4} \text{ кг}/(\text{год} \times \text{Па} \times \text{м}^2)$ , рушійна сила процесу  $5070 \text{ Па}$ , питома поверхня насадки  $85 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , коефіцієнт запасу 1,25, площа поперечного розрізу  $10 \text{ м}^2$ .
3. Доведіть, що масу моногідрату ( $m$ ) можна розрахувати за формулою:  $m = m_{\text{ол}}(1 + 0,225\omega_{\text{ол}})$ , де  $m_{\text{ол}}$  та  $\omega_{\text{ол}}$  – маса та масова частка вільного  $\text{SO}_3$  в олеумі.

### ***Повний цикл виробництва***

1. Визначте масу 18 % олеуму, який виробляється заводом за добу. Витрати колчедану  $98 \text{ тис т}/\text{рік}$ . Масова частка  $\text{FeS}_2$  в колчедані 0,94.
2. Сучасні системи виробляють до  $2000 \text{ т}$  за добу сульфатної кислоти у перерахунку на моногідрат. Скільки колчедану з вмістом Сульфуру 40 % необхідно для забезпечення системи. Яка маса недопалку при цьому утвориться, якщо ступінь вигорання колчедану 98%. Ступінь перетворення  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  – 0,997, абсорбції 0,995. Скільки оксидів Сульфуру викидається при цьому в атмосферу.

3. Яка маса 20 % олеуму необхідна для приготування  $m$  т С % кислоти, що застосовується у певному виробництві.

№	m, т	С, %	виробництво або процес
1	1000	68	фосфорних добрив
2	10	20	травлення металів
3	500	93	концентрування нітратної кислоти
4	20	75	очищення обжигового газу

### Розрахункове завдання

Складіть постадійний матеріальний баланс виробництва сульфатної кислоти. Розрахунок вести на 100 кг товарного продукту, врахувати, що абсорбцію сульфур(VI) оксиду здійснюють розчином кислоти з масовою часткою 0,98.

№	Товарний продукт	Сировина	Надлишок повітря	Ступень перетворення на стадії, %		
				Одержання SO <sub>2</sub>	Окиснення SO <sub>2</sub>	Абсорбція SO <sub>3</sub>
1	Олеум з масовою часткою SO <sub>3</sub> 0,20	Пірит з масовою часткою Сульфур 0,4	2,2	97	98	99
2	Олеум з масовою часткою SO <sub>3</sub> 0,18	Пірит з масовою часткою Сульфур 0,41	1,9	97	98	99
3	Олеум з масовою часткою SO <sub>3</sub> 0,14	Пірит з масовою часткою Сульфур 0,35	1,8	97	98	99
4	Олеум з масовою часткою SO <sub>3</sub> 0,18	Пірит з масовою часткою FeS <sub>2</sub> 0,92	2,2	97	99	99
5	Олеум з масовою часткою SO <sub>3</sub> 0,22	Пірит з масовою часткою FeS <sub>2</sub> 0,69	2,1	97	98	99
6	Олеум з масовою часткою SO <sub>3</sub> 0,20	Пірит з масовою часткою FeS <sub>2</sub> 0,86	1,9	96	98	98
7	Олеум з масовою часткою SO <sub>3</sub> 0,24	Пірит з масовою часткою FeS <sub>2</sub> 0,78	1,7	97	98	99
8	Моногідрат	Пірит з масовою часткою Сульфур 0,37	2,0	96	98	98

## Тестові завдання

### Субтест «Обізнаність» (вказіть одну вірну відповідь)

**1. Вкажіть мінерал, який містить  $\text{CuFeS}_2$ :**

- 1) мірабіліт      2) мідний блиск      3) мідний колчедан      4) пірит

**2. Вкажіть мінерал, який містить  $\text{FeS}_2$ :**

- 1) мірабіліт      2) мідний блиск      3) ангідрид      4) пірит

**3. Вкажіть мінерал, який містить  $\text{Cu}_2\text{S}$ :**

- 1) халькопірит      2) халькозин      3) гіпс      4) барит

**4. Вкажіть мінерал, який містить  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ :**

- 1) гіпс      2) халькопірит      3) ангідрид      4) пірит

**5. Вкажіть мінерал, який містить  $\text{CaSO}_4$ :**

- 1) мірабіліт      2) мідний блиск      3) ангідрид      4) пірит

**6. Вкажіть мінерал, який містить  $\text{PbS}$ :**

- 1) халькопірит      2) халькозин      3) свинцевий блиск      4) барит

**7. Вкажіть найбільш ефективний спосіб підвищення швидкості процесу випалу піриту:**

- 1) перемішування  
2) використання надлишку кисню  
3) підвищення температури  
4) збільшення площини поверхні реагуючих фаз

**8. Вкажіть значення енергії активації окиснення сульфур(IV) оксиду на ванадієвій контактній масі:**

- 1) 160 кДж/моль      2) 68 кДж/моль      3) 184 кДж/моль      4) 92 кДж/моль

**9. Вкажіть значення енергії активації окиснення сульфур(IV) оксиду на платиновому каталізаторі:**

- 1) 160 кДж/моль      2) 68 кДж/моль      3) 184 кДж/моль      4) 92 кДж/моль

**10. Вкажіть значення енергії активації окиснення сульфур(IV) оксиду на ферум(III) оксиді:**

- 1) 160 кДж/моль      2) 68 кДж/моль      3) 184 кДж/моль      4) 92 кДж/моль





**19. Вкажіть термохімічне рівняння випал піриту при надлишку кисню 1,6 - 1,8:**

- 1)  $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2 + 3416 \text{ кДж}$
- 2)  $3\text{FeS}_2 + 8\text{O}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{SO}_2 + 2440 \text{ кДж}$
- 3)  $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2 + 2440 \text{ кДж}$
- 4)  $3\text{FeS}_2 + 8\text{O}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{SO}_2 + 3416 \text{ кДж}$

**20. Вкажіть вміст сульфур(IV) оксиду в обжиговому газі, який одержано випалом піриту при двократному надлишку кисню (відсотки за об'ємом):**

- 1) 8 - 11 %
- 2) 18 - 20 %
- 3) 80 - 88 %
- 4) 48 - 58 %

**21. Вкажіть вміст сульфур(IV) оксиду в обжиговому газі який одержано спалюванням сірки при двократному надлишку кисню (відсотки за об'ємом):**

- 1) 8 - 11 %
- 2) 28 - 36 %
- 3) 14 - 16 %
- 4) 48 - 58 %

**22. Вкажіть апаратне оформлення для очистки обжигового газу:**

- 1) апарати Вентурі
- 2) трубчаті апарати
- 3) башти з насадкою
- 4) барботажні апарати

**23. Вкажіть фактори, які впливають на підвищення швидкості окиснення сульфур(IV) оксиду:**

- 1) каталіз
- 2) температура
- 3) тиск
- 4) перемішування

**24. Вкажіть склад ванадієвої контактної маси:**

- 1)  $\text{V}_2\text{O}_5$  (7 мас. %) активований  $\text{K}_2\text{O}$
- 2)  $\text{V}_2\text{O}_5$  (7 мас. %) активований  $\text{MgO}$
- 3)  $\text{V}_2\text{O}_5$  (7 мас. %) активований  $\text{CaO}$
- 4)  $\text{V}_2\text{O}_5$  (7 мас. %) активований синтетичними алюмосилікатами

**25. Вкажіть область протікання процесу згоряння піриту:**

- 1) кінетична
- 2) перехідна
- 3) зовнішньо дифузійна
- 4) внутрішньо дифузійна

**26. Вкажіть апаратне оформлення, яке не використовують в схемі виробництва сульфатної кислоти з сірки:**

- 1) контактний апарат
- 2) піч
- 3) абсорбер
- 4) електрофільтр

**27. Вкажіть можливу сировину для виробництва сульфатної кислоти:**

- 1) відходячи газу кольорової металургії
- 2) синтез-газ
- 3) прямий коксовий газ
- 4) зворотній коксовий газ

**28. Вкажіть склад недогарку:**

- 1) суміш оксидів заліза та міді, сульфїду заліза, кварцу та деяких алюмосилікатів
- 2) мінерал складу  $Fe_nS_{n+1}$
- 3) газ, що містить сульфур(IV) оксид, кисень та азот
- 4) мінерал складу  $FeS_2$

**29. Вкажіть умови, які не відповідають оптимальним для процесу випалу піриту:**

- 1) температура 850 - 1000 °C
- 2) розмір частинок піриту 0,03 - 0,3 мм
- 3) надлишок повітря 1,5 - 1,8 раз
- 4) каталізатор платина

**30. Вкажіть умови, які не відповідають оптимальним для процесу окиснення сульфур(IV) оксиду:**

- 1) температура 600 - 700 °C
- 2) каталізатор ванадієва контактна маса
- 3) тиск 0,1013 МПа
- 4) співвідношення  $O_2: SO_2 > 1$

**31. Вкажіть умови, які не відповідають оптимальним для процесу абсорбції сульфур(VI) оксиду:**

- 1) температура 60 - 70 °C
- 2) каталізатор ванадієва контактна маса
- 3) тиск 0,1013 МПа
- 4) абсорбент 98,3 - 98,6 % сульфатна кислота

**Субтест «Аналогії»**

(визначте причинно-наслідковий зв'язок в першій парі та підберіть поняття для другої пари)

**32.  $SO_2 \rightarrow SO_3$  (Pt):  $n = 1$ ,  $E = 68$  кДж/моль =  $SO_2 \rightarrow SO_3$  (без kat) : ?**

- 1)  $n = 3,0$ ,  $E > 300$  кДж/моль
- 2)  $n = 2,5$ ,  $E = 160$  кДж/моль
- 3)  $n = 1,8$ ,  $E = 92$  кДж/моль
- 4)  $n = 3,0$ ,  $E = 68$  кДж/моль

**33.  $SO_2 \rightarrow SO_3$  (Pt) :  $t < 350^\circ C$  =  $SO_2 \rightarrow SO_3$  ( $V_2O_5$ ) : ?**

- 1)  $t > 400^\circ C$
- 2)  $t > 600^\circ C$
- 3)  $t > 800^\circ C$
- 4)  $t > 300^\circ C$

**34. Нітрозний спосіб:  $NO_2$  = Контактний спосіб : ?**

- 1)  $SO_2$
- 2)  $V_2O_5$
- 3)  $H_3PO_4$
- 4)  $SO_3$

**35. Піч КШ : випал піриту = контактний апарат : ?**

- 1) очистка
- 2) абсорбція
- 3) окиснення
- 4) концентрування

**36. Випал піриту :  $SO_2$  = абсорбція : ?**

- 1)  $FeS_2$
- 2)  $SO_3$
- 3) олеум
- 4) розчин  $H_2SO_4$

**37. Випал піриту :  $\text{SO}_2$  = окиснення : ?**

- 1)  $\text{FeS}_2$     2)  $\text{SO}_3$     3) олеум    4) розчин  $\text{H}_2\text{SO}_4$

**Субтест «Класифікація»**

**(проаналізуйте запропоновані поняття; визначте поняття, які можна об'єднати в групу за певною ознакою; вкажіть поняття, що не відносяться до них)**

38. Пірит, самородна сірка, відходячі гази кольорової металургії, сірководень, мірабеліт
39. Платина, ферум(III) оксид, залізо, ванадій(V) оксид
40. Механічна полична піч, піч киплячого шару, піч з розпиленням твердого матеріалу, шахтна піч, циклонна піч
41. Олеум, купоросне масло, акумуляторна кислота, моногідрат, розчин сульфатної кислоти з масовою часткою 0,4
42. Виробництво суперфосфату, виробництво фосфатної кислоти, виробництво етилового спирту, виробництво аміачної селітри, виробництво крохмалю
43. Башта з розбризкуванням рідини, башта з насадкою, мокрий електрофільтр, гідроциклон

**Субтест «Узагальнення»**

**(проаналізуйте поняття та вкажіть спільну ознаку)**

44. Пірит, сірка
45. Спалювання сірки, випал піриту
46. Окиснення сульфур(IV) оксиду, абсорбція сульфур(VI) оксиду
47. Електрофільтр, промивна башта
48. Піч пиловидного випалу, піч киплячого шару
49. Підвищення температури, подрібнення піриту
50. Ванадієва контактна маса, ферум(III) оксид
51. Купоросне масло, акумуляторна кислота
52. Олеум, моногідрат

**Субтест «Ланцюги перетворень»**

**вкажіть поняття, які відповідають літерам А та В у запропонованій послідовності)**

**53. А → паровий котел → В → теплообмінник → моногідратний абсорбер**

- 1) гідратор    2) піч спалювання    3) сепаратор    4) контактний апарат

**54. Випал  $\rightarrow$  А  $\rightarrow$  окиснення  $\rightarrow$  В  $\rightarrow$  абсорбція**

- 1) охолодження 2) відновлення 3) очистка 4) теплообмін

**Субтест «Логічний зв'язок»**

**(проаналізуйте твердження А та В окремо, встановіть наявність або відсутність логічного зв'язку між ними. Запропонуйте відповідь з використанням таблиці)**

№	Твердження А	Твердження В	Зв'язок
1	вірно	вірно	вірно
2	невірно	вірно	невірно
3	вірно	невірно	невірно
4	невірно	невірно	невірно
5	вірно	вірно	невірно

55. При окисненні сульфур(IV) оксиду не використовують тиск як фактор зрушення рівноваги (твердження А), тому що процес екзотермічний (твердження В).
56. При окисненні сульфур(IV) оксиду не використовують тиск як фактор зрушення рівноваги (твердження А), тому що обжиговий газ містить до 60-70 % азоту (твердження В).
57. При окисненні сульфур(IV) оксиду не використовують тиск як фактор зрушення рівноваги (твердження А), тому що процес відбувається зі зменшенням об'єму (твердження В).
58. Зі зменшенням температури в процесі окиснення сульфур(IV) оксиду ( $500^{\circ}\text{C}$ ) активність платинового каталізатору зменшується (твердження А), тому що утворюється малоактивний сульфат ванаділу (твердження В).
59. Для абсорбції сульфур(VI) оксиду використовують розчин сульфатної кислоти з масовою часткою 0,983 - 0,986 (твердження А), тому що він є азеотропом і виявляє найкращі здібності до поглинання (твердження В).
60. Процес згоряння піриту протікає в кінетичній області (твердження А), тому що на поверхні зерен піриту утворюється шар оксиду який гальмує доступ кисню до поверхні (твердження В).
61. Процес згоряння піриту протікає в дифузійній області (твердження А), тому що загальна швидкість процесу визначається швидкістю дифузії газів в порах шару оксидів який утворюється на поверхні зерен піриту (твердження В).
62. Пірит збагачують методом флотації (твердження А), тому що зі збільшенням температури швидкість процесу випалу зростає (твердження В).

63. Технологічна схема виробництва сульфатної кислоти з колчедану ускладнюється (твердження А), тому що концентрація сульфур(IV) оксиду у обжиговому газі менша ніж при використанні сірки (твердження В)

### Субтест «Відповідність»

(проаналізуйте поняття запропоновані у стовпчиках та встановить відповідність)

64.

Загальні поняття

Поняття, які відносяться до виробництва  $H_2SO_4$

- |                      |                  |
|----------------------|------------------|
| А) сировина          | 1) обжиговий газ |
| Б) відходи           | 2) олеум         |
| В) цільовий продукт  | 3) недогарок     |
| Г) проміжний продукт | 4) пірит         |

65.

Процеси

Апаратурне оформлення

- |                                 |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| А) випалювання                  | 1) контактний апарат |
| Б) абсорбція                    | 2) промивна башта    |
| В) очистка обжигового газу      | 3) абсорбер          |
| Г) окиснення сульфур(IV) оксиду | 4) піч КШ            |

### 3.2. Виробництво синтетичного амоніаку

Таблиця 3.4. Фізичні властивості амоніаку

Густина ( $t/m^3$ ) при $0^\circ C$	0,6942
Температура кипіння, $^\circ C$	-33,35
Температура плавлення, $^\circ C$	-77,75
Розчинність в 1 літрі води при $0^\circ C$	899 г

Таблиця 3.5. Основні напрямки використання амоніаку

<b>NH<sub>3</sub></b>	Виробництво мінеральних добрив (карбамід, амоніачна селітра, амофос, амофоска, )
	Виробництво полімерів (поліуретани, поліаміди, поліакрилонітрил)
	Виробництво гербіцидів
	Виробництво уротропіну
	Сечовино-формальдегідні смоли
	Виробництво нітратної кислоти

Таблиця 3.6. Хіміко-технологічний процес виробництва синтетичного амоніаку

Сировина	Хімічне рівняння та характеристика процесу	Апаратурне оформлення
Азото-воднева суміш	$3\text{H}_2 + \text{N}_2 = 2\text{NH}_3 ; \Delta H = 112 \text{ кДж}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• гетерогенного каталізу у системі Г - Т,</li> <li>• каталізатор (залізо з промоторами),</li> <li>• високотемпературний (500 °С),</li> <li>• здійснюється під тиском (30 - 60 МПа),</li> <li>• екзотермічний,</li> <li>• протікає у дифузійній області,</li> <li>• оборотний</li> </ul>	колона синтезу

### Розрахункові задачі:

1. Розрахуйте склад (% за об'ємом) газу на виході з колони синтезу амоніаку, якщо ступінь перетворення азото-водневої суміші – 10 %.
2. Обчисліть склад (% за об'ємом) газу на виході з колони синтезу амоніаку, якщо на вході в колону до азото-водневої суміші додається циркуляційний газ, який зумовлює вміст амоніаку 2 %. Ступінь перетворення азото-водневої суміші – 12 %.
3. Яка продуктивність заводу виробництва амоніаку, якщо водневий цех має 10 генераторів, кожний продуктивністю 360 м<sup>3</sup>/год. Чистота водню – 97 %, виробничі втрати – 1 %.
4. Обчисліть скільки кДж теплоти виділиться при синтезі 1 т амоніаку, який здійснюють при температурі 773 К та тиску 30 МПа. Тепловий ефект реакції за зазначених умов становить 55,8 кДж/моль.
5. Обчисліть об'єм газу на виході з колони синтезу амоніаку, якщо у колону подається азото-воднева суміш об'ємом 100 м<sup>3</sup>. Ступінь перетворення становить 10 %.
6. Чи містить азото-воднева суміш домішки, якщо її середня молярна маса становить 8,5? Відповідь підтвердить розрахунками.
7. Обчисліть витратний коефіцієнт водню (м<sup>3</sup>/т) для виробництва амоніаку, якщо виробничі втрати становлять 2 %. Водень використовують при температурі 773 К під тиском 60 МПа.
8. Яку масу амоніаку можна одержати з 125 м<sup>3</sup> азото-водневої суміші (773 К, 30 МПа), якщо ступінь перетворення при багаторазової циркуляції становить 96 %.

## Тестові завдання

### Субтест «Обізнаність» (вказіть одну вірну відповідь)

#### 1. Ціанамідний спосіб фіксації азоту повітря:

- 1) утворення нітроген оксиду при температурі електричної дуги
- 2) пароповітряна конверсія природного газу
- 3) взаємодія кальцій карбід з азотом при високий температурі
- 4) одержання азотно-водневої суміші

#### 2. Дуговий спосіб фіксації азоту повітря:

- 1) утворення нітроген оксиду при температурі електричної дуги
- 2) пароповітряна конверсія природного газу
- 3) взаємодія кальцій карбід з азотом при високий температурі
- 4) одержання азотно-водневої суміші

#### 3. Вкажіть методи очистки азотно-водневої суміші від CO:

- 1) поглинання холодною водою під тиском, розчином моноетаноламіну, гарячим активованим розчином поташу
- 2) адсорбція активованим вугіллям, гідроксидом заліза
- 3) адсорбція оксидом цинку
- 4) абсорбція мідно-аміачним розчином, промивка рідким азотом, метанування

#### 4. Вкажіть методи очистки азотно-водневої суміші від CO<sub>2</sub>:

- 1) поглинання холодною водою під тиском, розчином моноетаноламіну, гарячим активованим розчином поташу
- 2) адсорбція активованим вугіллям, гідроксидом заліза
- 3) адсорбція оксидом цинку
- 4) абсорбція мідно-аміачним розчином, рідким азотом, метанування

#### 5. Вкажіть промотори залізного каталізатору синтезу амоніаку:

- 1) оксиди Феруму, Цинку та Міді
- 2) оксиди Алюмінію, Калію, Кальцію та Силіцію
- 3) алюміній, калій, магній та бор
- 4) гідроксиди алюмінію, кальцію, калію

#### 6. Вкажіть лімітуючу стадію гетерогенного каталізу синтезу амоніаку:

- 1) активована сорбція азоту
- 2) активована сорбція водню
- 3) перегрупування з утворенням проміжних сполук
- 4) десорбція амоніаку з поверхні каталізатору



**7. Вкажіть апарат для синтезу амоніаку:**

- 1) гідратор    2) нейтралізатор ВТН    3) колону синтезу    4) піч КШ

**8. Вкажіть параметри, які не відповідають оптимальним умовам каталітичної конверсії метану з водяним паром:**

- 1) температура 800 °С    2) співвідношення  $\text{CH}_4 : \text{H}_2\text{O} = 2 : 1$   
3) тиск 1 - 4 МПа    4) каталізатор нікель на оксиді алюмінію

**9. Вкажіть умови, які не відповідають оптимальним для процесу синтезу амоніаку при середньому тиску:**

- 1) температура 420 – 500 °С  
2) тиск 32 МПа  
3) об'ємна швидкість газової суміші 1500-2500 год<sup>-1</sup>  
4) каталізатор Fe з промоторами ( $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  та ін.)  
5) співвідношення  $\text{H}_2 : \text{N}_2 = 1 : 3$

**10. Вкажіть сполуки, які незворотно отруюють каталізатор синтезу амоніаку:**

- 1) сполуки Сульфуру    2) кисень та його сполуки ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ )  
3) азотно-воднева суміш    4) метан

**11. Вкажіть сполуки, які зворотно отруюють каталізатор синтезу амоніаку:**

- 1) сполуки Сульфуру    2) кисень та його сполуки ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ )  
3) азотно-воднева суміш    4) метан

**12. Вкажіть одну з проблем синтезу амоніаку за циклічною схемою:**

- 1) накопичення інертів  
2) низький вихід  
3) неповне виділення амоніаку з реакційної суміші  
4) зниження швидкості процесу по мірі приближення до стану рівноваги

**13. Вкажіть вплив підвищення температури на тепловий ефект реакції синтезу амоніаку:**

- 1) збільшується    2) не змінюється    3) зменшується

**14. Вкажіть вплив підвищення тиску на рівноважний вихід амоніаку:**

- 1) зменшується    2) зростає    3) не залежить від тиску

**15. Вкажіть вплив підвищення температури на рівноважний вихід амоніаку:**

- 1) зменшується    2) зростає    3) не залежить від тиску

### Субтест «Аналогії»

(визначте причинно-наслідковий зв'язок в першій парі та підберіть поняття для другої пари)

**16. Окиснення сульфур(IV) оксиду : поличний контактний апарат = синтез амоніаку : ?**

- 1) колона синтезу      2) нейтралізатор ВТН  
3) реактор КШ      4) гідратор      5) піч з ежекторним пальником

**17. CO<sub>2</sub> : поглинання холодною водою під тиском 1 – 2 МПа = CO : ?**

- 1) промивка рідким азотом  
2) поглинання розчином моноетаноламіну  
3) поглинання гарячим активованим розчином поташу  
4) адсорбція активованим вугіллям

**18. Рівноважний вихід амоніаку : підвищення температури = рівноважний вихід амоніаку : ?**

- 1) зниження температури      2) підвищення тиску  
3) зниження тиску      4) збільшення концентрації азоту

**19. Окиснення сульфур(IV) оксиду : ванадієва контактна маса = синтез амоніаку : ?**

- 1) нікель на оксиді алюмінію      2) оксид цинку      3) платина      4) залізо

**20. Окиснення сульфур(IV) оксиду : поличний контактний апарат = окиснення нітроген(II) оксиду : ?**

- 1) контактний апарат      2) колона синтезу  
3) газогенератор      4) електродугова піч

**21. Випал піриту : піч КШ = окиснення амоніаку : ?**

- 1) нейтралізатор ВТН  
2) контактний апарат  
3) колона синтезу  
4) башта з перегородками

**22. SO<sub>2</sub> → SO<sub>3</sub> : V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> з сульфатами лужних металів = NH<sub>3</sub> → NO : ?**

- 1) сплав Pt, Pd, Rh  
2) солі Pd і Cu  
3) Fe з промоторами (K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, CaO та ін.)  
4) ZnO + Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, д) H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> на носії

**23. Окиснення амоніаку без каталізатора : азот = окиснення амоніаку на платиновому каталізаторі : ?**

- 1)  $N_2O$       2)  $NO$       3)  $NO_2$       4)  $N_2O_3$

**24. Контактний апарат : котел утилізатор = підігрівач хвостових газів : ?**

- 1) камера спалювання      2) абсорбційна колона  
3) реактор каталітичної очистки      4) віддувочна колона

**Субтест «Класифікація»**

**(проаналізуйте запропоновані поняття; визначте поняття, які можна об'єднати в групу за певною ознакою; вкажіть поняття, що не відноситься до них)**

25. Реній, осмій, залізо, магній, уран

**Субтест «Узагальнення»**

**(проаналізуйте поняття та вкажіть спільну ознаку)**

26. Сполуки Сульфуру, оксиди Карбону

27. Залізо, уран, осмій, платина

**Субтест «Ланцюги перетворень»**

**вкажіть поняття, які відповідають літерам А та В у запропонованій послідовності)**

**28. Схема виробництва амоніаку при середньому тиску : колона синтезу → А → конденсатор → циркуляційний компресор → В → випаровувач**

- 1) холодильник    2) колона синтезу    3) конденсатор    4) конденсаційна колона

**Субтест «Логічний зв'язок»**

**(проаналізуйте твердження А та В окремо, встановіть наявність або відсутність логічного зв'язку між ними. Запропонуйте відповідь з використанням таблиці)**

№	Твердження А	Твердження В	Зв'язок
1	вірно	вірно	вірно
2	невірно	вірно	невірно
3	вірно	невірно	невірно
4	невірно	невірно	невірно
5	вірно	вірно	невірно

29. Синтез амоніаку проводять при температурі  $500^{\circ}C$  (твердження А), тому що з підвищенням температури рівновага реакції зрушується в бік одержання амоніаку (твердження В).

30. При синтезі амоніаку не використовують тиск як фактор зрушення рівноваги (твердження А), тому що реакція відбувається з збільшенням об'єму (твердження В).
31. Газ який використовують для синтезу амоніаку очищають від сполук Сульфуру та оксидів Карбону (твердження А), тому що вони є контактними отрутами для каталізатору (твердження В).
32. Каталізатором синтезу амоніаку можуть бути метали з незавершеними *d*- та *f*- енергетичними рівнями (твердження А), тому що згідно електронної теорії каталізу Нітроген віддає електрони каталізатору, а Гідроген їх приймає, при цьому встановлюється електронна рівновага (твердження В).
33. Об'ємну швидкість газу при синтезі амоніаку збільшують (твердження А), для збільшення ступені перетворення за один прохід по технологічному ланцюгу (твердження В).
34. Синтез амоніаку у промисловості ведуть при достатньо високих тиску та температурі (твердження А), тому що в основі процесу лежить зворотна екзотермічна реакція, яка відбувається зі зменшенням об'єму (твердження В).
35. Синтез амоніаку здійснюють за відкритою схемою (твердження А), тому що за один прохід по технологічному ланцюгу ступень перетворення складає 5 - 10 % (твердження В).
36. В колону синтезу амоніаку вводять холодний байпасний газ (твердження А), тому що необхідно підтримувати оптимальну температуру в зоні реакції (твердження В).
37. Хіміко-технологічний процес одержання амоніаку є гомогенним (твердження А), тому що азот і водень (складові азото-водневої суміші) є газами (твердження В).

### 3.3. Виробництво нітратної кислоти

Таблиця 3.7. Технологічні властивості нітратної кислоти

Густина (т/м <sup>3</sup> ) при 0 °С	1,513
Температура кипіння, °С	82,6
Температура кристалізації, °С	-41,6
Масова частка в азеотропному розчині	0,684
Температура кипіння азеотропного розчину, °С	120,7

Таблиця 3.8. Основні напрямки використання нітратної кислоти

<b>HNO<sub>3</sub></b>	Виробництво мінеральних добрив (нітрат амонію, нітрофос, нітрофоска)
	Виробництво полімерів (поліуретани, поліаміди, поліакрилонітрил)
	Виробництво вибухових речовин
	Кольорова металургія
	Виробництво нітролаків, пластичних мас
	Виробництво ракетного палива
	Виробництво ароматичних нітросполук, барвників

Таблиця 3.9. Хіміко-технологічний процес виробництва нітратної кислоти

Сировина	Хімічне рівняння та характеристика процесу	Апаратне оформлення
Синтетичний амоніак і повітря	$4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 = 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$ ; $\Delta H = - 907,3$ кДж <ul style="list-style-type: none"> <li>• гетерогенного каталізу у системі Г-Т,</li> <li>• каталізатор (платиново-родієві сітки),</li> <li>• високотемпературний (800 °С),</li> <li>• екзотермічний,</li> <li>• необоротний,</li> <li>• об'ємна частка амоніаку у суміші з повітрям становить 0,105...0,115</li> </ul>	контактний апарат
газ після окиснення амініаку	$2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$ ; $\Delta H = - 112,3$ кДж <ul style="list-style-type: none"> <li>• гомогенний у системі Г-Г,</li> <li>• некаталітичний,</li> <li>• екзотермічний,</li> <li>• оборотний</li> </ul>	окислювальна колона (доокислювач)
нітрозні газ	$3\text{NO}_{2(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{p})} = 2\text{HNO}_{3(\text{p})} + \text{NO}_{(\text{r})}$ ; $\Delta H = - 136$ кДж <ul style="list-style-type: none"> <li>• гетерогенний у системі Г-Р,</li> <li>• хемосорбційний,</li> <li>• некаталітичний,</li> <li>• екзотермічний,</li> <li>• оборотний</li> </ul>	адсорбційна колона

## Розрахункові задачі:

### *I стадія виробництва – каталітичне окиснення амоніаку*

1. При якому мольному співвідношенні амоніак : кисень амоніачно-повітряна суміш вибухає, якщо нижня межа (за вмістом амоніаку) – 13,8 % за об'ємом? Чи безпечно проводити каталітичне окиснення амоніаку повітрям при мольному співвідношенні, яке відповідає рівнянню хімічної реакції?
2. Обчисліть склад газу (% за об'ємом) після каталітичного окиснення амоніаку, якщо селективність каталізатора (платиново-родієві сітки) становить 96 %. Інша частина амоніаку окислюється до азоту. На окиснення подається амоніачно-повітряна суміш з вмістом амоніаку 10,5 % за об'ємом.
3. В реактор на окиснення подається суміш, що містить 11,8 т амоніаку, 36,3 т кисню, 113,0 т азоту. Визначте об'ємну частку амоніаку в амоніачно-повітряній суміші.
4. На окиснення подається 26000 м<sup>3</sup> (н.у.) амоніачно-повітряної суміші, що містить 8% амоніаку за об'ємом. Ступінь окиснення амоніаку 98 %. Визначте збільшення температури за рахунок реакції, якщо ентальпія реакції становить – 226,45 кДж/моль окисненого амоніаку. Середня теплоємність нітрозного газу 32,34 кДж/(кмоль×К).

### *II стадія виробництва – окиснення нітроген(II) оксиду*

5. Визначте тепловий ефект реакції окиснення нітроген(II) оксиду за термодинамічними даними (див. дані задачі 5).

### *III стадія виробництва – адсорбція нітроген(IV) оксиду*

6. Визначте концентрацію нітратної кислоти, яка збігає з першої тарілки абсорбційної колони, якщо в колону подається 1821 кг води та 27916 м<sup>3</sup>/год нітрозних газів, що містять 9 % NO<sub>2</sub>. Ступінь адсорбції 97 %. Адсорбцію проводять при атмосферному тиску та температурі 50 °С.
7. Обчисліть скільки теплоти виділяється за годину роботи абсорбційної колони при 30 °С. Продуктивність колони 520 т 63 % нітратної кислоти за добу.

Термодинамічні дані

Речовина	$\Delta H_f^0$ , кДж/моль	$C_p^0$ , Дж/(моль×К)
NO <sub>2</sub>	33,85	37,90
HNO <sub>3</sub>	-173,23	109,88
NO	90,37	106,83
H <sub>2</sub> O <sub>(р)</sub>	-285,84	75,30

8. Визначте витрати води (кг/год) на абсорбцію  $\text{NO}_2$  з нітрозного газу, який містить 9,5 % нітроген(IV) оксиду і подається в абсорбер зі швидкістю  $48000 \text{ м}^3/\text{год}$ . Ступінь абсорбції становить 98 %.

### ***Повний цикл виробництва***

9.  $20000 \text{ м}^3$  нітрозного газу складу: 7 % нітроген оксиду, 5 % кисню при температурі 313 К та тиску 1 атм за годину окиснюється на 85 %. Ступінь абсорбції нітроген(IV) оксиду – 90%. Скільки нітратної кислоти в перерахунку на 80 % одержується?
10. Який об'єм газової суміші, що містить 10,5 % амоніаку, необхідний для одержання 3 т 54 % нітратної кислоти за умови відсутності виробничих втрат.
11. Який об'єм амоніачно-повітряної суміші, що містить 10,5 % амоніаку за об'ємом, необхідний для одержання 2 т нітратної кислоти за відсутності виробничих втрат.
12. Яку масу нітроолеуму з масовою часткою  $\text{N}_2\text{O}_4$  0,15 можна получить з  $1000 \text{ м}^3$  нітрозного газу ( $40^\circ\text{C}$ , 1,4 ат) з об'ємною часткою нітроген(IV) оксиду 12 %.
13. Визначте ступінь окиснення амоніаку, якщо для одержання 1000 т (у перерахунку на 100 % за добу) нітратної кислоти на окиснення що години подається  $135000 \text{ м}^3$  (н.у.) амоніачно-повітряної суміші, яка містить 11,5 % за об'ємом амоніаку.
14. Визначте масу амоніаку та повітря, які необхідні для одержання 4000 кг 68 % натратної кислоти, якщо ступінь окиснення амоніаку 97 %, ступінь абсорбції оксидів нітрогену – 92 %. Амоніачно-повітряна суміш містить 11,5 % за об'ємом амоніаку.

### **Тестові завдання**

#### **Субтест «Обізнаність» (вказіть одну вірну відповідь)**

**1. Вкажіть сировину для виробництва нітратної кислоти:**

- 1) амоніак, повітря, вода                      2) амоніачна селітра, повітря  
3) азот, кисень, вода                         4) кальцій нітрат, повітря, вода

**2. Вкажіть після якого апарату у схемі виробництва нітратної кислоти знаходиться котел-утилізатор:**

- 1) окислювач                                      2) змішувач  
3) абсорбер                                         4) контактний апарат

**3. Платинові сітки (каталізатор) перетоплюються якщо їх маса зменшується на:**

- 1) 7 %      2) 20 %      3) 30 %      4) 50 %

**4. Вкажіть матеріал для фільтрів очистки повітря у виробництві синтетичного амоніаку:**

- 1) скловолокно    2) азбест    3) замша    4) вата

**5. Вкажіть концентрацію нітратної кислоти, яка виробляється з синтетичного амоніаку :**

- 1) 40 - 50 %    2) 50 - 60 %    3) 60 - 70 %    4) 70 - 80 %

**6. Вкажіть вміст амоніаку у його суміші з повітрям, яка вибухає за кімнатної температури:**

- 1) 27-35 об. %                      2) 10-16 об. %  
3) 35-51 об. %                      4) 16-27 об. %

**7. Вкажіть вплив збільшення тиску на швидкість окиснення нітроген(II) оксиду:**

- 1) не змінюється    2) збільшується    3) зменшується

**8. Вкажіть вплив збільшення температури на швидкість окиснення нітроген(II) оксиду:**

- 1) не змінюється    2) збільшується    3) зменшується

**9. Вкажіть зміну факторів, яка сприяє зміщенню рівноваги в бік утворення нітратної кислоти при абсорбції нітроген(IV) оксиду:**

- 1) збільшення температури та зниження тиску  
2) збільшення температури та тиску  
3) зменшення температури та тиску  
4) збільшення тиску та зниження температури

**10. Вкажіть речовину, яку використовують як водовіднімаючий засіб при концентруванні нітратної кислоти:**

- 1) магній нітрат                      2) калій хлорид  
3) фосфатна кислота                4) рідкій димер нітроген(IV) оксиду

**11. Вкажіть область протікання процесу окиснення амоніаку на платиновому каталізаторі:**

- 1) кінетична    2) дифузійна    3) перехідна



**12. Вкажіть область протікання процесу окиснення амоніаку на неплатиновому (оксидному) каталізаторі:**

- 1) кінетична 2) дифузійна 3) перехідна

**13. Вкажіть співвідношення  $\text{NH}_3 : \text{O}_2$  при одержанні нітроген(II) оксиду:**

- 1) 1 : 1,25 2) 1 : 1,8 3) 1 : 1 4) 1 : 1,5

**14. Вкажіть найважливішу властивість каталізатора окиснення амоніаку:**

- 1) стійкість до отрут 2) термічна стійкість  
3) селективність 4) низька температура запалювання

**15. Вкажіть умови, які не відповідають оптимальним для процесу окиснення амоніаку:**

- 1) температура  $700^\circ\text{C}$ ,  
2) тиск 0,2 - 1 МПа,  
3) каталізатор сплав Pt з 4 % Pd і 3 % Rh,  
4) співвідношення  $\text{O}_2 : \text{NH}_3 = 1,8 : 1$

**16. Вкажіть умови, які не відповідають оптимальним для процесу окиснення нітроген(II) оксиду:**

- 1) температура  $50^\circ\text{C}$   
2) тиск 1 МПа  
3) каталізатор сплав Pt з 4%Pd і 3%Rh  
4) надлишок кисню

**17. Вкажіть умови, які не відповідають оптимальним для процесу адсорбції нітроген(IV) оксиду не відповідає:**

- 1) температура  $50^\circ\text{C}$   
2) тиск 0,6 - 0,8 МПа  
3) каталізатор – відсутній  
4) абсорбент – розчин нітратної кислоти з масовою часткою 0,56

**18. Вкажіть умови, які не відповідають оптимальним для процесу одержання концентрованої нітратної кислоти методом прямого синтезу:**

- 1) температура 80 -  $90^\circ\text{C}$   
2) тиск 5 МПа  
3) каталізатор – сплав Pt з 4 % Pd і 3 % Rh  
4) надлишок кисню  
5) використання рідкого димеризованого нітроген(IV) оксиду

### Субтест «Аналогії»

(визначте причинно-наслідковий зв'язок в першій парі та підберіть поняття для другої пари)

19. Окиснення сульфур(IV) оксиду : поличний контактний апарат = окиснення нітроген(II) оксиду : ?

- 1) контактний апарат
- 2) колона синтезу
- 3) газогенератор
- 4) окислювальна колона

20. Випал піриту : піч КШ = окиснення амоніаку : ?

- 1) нейтралізатор ВТН
- 2) контактний апарат
- 3) колона синтезу
- 4) башта з перетинками

21.  $\text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_3$  :  $\text{V}_2\text{O}_5$  з сульфатами лужних металів =  $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}$  : ?

- 1) сплав Pt, Pd, Rh
- 2) солі Pd і Cu
- 3)  $\text{ZnO} + \text{Cr}_2\text{O}_3$
- 4)  $\text{H}_3\text{PO}_4$  на носії

22. Окиснення амоніаку без каталізатора : азот = окиснення амоніаку на платиновому каталізаторі : ?

- 1) нітроген(I) оксид
- 2) нітроген(II) оксид
- 3) нітроген(IV) оксид
- 4) нітроген(III) оксид

23. Контактний апарат : котел утилізатор = підігрівач хвостових газів : ?

- 1) камера спалювання
- 2) абсорбційна колона
- 3) реактор каталітичної очистки
- 4) віддувочна колона

### Субтест «Класифікація»

(проаналізуйте запропоновані поняття; визначте поняття, які можна об'єднати в групу за певною ознакою; вкажіть поняття, що не відноситься до них)

24. Контактний апарат, котел-утилізатор, грануляційна башта, окислювач з фільтром, абсорбційна колона

25. Амоніак, повітря, вода, нітратна кислота.

### Субтест «Узагальнення»

(проаналізуйте поняття та вкажіть спільну ознаку)

26. Окиснення амоніаку, окиснення нітроген(II) оксиду

27. Окиснення нітроген(II) оксиду, абсорбція нітроген(IV) оксиду

28. Сплав платини з паладієм та родієм, оксиди заліза та солі кобальту

**Субтест «Ланцюги перетворень»**

**вказіть поняття, які відповідають літерам А та В у запропонованій послідовності)**

**29. Схема виробництва розведеної азотної кислоти:**

**змішувач повітря та амоніаку → А → котел-утилізатор → окислювач нітрозних газів → В → реактор каталітичної очистки газових викидів**

- 1) контактний апарат                      2) ректифікаційна колона  
3) адсорбційна колона                    4) конденсатор

**Субтест «Логічний зв'язок»**

**(проаналізуйте твердження А та В окремо, встановіть наявність або відсутність логічного зв'язку між ними. Запропонуйте відповідь з використанням таблиці)**

№	Твердження А	Твердження В	Зв'язок
1	вірно	вірно	вірно
2	невірно	вірно	невірно
3	вірно	невірно	невірно
4	невірно	невірно	невірно
5	вірно	вірно	невірно

30. С підвищенням температури швидкість реакції окиснення нітроген(II) оксиду зменшується (твердження А), тому що вона протікає у дві стадії, перша з яких є зворотнім екзотермічним процесом (твердження В).

31. Випаровуванням з розведеної нітратної кислоти можна одержати лише 58 % розчин (твердження А), тому що ця концентрація відповідає азеотропній суміші  $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$  (твердження В).

32. Нітратна кислота є одним з багатотоннажних продуктів (твердження А), тому що вона використовується у виробництві багатотоннажного продукту - мінеральні добрива (твердження В).

33. У виробництві нітратної кислоти не застосовуються каталізатори (твердження А), тому що всі процеси протікають у дифузійній області (твердження В).

34. У виробництві нітратної кислоти високо селективний каталізатор застосовується на першій стадії виробництва (твердження А), тому що окиснення амоніаку без каталізатора приводить до утворення азоту (твердження В).

### 3.4. Виробництво фосфатних добрив та фосфатної кислоти

Таблиця 3.10. Сировина для виробництва фосфатних добрив та фосфатної кислоти

Назва руди	Хімічна формула	Основні домішки
Апатит: фторапатит гідроксилапатит хлорапатит	$\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ $\text{Ca}_5\text{Cl}(\text{PO}_4)_3$	Кальцій карбонат, сполуки Мангану, Феруму, Стронцію, Алюмінію, Торію
Фосфорит	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	Доломіт ( $\text{CaCO}_3 \times \text{MgCO}_3$ ), кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ), кварц ( $\text{SiO}_2$ ), халцедон ( $\text{SiO}_2$ ), алюмосилікати, пірит ( $\text{FeS}_2$ ), лімоніт ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \times 3\text{H}_2\text{O}$ )

Таблиця 3.11. Основні фосфатні добрива та їх характеристика (I – водорозчинні; II – розчинні в органічних кислотах; III – нерозчинні або розчинні в сильних мінеральних кислотах)

Назва добрива	Хімічна формула діючої речовини	Масова частка $\text{P}_2\text{O}_5$ що засвоюється, %	Група
Фосфоритна мука	$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \times \text{CaF}_2$	19 - 30	III
Суперфосфат простий	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$	19 - 21	I
Суперфосфат подвійний	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$	42 - 50	I
Преципітат	$\text{CaHPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	46 - 48	II
Металургійні шлаки	$4\text{CaO} \times \text{P}_2\text{O}_5 \times \text{SiO}_2$	8 - 16	III

Таблиця 3.12. Хіміко-технологічний процес виробництва простого суперфосфату

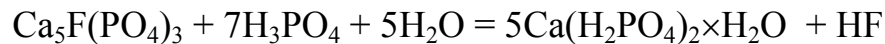
Сировина	Хімічне рівняння та характеристика процесу	Апаратурне оформлення
Фтор-апатит	$2\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3 + 7\text{H}_2\text{SO}_4 = 3\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 7\text{CaSO}_4 + 2\text{HF}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• гетерогенний в системі P - T,</li> <li>• низькотемпературний,</li> <li>• екзотермічний,</li> <li>• протікає у дифузійній області,</li> <li>• необоротний</li> </ul>	Суперфосфатна камера

Відходами виробництва простого суперфосфату є фосфогіпс ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  або  $\text{CaSO}_4 \times 1/2\text{H}_2\text{O}$  з домішками  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ).

**Гіпсове число** – відношення маси утвореного фосфогіпсу до маси сировини (фтор апатит або фосфорит).

$$g_z = \frac{m_{\text{фосфогіпса}}}{m_{\text{сировини}}}$$

Для одержання подвійного суперфосфату розклад проводять ортофосфатною кислотою:



Виробництво ортофосфатної кислоти здійснюють методами:

- екстракційний (одержують технічну кислоту з масовою часткою  $\text{H}_3\text{PO}_4$  до 0,36);
- електрохімічний (одержують 100%  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ).

### Розрахункові задачі:

1. Для одержання технічної ортофосфатної кислоти було використано фосфорит, який містить 25 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ . При цьому утворилось 3850 кг фосфогіпсу. Визначте масу розчину з масовою часткою ортофосфатної кислоти 0,35, якщо гіпсове число дорівнює 1,6. Вважайте, що розклад відбувся повністю.
2. Яка маса води необхідна на годину для утворення та розведення фосфатної кислоти, якщо маса фосфору, що спалюється 2350 кг/год, в башті уловлюється 53,2 % від загальної кількості  $\text{P}_2\text{O}_5$ , концентрація одержаної кислоти 73 %.
3. Для визначення масової частки  $\text{P}_2\text{O}_5$  в апатитовому концентраті наважка масою 1,306 г оброблялась царською горілкою. Розчин переливався у мірну колбу на 250 мл і відфільтровувався. З 50 мл фільтрату було осаджено іони  $\text{PO}_4^{3-}$  і одержано 0,1617 г  $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ . Обчисліть масову частку  $\text{P}_2\text{O}_5$  у зразку апатитового концентрату.
4. Визначте процентний вміст  $\text{P}_2\text{O}_5$  у флотаційному фосфориті, який переробляється у простий суперфосфат. Процес здійснюється у суперфосфатній камері діаметром 7,1 м, висотою 2,5 м та інтенсивністю  $14400 \text{ кг/м}^3$  за добу суперфосфату, який містить 15 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ . За годину переробляється 300 т фосфориту.
5. Визначте витрати фосфорної кислоти для повного розкладу 2 т апатиту, що містить 26 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Скільки при цьому виділиться фтороводню ( $T = 360 \text{ K}$ ,  $P = 2,5 \text{ атм}$ ).
6. Яку масу фосфориту, що містить 8% домішок, необхідно розкласти в електричній печі для одержання 1 т 73 % розчину ортофосфатної кислоти?

**Субтест «Обізнаність» (вкажіть одну вірну відповідь)**

**1. Вкажіть мінерал, який містить  $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ :**

- 1) халькопірит    2) апатит    3) нефелін    4) фосфорит

**2. Вкажіть мінерал, який містить  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ :**

- 1) фосфорит    2) апатит    3) нефелін    4) сильвініт

**3. Вкажіть сировину для виробництва фосфорних добрив:**

- 1) сильвініт та сильвін                      2) апатити, фосфорити  
3) мергелі                                        4) поліметалічні руди

**4. Основний метод одержання фосфорних добрив з природних мінералів:**

- 1) термічний розклад                      2) флотація  
3) хімічний розклад                        4) відновлення

**5. Вкажіть продукти першої стадії виробництва простого суперфосфату:**

- 1) гідроген фторид та кальцій дигідрогенфосфат  
2) гіпс, фосфатна кислота та гідроген фторид  
3) апатит та сульфатна кислота  
4) апатит та фосфатна кислота

**6. Вкажіть продукти другої стадії виробництва простого суперфосфату:**

- 1) гідроген фторид та кальцій дигідрогенфосфат  
2) гіпс, фосфатна кислота та гідроген фторид  
3) апатит та сульфатна кислота  
4) апатит та фосфатна кислота

**7. Вкажіть область протікання процесу одержання простого суперфосфату:**

- 1) кінетична    2) перехідна    3) дифузійна

**8. Вкажіть ступень перетворення сировини на першій стадії виробництва простого суперфосфату:**

- 1) 50 %    2) 70 %    3) 90 %    4) 30 %

**9. Вкажіть як змінюється розчинність солей фосфатної кислоти при збільшенні їх кислотності:**

- 1) зменшується    2) не змінюється    3) зростає

**10. Вкажіть можливі забруднювачі атмосфери на території підприємств, які виробляють фосфорні добрива:**

- 1)  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ , HF    2)  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$     3)  $\text{CO}_2$ , CO    4)  $\text{N}_x\text{O}_y$

**11. Вкажіть апаратне оформлення, яке не використовують в схемі виробництва фосфатної кислоти екстракційним способом:**

- 1) колона синтезу
- 2) екстрактор
- 3) вакуум-фільтр
- 4) дозатор

**12. Оптимальним умовам процесу виробництва простого суперфосфату періодичним способом не відповідає:**

- 1) температура 110 - 120 °С,
- 2) тиск 0,1013 МПа,
- 3)  $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,63$ ,
- 4) співвідношення твердої та рідкої фаз становить 1,0 : 10,0

**13. Оптимальна концентрація сульфатної кислоти при виробництві простого суперфосфату періодичним способом:**

- 1) 67 - 68 %
- 2) 63 - 64 %
- 3) 58 - 60 %
- 4) 23 - 24 %

**14. Оптимальна концентрація сульфатної кислоти при виробництві простого суперфосфату безперервним способом:**

- 1) 67 - 68 %
- 2) 63 - 64 %
- 3) 58 - 60 %
- 4) 23 - 24 %

**15. Не відповідає характеристиці першої стадії виробництва простого суперфосфату:**

- 1) гетерогенний
- 2) некаталітичний
- 3) екзотермічний
- 4) протікає в кінетичній області

**16. Сорбент для уловлювання газоподібних викидів виробництва простого суперфосфату:**

- 1) активоване вугілля
- 2) розчин моноетаноламіну
- 3) розчин лугу
- 4) розчин кислоти

**17. Суперфосфат змішують з вапняком з метою:**

- 1) попередження поліморфних перетворень
- 2) нейтралізації
- 3) одержання змішаних добрив
- 4) збільшення розчинності

**18. Подвійний суперфосфат відрізняється від простого:**

- 1) методом одержання
- 2) вмістом поживної речовини
- 3) сировиною для одержання
- 4) хімічною будовою

### Субтест «Класифікація»

**(проаналізуйте запропоновані поняття; визначте поняття, які можна об'єднати в групу за певною ознакою; вкажіть поняття, що не відносяться до них)**

19. Фторапатит, сильвініт, гідроксилапатит, фосфорит, металургійні шлаки  
20. Преципітат, фосфоритне борошно, карбамід, подвійний суперфосфат, металургійні шлаки  
21. Подвійний суперфосфат, калій хлорид, амоніачна селітра, калієва селітра, карбамід

### Субтест «Узагальнення»

**(проаналізуйте поняття та вкажіть спільну ознаку)**

22. Фосфорит, апатит  
23.  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ca}(\text{HPO}_4) \times 2\text{H}_2\text{O}$

### Субтест «Логічний зв'язок»

**(проаналізуйте твердження А та В окремо, встановіть наявність або відсутність логічного зв'язку між ними. Запропонуйте відповідь з використанням таблиці)**

№	Твердження А	Твердження В	Зв'язок
1	вірно	вірно	вірно
2	невірно	вірно	невірно
3	вірно	невірно	невірно
4	невірно	невірно	невірно
5	вірно	вірно	невірно

24. Основна задача виробництва фосфорних добрив – одержання з природних мінералів, які є кислими солями, середніх солей фосфатної кислоти (твердження А), тому що зі збільшенням кислотності солей їх розчинність у воді зменшується (твердження В).
25. Подвійний суперфосфат містить у двічі більше поживного елементу порівняно з простим (твердження А), тому що для його одержання використовують фосфатну кислоту і він не містить домішок (твердження В).
26. При виробництві простого суперфосфату утворюється фосфогіпс (твердження А), який є проміжним продуктом (твердження В).
27. При виробництві простого суперфосфату періодичним способом використовують 63 – 64 % сульфатну кислоту (твердження А), тому що це забезпечує максимальний ступінь розкладу сировини (твердження В).



### 3.5. Виробництво нітратних добрив

Основними нітратними добривами є : амоніачна селітра, карбамід (сечовина), водний розчин амоніаку. Їх поживна цінність характеризується вмістом Нітрогену.

Таблиця 3.13. Властивості нітратних добрив

Амоніачна селітра (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	
Агрегатний стан, колір	Тверда кристалічна речовина, білого кольору
Температура плавлення, °С	169,6
Розчинність у воді при 20 °С, г/на 100 г розчину	65,2
Розчинність у воді при 80 °С, г/ на 100 г розчину	86,4
Карбамід (NH <sub>2</sub> CONH <sub>2</sub> )	
Агрегатний стан, колір	Тверда кристалічна речовина, білого кольору
Температура плавлення, °С	132,7
Розчинність у воді при 20 °С, г/на 100 г розчину	52,0
Розчинність у воді при 80 °С, г/ на 100 г розчину	80,0

Таблиця 3.14. Хіміко-технологічний процес виробництва амоніачної селітри

Сировина	Хімічне рівняння та характеристика процесу	Апаратурне оформлення
NH <sub>3</sub> газ, розчин HNO <sub>3</sub>	$\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 = \text{NH}_4\text{NO}_3 ; \Delta H = 148 \text{ кДж}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• гетерогенний у системі Г- Р (хемосорбція),</li> <li>• некаталітичний,</li> <li>• екзотермічний,</li> <li>• протікає у дифузійній області,</li> <li>• необоротний</li> <li>• оптимальні умови: 58 - 62 % HNO<sub>3</sub></li> </ul>	Нейтралізатор ВТН (використання теплоти нейтралізації)

Таблиця 3.15. Хіміко-технологічний процес виробництва карбаміду

Сировина	Хімічне рівняння та характеристика процесу	Апаратурне оформлення
NH <sub>3</sub> газ, CO <sub>2</sub> газ	$2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 = \text{NH}_2\text{CONH}_2 + \text{H}_2\text{O}; \Delta H = 110,1 \text{ кДж}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• гетерогенний у системі Г- Р (хемосорбція),</li> <li>• некаталітичний,</li> <li>• екзотермічний,</li> <li>• протікає у кінетичній області,</li> <li>• складається з двох оборотних реакцій: (екзотермічне утворення карбамату і ендотермічний його розклад)</li> <li>• оптимальні умови: <math>t = 180 - 200 \text{ }^\circ\text{C}</math>; <math>P = 18 - 20 \text{ МПа}</math>; <math>\text{NH}_3 : \text{CO}_2 = 4 : 1</math></li> </ul>	Колона синтезу

**Розрахункові задачі:**

1. Синтез сечовини здійснюється з 120 % надлишком амоніаку. Чи достатньо води, яка виділяється в реакції, для зв'язування надлишку амоніаку в гідроксид амонію? Ступень перетворення карбамату у карбамід 90%.
2. Яку масу карбаміду можна одержати з 1000 л амоніаку (20 МПа, 298 К), якщо він використовується у 100 % надлишку? ступінь перетворення амоніаку в карбомат – 90 %, карбомату в карбамід – 70 %.
3. Яку масу води необхідно випарити при одержанні 200 т 97 % аміачної селітри, якщо використовується 53 % розчин нітратної кислота, 100 % амоніак.
4. Через 46 % розчин нітратної кислоти пропускають газоподібний амоніак до повної нейтралізації. Розрахуйте масову частку NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> в розчині. Чи достатньо теплоти реакції, щоб випарити всю воду? Вважати температуру розчину 100 °С, втрати тепла відсутні, теплота випаровування води 48,3 Дж/моль.
5. Визначте об'єми амоніаку та 49 % нітратної кислоти (густина 1,31 г/см<sup>3</sup>), необхідні для одержання 200 т гранульованої аміачної селітри, якщо на 1 т селітри витрачається 0,213 кг амоніаку та 0,8 кг 100 % нітратної кислоти.
6. Визначте вихід амоніачної селітри, якщо для одержання 28,05 т нітрату амонію витратили 29,586 т 57 % розчину нітратної кислоти (густина 1351 кг/м<sup>3</sup>).
7. Складіть матеріальний баланс виробництва 1 т 96 % амоніачної селітри, якщо для виробництва використовують 100 % амоніак, 54 % нітратну кислоту. Втрати амоніаку становлять 2 % (за масою), втрати кислоти – 1,5 %.

8. Обчисліть яка маса амоній сульфату може замінити 1 т амоніачної селітри, як нітратного добрива.

**Субтест «Обізнаність» (вказіть одну вірну відповідь)**

**1. Вкажіть промисловий спосіб одержання амоніачної селітри:**

- |                      |                  |
|----------------------|------------------|
| 1) термічний розклад | 2) флотація      |
| 3) хімічний розклад  | 4) нейтралізація |

**2. Не відповідає характеристиці процесу одержання карбаміду:**

- |                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
| 1) гомогенний    | 2) некаталітичний                |
| 3) в системі Г-Р | 4) протікає в кінетичній області |

**3. Оптимальним умовам процесу виробництва амоніачної селітри не відповідає:**

- |                                      |                    |
|--------------------------------------|--------------------|
| 1) температура 110 - 120 °С,         | 2) тиск 0,1013 МПа |
| 3) 58 - 60 % розчин HNO <sub>3</sub> | 4) Pt каталізатор  |

**4. Оптимальним умовам процесу синтезу карбаміду не відповідає:**

- |                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1) температура 180 - 200 °С | 2) каталізатор 98 % фосфатна кислота |
| 3) тиск 18 - 20 МПа         | 4) 100 % надлишок амоніаку           |

**5. Не відповідає характеристиці процесу одержання амоніачної селітри:**

- |                                  |                  |
|----------------------------------|------------------|
| 1) гетерогенний                  | 2) в системі Г-Р |
| 3) протікає в дифузійній області | 4) ендотермічний |

**6. Вкажіть з якою метою до амоніачної селітри додають борну кислоту:**

- |                                         |                           |
|-----------------------------------------|---------------------------|
| 1) попередження поліморфних перетворень | 2) нейтралізації          |
| 3) одержання змішаних добрив            | 4) покращення розчинності |

**7. Вкажіть спосіб використання теплоти екзотермічної реакції одержання амоніачної селітри:**

- |                                |                                      |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1) одержання пари              | 2) нагріву вихідних речовин          |
| 3) корисно не використовується | 4) для часткового випаровування води |

**Субтест «Аналогії»**

**(визначте причинно-наслідковий зв'язок в першій парі та підберіть поняття для другої пари)**

**8. Простий суперфосфат : Ca<sub>5</sub>F(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> = амоніачна селітра : ?**

- |                    |                                   |                                    |                         |
|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 1) NH <sub>3</sub> | 2) H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 3) NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> | 4) (NH <sub>2</sub> )CO |
|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|

**9. Амоніачна селітра :  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  = карбамід : ?**

- 1)  $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$     2)  $(\text{NH}_2)\text{CO}$     3)  $\text{CO}_2$     4)  $\text{NH}_3$

**10. Подвійний суперфосфат :  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$  = амоніачна селітра : ?**

- 1)  $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$     2)  $(\text{NH}_2)\text{CO}$     3)  $\text{CO}_2$     4)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$

**11.  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$  : суперфосфатна камера =  $(\text{NH}_2)\text{CO}$  : ?**

- 1) нейтралізатор ВТН    2) колона синтезу  
3) контактний апарат    4) грануляційна башта

**12.  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$  : суперфосфатна камера =  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  : ?**

- 1) нейтралізатор ВТН    2) колона синтезу  
3) контактний апарат    4) грануляційна башта

### **Субтест «Класифікація»**

**(проаналізуйте запропоновані поняття; визначте поняття, які можна об'єднати в групу за певною ознакою; вкажіть поняття, що не відноситься до них)**

13. Амофоска, нітроамофоска, амофос, суперфосфат, калієва селітра  
14. Подвійний суперфосфат, калій хлорид, амоніачна селітра, калієва селітра, карбамід  
15. Підігрівач, нейтралізатор ВТН, випарний апарат, абсорбер, грануляційна башта  
16. Гетерогенний, протікає в кінетичній області, температура 180 - 200 °С, тиск 18 - 20 МПа, надлишок вуглекислого газу

### **Субтест «Узагальнення»**

**(проаналізуйте поняття та вкажіть спільну ознаку)**

17. Карбамід, амоніачна селітра  
18. Карбамат амонію, карбамід амонію

### **Субтест «Ланцюги перетворень»**

**(вкажіть поняття, які відповідають літерам А та В в запропонованій послідовності)**

**19. Фрагмент схеми виробництва карбаміду:**

**змішувач → А → промивна колона → В → підігрівач → ...**

- 1) колона синтезу                      2) сеператор  
3) ректифікаційна колона    4) грануляційна башта

**20. Фрагмент схеми виробництва карбаміду:**

.... підігрівач → А → вакуум-випарний апарат → В → грануляційна башта

- 1) колона синтезу                      2) нейтралізатор  
3) ректифікаційна колона      4) збірник плаву

**21. Фрагмент схеми виробництва амоніачної селітри:**

підігрівач → А → донейтралізатор → В → гідрозатвор-донейтралізатор →  
збірник плаву → ....

- 1) випарний апарат                      2) грануляційна башта  
3) транспортер                              4) апарат ВТН

**22. Фрагмент схеми виробництва амоніачної селітри:**

....збірник плаву → промивна колона → А → апарат КШ для охолодження  
гранул → В

- 1) транспортер                              2) грануляційна башта  
3) підігрівач амоніаку                      4) апарат ВТН

**Субтест «Логічний зв'язок»**

**(проаналізуйте твердження А та В окремо, встановіть наявність або відсутність логічного зв'язку між ними. Запропонуйте відповідь з використанням таблиці)**

№	Твердження А	Твердження В	Зв'язок
1	вірно	вірно	вірно
2	невірно	вірно	невірно
3	вірно	невірно	невірно
4	невірно	невірно	невірно
5	вірно	вірно	невірно

23. В процесі синтезу карбаміду використовують надлишок амоніаку (твердження А), для збільшення виходу продукту (твердження В).
24. Температуру не використовують як фактор зрушення рівноваги при синтезі карбаміду (твердження А), тому що цей процес протікає у кінетичній області (твердження В).
25. Процес синтезу карбаміду є гомогенним (твердження А), тому що сировиною є газоподібні продукти: амоніак та вуглекислий газ (твердження В).
26. Синтез аміачної селітри протікає у кінетичній області (твердження А), тому що хімічна взаємодія компонентів протікає дуже швидко (твердження В).

### 3.6. Виробництво калійних добрив

Таблиця 3.16. Основні калійні добрива

Добриво	Формула діючої сполуки	Масова частка $K_2O$ , %
Калій хлорид	$KCl$	53,1 - 60,6
Каїніт	$KCl \times MgSO_4$	9,5 - 10,5
Калій сульфат	$K_2SO_4$	45,0 - 47,0
Калімагnezія	$K_2SO_4 \times MgSO_4$	28,0 - 30,0

Таблиця 3.17. Сировина для виробництва калійних добрив

Назва мінералу	Хімічна формула
Сильвін	$KCl$
Сильвініт	суміш $KCl$ та $NaCl$
Карналіт	$KCl \times MgCl_2 \times 6H_2O$
Каїніт	$KCl \times MgSO_4 \times 3H_2O$

#### Розрахункові задачі:

1. Визначте масову частку калій хлориду в зразку калійного добрива одержаного флотаційним збагаченням сильвініту, якщо вміст  $K_2O$  в ньому становить 53,1 %.
2. Визначте масову частку домішок в каїніті, якщо вміст  $K_2O$  становить 9,5%.
3. Карналіт масою 5,8 г з вмістом  $K_2O$  18% розчинили в 250 г води. Скільки грамів  $Na_3[Co(NO_2)_6]$  необхідно використати для повного осадження з одержаного розчину йонів Калію у вигляді  $K_2Na[Co(NO_2)_6]$ . Яка маса осаду утвориться?
4. В якому масовому співвідношенні необхідно змішати технічний калій хлорид з масовою часткою  $KCl$  0,92 та сильвініт з масовою часткою  $KCl$  0,22 для одержання калійної солі яка містить 30 %  $K_2O$ .
5. Суміш 9,8 г сильвініту і карналіту розчинили в воді. Після обробки утвореного розчину надлишком їдкого натру утворився осад, який відфільтрували і зважили, його маса становила 1,16 г. Визначте скільки грамів карналіту міститься в суміші, якщо у фільтраті залишилося 5% магнею.
6. Яка маса галітових відходів утвориться при виробництві 700 кг калійного добрива з сильвініту, який містить 25 % калій хлориду, 70 % натрій хлориду, 5 % домішок. Ступінь вилучення калій хлориду становить 90 %.
8. Під певну культуру на 1 га було внесено суміш, що містить подвійний суперфосфат, технічний калій хлорид та амоніачну селітру. Кількість поживних елементів склала: 70 кг  $P_2O_5$ , 20 кг  $K_2O$ , 140 кг Нітрогену. Визначте

масу подвійного суперфосфату, калій хлориду з масовою часткою KCl 0,95, амоніачної селітри з 15% домішками, для виготовлення суміші.

9. На 1 га внесено 40 т гною, який містить близько 0,6 % калій оксиду. Скільки калійного добрива, яке містить 35 % калій хлориду, потрібно, щоб замінити таку кількість гною.
10. Суміш масою  $m$  г, яка містить сильвініт і карналіт розчинили у воді. Після обробки утвореного розчину надлишком їдкого натру утворився осад, який відфільтрували і зважили, його маса становила 1,16 г. Визначте масову частку карналіту в суміші, якщо  $w$  % йонів Магнію залишилося у фільтраті.

№	1	2	3	4	5	6	7	8
$m$ , г	10,0	9,0	12,0	14,0	9,5	10,5	11	12,5
$w$ , %	6,0	5,0	2,0	1,0	4,0	3,0	2,5	3,5

11. В цеху грануляції продуктивністю 40 т/год виробляється нітроамофоска, яка містить 17 % N, 17 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 17 % K<sub>2</sub>O. Визначте потребу амоніаку (містить 99,5% NH<sub>3</sub>), аміачної селітри (97 % NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), фосфатної кислоти (містить 52% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), калій хлориду (97 % KCl).

### Субтест «Обізнаність» (вказіть одну вірну відповідь)

#### 1. Вкажіть мінерал, який містить KCl:

- 1) мірабіліт      2) сильвініт      3) апатит      4) сильвін

#### 2. Вкажіть мінерал, який містить калій хлорид та натрій хлорид:

- 1) мірабіліт      2) сильвін      3) сильвініт      4) нефелін

#### 7. Вкажіть сировину для виробництва калійних добрив:

- 1) сильвініт та сильвін      2) апатити, фосфорити  
3) мергелі      4) поліметалічні руди

#### 3. Вкажіть основний промисловий метод одержання калійних добрив (KCl):

- 1) термічний розклад      2) флотація  
3) хімічний розклад      4) нейтралізація

#### 4. Вкажіть назву мінералу, що містить KCl×MgCl<sub>2</sub>×6H<sub>2</sub>O:

- 1) мірабіліт      2) сильвініт      3) карналіт      4) сильвін

#### 5. Вкажіть назву мінералу, що містить KCl×MgSO<sub>4</sub>×3H<sub>2</sub>O:

- 1) каїніт      2) сильвініт      3) карналіт      4) сильвін

### Субтест «Класифікація»

(проаналізуйте запропоновані поняття; визначте поняття, які можна об'єднати в групу за певною ознакою; вкажіть поняття, що не відносяться до них)

6. Сильвініт, сильвін, каїніт, карналіт, нефелін

### Субтест «Узагальнення»

(проаналізуйте поняття та вкажіть спільну ознаку)

7. Сильвін, сильвініт

8. Флотація, галургія

### Субтест «Логічний зв'язок»

(проаналізуйте твердження А та В окремо, встановіть наявність або відсутність логічного зв'язку між ними. Запропонуйте відповідь з використанням таблиці)

№	Твердження А	Твердження В	Зв'язок
1	вірно	вірно	вірно
2	невірно	вірно	невірно
3	вірно	невірно	невірно
4	невірно	невірно	невірно
5	вірно	вірно	невірно

9. Розділення сильвініту методом галургії можливо (твердження А), тому що розчинність калій хлориду зі збільшенням температури не змінюється, а натрій хлориду зростає (твердження В).

### 3.7. Виробництво силікатних матеріалів

До штучних силікатних матеріалів відносять: в'язучі речовини (гіпс, магнезит, портландцемент, вапно), кераміку (цегла, фарфор, фаянс), безсилікатні матеріали, скло, ситали (кристалізовані скло).

Склад силікатних матеріалів подається формулою:



$n, m, p, q$  – цілі числа;

$R_2O$  – оксиди лужних металів;

$RO$  – оксиди лужноземельних або інших 2-х валентних металів;

$R_2O_3$  – оксиди Алюмінію, Бору або Феруму(III);

$RO_2$  – оксид Силіцію.

Формула будівельного (віконного скла) –  $Na_2O \times CaO \times 6SiO_2$ .

Фізико-хімічний процес одержання скла називається варка.



Таблиця 3.18. Процеси при варці скломаси

Температура	Назва процесу	Рівняння хімічних реакцій
до 300 °С	Виділення вологи та летких органічних речовин	–
до 400 °С	Утворення подвійних солей з карбонатів	$\text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{CaNa}_2(\text{CO}_3)_2$
340 - 900 °С	Силікатоутворення	$\text{CaNa}_2(\text{CO}_3)_2 + 2\text{SiO}_2 = \text{CaSiO}_3 + \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{CO}_2$
780 - 880 °С	Утворення рідкої фази за рахунок утворення евтектик різного складу	$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \times \text{SiO}_2$ , $\text{CaNa}_2(\text{CO}_3)_2 \times \text{Na}_2\text{CO}_3$
980 - 1150 °С	Утворення рідкої скломаси за рахунок розчинення в розплаві утворених силікатів	$\text{CaO} + \text{SiO}_2 = \text{CaSiO}_3$
1200 - 1240 °С	Склоутворення	–
1400 - 1500 °С	Гомогенізація і освітлення, виділення газів	–
1200 °С	Охолодження до необхідної в'язкості	–

Таблиця 3.19. Склад цементу

Назва компонентів	Хімічна формула	Масова частка, %
Аліт	$3\text{CaO} \times \text{SiO}_2$	55
Беліт	$2\text{CaO} \times \text{SiO}_2$	20
Алюмінат кальцію	$3\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3$	12
Алюмоферит(III) кальцію	$4\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Fe}_2\text{O}_3$	до 10

Таблиця 3.20. Характеристики цементу

Модуль	Формула для розрахунку
Силікатний	$n = \frac{\% \text{SiO}_2}{\% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3}$
Глиноземний	$p = \frac{\% \text{Al}_2\text{O}_3}{\% \text{Fe}_2\text{O}_3}$
Гідралічний	$n = \frac{\% \text{CaO}}{\% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3 + \% \text{SiO}_2}$

### Розрахункові задачі:

1. До складу портландцементу входить 55% аліту, 20% беліту, 12% трьохкальцієвого алюмінату, 10% чотирьохкальцієвого алюмофериту (за масою). Розрахуйте силікатний, гідравлічний та глиноземний модуль цементу.
2. Для одержання 1 т скла витрачається 650 кг піску, 185 кг соди, 109 кг натрій сульфату, 68 кг вапняку, 165 кг доломіту, 103 кг пігменту та 15 кг вугілля. Визначте загальну масу сировини для роботи печі, яка виробляє 200 т скломаси за добу, якщо 20 % продукту (за масою) вариться з склобою. Який об'єм займає шихта, якщо густина піску  $1800 \text{ кг/м}^3$ , соди  $900 \text{ кг/м}^3$ , натрій сульфату  $1000 \text{ кг/м}^3$ , вапняку  $1700 \text{ кг/м}^3$ , доломіту  $1700 \text{ кг/м}^3$ , пігменту  $1800 \text{ кг/м}^3$ , вугілля  $400 \text{ кг/м}^3$ .
3. Піч для варіння скла виробляє за добу 300 т скломаси. Довжина ванни печі 60 м, ширина 10 м, глибина 1,5 м. Визначте: річну продуктивність (360 діб); інтенсивність печі в  $\text{т}/(\text{м}^3 \times \text{доб})$  та в  $\text{т}/(\text{м}^2 \times \text{доб})$ . Скільки листів віконного скла (розмір  $1250 \times 700 \times 3$  мм, густина  $2500 \text{ кг/м}^3$ ) можна одержати зі скла що виробляється за місяць роботи печі.
4. При виробництві газобетону в якості газоутворювача застосовують алюмінієву пудру. При цьому відбувається взаємодія гашеного вапна з алюмінієм з утворенням трьохкальцієвого алюмінату гексагідрату та газоподібного водню. Розрахуйте об'єм водню (298 К, 0,1 МПа), якщо витрачено 300 г алюмінію. Визначте пористість бетонної маси (у %) при витраті 270 г алюмінію на  $1 \text{ м}^3$  газобетону.

### Субтест «Обізнаність» (вказіть одну вірну відповідь)

#### 1. Вкажіть хімічний склад віконного скла:

- |                                                                                              |                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1) $\text{Na}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 6\text{SiO}_2$                              | 2) $\text{K}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 6\text{SiO}_2$  |
| 3) $\text{Na}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 4\text{SiO}_2 \times 2\text{B}_2\text{O}_3$ | 4) $\text{Na}_2\text{O} \times \text{PbO} \times 6\text{SiO}_2$ |

#### 2. Вкажіть хімічний склад тугоплавкого скла:

- |                                                                                              |                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1) $\text{Na}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 6\text{SiO}_2$                              | 2) $\text{K}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 6\text{SiO}_2$  |
| 3) $\text{Na}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 4\text{SiO}_2 \times 2\text{B}_2\text{O}_3$ | 4) $\text{Na}_2\text{O} \times \text{PbO} \times 6\text{SiO}_2$ |

#### 3. Вкажіть хімічний склад скла з підвищеним променезаломленням:

- |                                                                                              |                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1) $\text{Na}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 6\text{SiO}_2$                              | 2) $\text{K}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 6\text{SiO}_2$ |
| 3) $\text{Na}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 4\text{SiO}_2 \times 2\text{B}_2\text{O}_3$ | 4) $\text{K}_2\text{O} \times \text{PbO} \times 6\text{SiO}_2$ |

**4. Вкажіть хімічний склад скла, що використовується для виготовлення хімічного посуду:**

- |                                                    |                                    |
|----------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1) кристалічний Si                                 | 2) $K_2O \times CaO \times 6SiO_2$ |
| 3) $Na_2O \times CaO \times 4SiO_2 \times 2B_2O_3$ | 4) $K_2O \times PbO \times 6SiO_2$ |

**5. Вкажіть хімічний склад кварцового скла:**

- |                                                    |                                    |
|----------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1) $K_2O \times PbO \times 6SiO_2$                 | 2) $K_2O \times CaO \times 6SiO_2$ |
| 3) $Na_2O \times CaO \times 4SiO_2 \times 2B_2O_3$ | 4) кристалічний Si                 |

**6. Вкажіть компонент кобальтового скла:**

- 1)  $Co_3O_4$     2)  $TiO_2$     3)  $AgCl$     4)  $Mn_2O_3$

**7. Вкажіть компонент «молочного» скла:**

- 1)  $Co_3O_4$     2)  $TiO_2$     3)  $AgCl$     4)  $Mn_2O_3$

**8. Вкажіть компонент сонцезахистного скла:**

- 1)  $Co_3O_4$     2)  $TiO_2$     3)  $AgCl$     4)  $Mn_2O_3$

**9. Виберіть правильну послідовність стадій у виробництві скла (П - обробка в електропечах, В - відпал, І - складання шихти, У - формування виробів, Н - механічна обробка):**

- |              |              |
|--------------|--------------|
| 1) П Ф У Н В | 2) Ф В Н У П |
| 3) П Ф У В Н | 4) Н Ф В У П |

**10. Вкажіть основну сировину для виробництва скла:**

- |                |            |
|----------------|------------|
| 1) білий пісок | 2) глина   |
| 3) поташ       | 4) нефелін |

**11. Виберіть характеристику ситалів (пірокерами, витрокерами):**

- 1) скло, яке отримано в присутності добавок, що прискорюють кристалізацію
- 2) скло, яке отримано в присутності добавок, що уповільнюють кристалізацію
- 3) скло, яке б'ється без утворення уламків
- 4) пориста кераміка

**12. Виберіть характеристику кислотостійкого цементу:**

- 1) суміш тонко подрібненого кварцового піску з активною кремнеземистою речовиною, що має високорозвинену поверхню, та з натрій силікатом
- 2) тонко подрібнений сплав бокситу з вапняком, із підвищеним вмістом алюміній оксиду
- 3) тонко подрібнений сплав глини з вапняком

**13. Виберіть характеристику глиноземистого цементу:**

- 1) суміш тонко роздрібненого кварцового піску з активною кремнеземистою речовиною, що має високорозвинену поверхню, та із натрій силікатом
- 2) тонко роздрібнений сплав бокситу з вапняком, із підвищеним вмістом алюміній оксиду
- 3) тонко роздрібнений сплав глини з вапняком

**14. Виберіть правильну послідовність стадій в технології одержання портландцементу (Ф – випал, П – подрібнення сировини, А – приготування суміші заданого складу, Р – подрібнення клінкеру, О – введення добавок):**

- 1) А П Ф Р О
- 2) Р Ф П О А
- 3) Ф П Р О А
- 4) Р А О Ф П

**15. Вкажіть принцип дії керамічних датчиків для визначення CO:**

- 1) зміна електричної провідності при адсорбції CO
- 2) зміна температури при адсорбції CO
- 3) зміна частоти вібрації при адсорбції CO
- 4) за допомогою керамічних датчиків CO визначити не можливо

**16. Вкажіть електроліт, який використано у натрій-сірчаних батареях (винайшов Камер 1968 р.):**

- 1) β- глинозем
- 2) розплав натрію
- 3) розплав сірки
- 4) карбід гафнію

**17. Вкажіть керамічні матеріали для виготовлення електродів, які застосовують для одержання металів:**

- 1) гафній карбід
- 2) плюмбум титанат
- 3) натрій поліалюмінат
- 4) частково відновлений титан(IV) оксид

**18. Вкажіть апаратурне оформлення, яке використовують для механічного змішування у виробництві кераміки:**

- 1) лопатеві мішалки, кульові і вібромлини
- 2) якірні мішалки і циклони
- 3) валкові, конусні дробарки і дезінтегратори
- 4) щоків дробарки

**19. Вкажіть апаратурне оформлення для випалу кераміки:**

- 1) печі КШ і пиловидного випалу
- 2) камерні, тунельні й обертові печі
- 3) каналні печі і печі безполум'яного горіння
- 4) ванні печі

**20. Вкажіть речовину з найбільшою температурою плавлення:**

- 1) вольфрам
- 2) алюміній оксид
- 3) гафній карбід
- 4) титан(IV) оксид

**21. Вкажіть стадію, яка в технології одержання кераміки попереджає введення пластифікатора:**

- 1) сушка шихти
- 2) перемішування і помел
- 3) попередній випал шихти
- 4) гранулювання

**22. Вкажіть стадію, яка в технології одержання кераміки попереджає формування виробу:**

- 1) сушка шихти
- 2) гранулювання
- 3) приготування шлікера
- 4) введення пластифікатору

**23. Виберіть сполуку, на основі якої створили першу технологічну кераміку:**

- 1) титан(IV) оксид
- 2) гафній карбід
- 3) кремній карбід
- 4) германій карбід

**24. Виберіть тиск при якому здійснюється пресування кераміки:**

- 1) 0,5 - 1 т/см<sup>2</sup>
- 2) 0,1 - 0,5 т/см<sup>2</sup>
- 3) 1 - 5 т/см<sup>2</sup>
- 4) 6 - 10 т/см<sup>2</sup>

**25. Виберіть характеристику внутрішньої структури скла:**

- 1) тверде кристалічне тіло
- 2) розчин із великою густиною
- 3) переохолоджений розплав
- 4) переохолоджена рідина

**26. Вкажіть склад бетону:**

- 1) суміш цементу з водою і наповнювачами
- 2) суміш вапна з водою і піском
- 3) суміш цементу з водою і вапном
- 4) суміш вапняку з гіпсом

**27. Вкажіть хімічний склад будівельного гіпсу:**

- 1) CaSO<sub>4</sub>×0,5 H<sub>2</sub>O
- 2) CaO×Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>×2H<sub>2</sub>O
- 3) CaSO<sub>4</sub>×2 H<sub>2</sub>O
- 4) CaSiO<sub>3</sub>

**28. Вкажіть спосіб уловлювання карбон(IV) оксиду, який утворюється при виробництві вапна:**

- 1) барботування через воду
- 2) поглинання розчином поташу в промивний башті
- 3) поглинання розчином амоній гідроксиду
- 4) не уловлюється і викидається в атмосферу

**29. Вкажіть характеристику кераміки:**

- 1) некристалічні матеріали, які одержують на основі глини
- 2) некристалічні матеріали, які одержують спіканням неметалічних порошків
- 3) полікристалічні матеріали, які одержують спіканням неметалічних порошків
- 4) полікристалічні матеріали, які одержують спіканням металічних порошків

**30. Вкажіть сполуки, які не входять до складу кераміки:**

- 1)  $\text{Al}_2\text{O}_3$       2)  $\text{P}_2\text{O}_5$       3)  $\text{B}_2\text{O}_3$       4)  $\text{SiO}_2$

**31. Вкажіть характеристику сіалону:**

- 1) твердий розчин кремній(IV) нітриду в алюміній оксиді
- 2) сплав кремній(IV) оксиду з алюміній оксидом
- 3) твердий розчин кремній(IV) оксиду в алюміній оксиді
- 4) сплав кремній(IV) нітриду з гафній(IV) карбідом

**32. Вкажіть температуру при якій обпалюють літій ферити:**

- 1) 600 - 700 °C      2) 700 - 800 °C      3) 800 - 900 °C      4) 900 - 1000 °C

**33. Вкажіть температуру при якій обпалюють поліалюмінатну кераміку:**

- 1) 600 - 700 °C      2) 700 - 800 °C      3) 800 - 900 °C      4) 900 - 1000 °C

**34. Вкажіть призначення дезінтеграторів у виробництві кераміки:**

- 1) для механічного змішування сировини
- 2) для подрібнення продукту випалу
- 3) для активації порошків
- 4) для ізостатичного пресування

**35. Вкажіть речовину, яка виявляє властивості сегнетоелектрика:**

- 1) барій(II) титанат      2) алюміній(III) оксид  
3) частково відновлений титан(IV) оксид      4) гафній(IV) карбід

**36. Вкажіть  $\beta$ -глинозем:**

- 1)  $\text{Na}_2\text{O} \times 11\text{Al}_2\text{O}_3$     2)  $\text{Na}_2\text{O} \times 14\text{Al}_2\text{O}_3$     3)  $\text{Na}_2\text{O} \times 12\text{Al}_2\text{O}_3$     4)  $\text{Na}_2\text{O} \times 13\text{Al}_2\text{O}_3$

**37. Вкажіть сполуку прозору у ІЧ діапазоні:**

- 1) барій(II) титанат
- 2) плюмбум(II) цирконат
- 3) кадмій(II) телурид
- 4) гафній(II) карбід

**38. Вкажіть сировину для виробництва цементу:**

- 1) сода, вапняк, білий пісок
- 2) мергелі, вапняк, крейда, глини
- 3) боксити, аліт, беліт
- 4) білий пісок, боксити, відходи виробництва чорних металів

**39. Вкажіть цемент, який є стійким до морської води:**

- 1) портландцемент
- 2) кислотостійкий
- 3) декоративний
- 4) глиноземистий

**40 Вкажіть полімер з якого одержують оргскло:**

- 1) поліетилен
- 2) поліакрилонітрил
- 3) полівінілбутираль
- 4) полістирол

**41. Вкажіть температуру плавлення віконного скла:**

- 1) 250 °C
- 2) немає визначеної температури плавлення
- 3) 150 °C
- 4) 400 °C

#### Субтест «Аналогії»

(визначте причинно-наслідковий зв'язок в першій парі та підберіть поняття для другої пари)

**42. Білий пісок : віконне скло = мергелі : ?**

- 1) функціональна кераміка
- 2) цемент
- 3) тугоплавке скло
- 4) будівельне скло

**43. Віконне (будівельне) скло :  $\text{Na}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 6\text{SiO}_2$  = тугоплавке скло : ?**

- 1)  $\text{Na}_2\text{O} \times \text{PbO} \times 6\text{SiO}_2$
- 2)  $\text{K}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 6\text{SiO}_2$
- 3)  $\text{Na}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 4\text{SiO}_2 \times 2\text{B}_2\text{O}_3$
- 4) кристалічний Si

**44. Віконне скло :  $\text{Na}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 6\text{SiO}_2$  = скло з підвищеною спроможністю до променезаломлення : ?**

- 1)  $\text{Na}_2\text{O} \times \text{PbO} \times 6\text{SiO}_2$
- 2)  $\text{K}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 6\text{SiO}_2$
- 3)  $\text{Na}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 4\text{SiO}_2 \times 2\text{B}_2\text{O}_3$
- 4) кристалічний Si

**45. Кобальтове скло :  $\text{Co}_3\text{O}_4$  = «молочне» скло : ?**

- 1)  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- 2)  $\text{TiO}_2$
- 3) AgCl
- 4)  $\text{Mn}_2\text{O}_3$

**46. Кобальтове скло :  $\text{Co}_3\text{O}_4$  = сонцезахисне скло : ?**

- 1)  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- 2)  $\text{TiO}_2$
- 3) AgCl
- 4)  $\text{Mn}_2\text{O}_3$

47. Оптичні прилади для запису інформації:  $\text{LiNdO}_3$  = фотоелектричні батареї : ?

- 1)  $\text{BaTiO}_3$     2)  $\text{SiO}_2$     3)  $\text{Al}_2\text{O}_3$     4)  $\text{CdSe}$

### Субтест «Класифікація»

(проаналізуйте запропоновані поняття; визначте поняття, які можна об'єднати в групу за певною ознакою; вкажіть поняття, що не відноситься до них)

48. Білий пісок, сода, натрій сульфат, глина, вапно

49. Вапняково-калієве скло, алюмоборосилікатне скло, ситали, емалі, фарфор

50.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  ,  $\text{V}_2\text{O}_3$  ,  $\text{SiO}_2$  ,  $\text{HfC}$

51. Аліт, беліт, мергелі, гіпс, білий пісок

### Субтест «Узагальнення»

(проаналізуйте поняття та вкажіть спільну ознаку)

52. Сода, вапно

53. Ситали, емалі

53. Білий пісок, натрій сульфат

54.  $\text{Li}_{14}\text{Zn}_2(\text{GeO}_4)_4$ ,  $\text{Na}_3\text{Zr}_2\text{Si}_2\text{PO}_{12}$

55.  $\text{LiNdO}_3$ ,  $\text{BaTiO}_3$

56.  $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{PbZrO}_3$  –  $\text{PbTiO}_3$

### Субтест «Логічний зв'язок»

(проаналізуйте твердження А та В окремо, встановіть наявність або відсутність логічного зв'язку між ними. Запропонуйте відповідь з використанням таблиці)

№	Твердження А	Твердження В	Зв'язок
1	вірно	вірно	вірно
2	невірно	вірно	невірно
3	вірно	невірно	невірно
4	невірно	невірно	невірно
5	вірно	вірно	невірно

57. Кераміка – це достатньо перспективний матеріал (твердження А), тому що технологія її одержання дуже проста (твердження В).

58. Кераміка дозволяє створювати матеріали з різними властивостями при однаковому хімічному складі (твердження А), тому що вона має кристалічну



будову, а розташування кристалів у просторі визначає властивості матеріалу (твердження В).

59. Барій(II) титанат може використовуватися як керамічний електроліт (твердження А), тому що він виявляє властивості сегнетоелектрика (твердження В).

60. Оксиди перехідних металів (Sn, Fe, Ti, W, Mn) не можливо використовувати як робочий матеріал для детекторів концентрації газів у повітрі (твердження А), тому що при хемосорбції газів фізичні властивості не змінюються (твердження В).

### 3.8. Виробництво чавуну та сталі

Таблиця 3.21. Сплави заліза

Назва	Вміст Карбону, %
Сталі:	0,20 - 2,14
низьковуглецеві	< 0,25
середньовуглецеві	0,25 - 0,60
високовуглецеві	> 0,60
Чавуни:	2,14 - 6,67

Таблиця 3.22. Мінерали Феруму

Назва	Хімічна формула основного компонента
Магнетит	$Fe_3O_4$
Гематит (червоний залізняк)	$Fe_2O_3$
Лімоніт	$2Fe_2O_3 \times 3H_2O$
Гетит	$Fe_2O_3 \times H_2O$
Сидерит	$FeCO_3$

Для виробництва чавуну здійснюють процес доменної плавки.

До складу шихти, яку завантажують в домну входять: руда, флюси, кокс.

Показником процесу доменної плавки є коефіцієнт використання корисного об'єму.

**Коефіцієнт використання корисного об'єму (КВКО)** – відношення корисного об'єму домни до середньодобової продуктивності.

$$КВКО = \frac{V}{П}, \text{ де}$$

$V$  – корисний об'єм домни,  $m^3$ ;

$П$  – середньодобова продуктивність, т/доб.

Об'єм домни обчислюють, як суму об'ємів двох зрізаних конусів, об'єм кожного з яких обчислюють за формулою:

$$V = \frac{\pi}{3} \times h \times (R^2 + r^2 + R \times r)$$

### Розрахункові задачі:

1. Обчисліть масу руди для виплавки  $m$  кг чавуну з масовою часткою заліза  $w(\text{Fe})$ , яка містить певний (див. табл.) мінерал, в якому  $w$  % пустої породи. З руди в чавун переходить  $n$  % заліза (за масою).

№	$m$ , кг	$w(\text{Fe})$ , %	Мінерал	$w$ , %	$n$ , %
1	1000	93	магнетит	25	97
2	500	94	гематит	30	98
3	700	96	лімонит	32	96
4	1000	97	гетит	38	95
5	400	95	сидерит	24	94
6	600	94	гематит	29	97

2. Діаметр колошника домни 8 м, розпару 12 м та дна горну 10 м. Висота від верхнього рівня засипки до розпару 20 м, а від розпару до дна горна 5 м. За добу з печі здійснюють 6 випусків чавуну по 600 т кожний. Визначте коефіцієнт використання корисного об'єму.
3. Яка маса ферум(II) оксиду прореагувала під час дефосфоризації 1200 кг чавуну, який містить 0,6 % Фосфору, якщо в продукті було знайдено 0,003 % Фосфору. Вихід сталі 94% від маси чавуну.
4. Доменний газ складу (% за об'ємом): 28 CO, 2 H<sub>2</sub>, 58 N<sub>2</sub>, 10 CO<sub>2</sub>, 2 CH<sub>4</sub> згоряє у нагрівачі в надлишку повітря 10 %. Знайдіть склад газу на виході з нагрівача.
5. Один із зразків руди містить  $w_1$  % мінералу А, другий –  $w_2$  % мінералу Б. З якої руди добувати залізо більш економічно доцільно?

№	мінерал А	мінерал Б	$w_1$ , %	$w_2$ , %
1	червоний залізняк	магнітний залізняк	70	82
2	сидерит	лімоніт	92	88

6. Із кожної тони залізної руди, що містить 80 % магнітного залізняку, виплавляють 570 кг чавуну, в якому міститься 5 % домішок. Визначте масову частку виходу заліза у % від теоретично можливого.

7. Яку масу заліза можна добути з піриту масою 150 кг, якщо масова частка  $\text{FeS}_2$  в ньому складає 40 %, а вихід продукту на кожній стадії виробництва становить 95 %?
8. Спалили 10 г сплаву заліза. При цьому виділився такий об'єм вуглекислого газу (н.у.), який можна одержати з питної соди ( $\text{NaHCO}_3$ ) масою 1,4 г. Обчисліть масову частку карбону в сплаві. До чавунів чи до сталей відноситься цей сплав?
9. Вважається рентабельною переробка руди на метал, якщо вміст Феруму в ній не нижчий 30 %, Купрум – не менше 0,5 %, Цинку – не менше 3 %. Аналіз наважки руди масою 100 г показав, що вона містить 0,0097 г цинк сульфід, 29 г ферум(II) карбонату і 7,45 г купрум(II) хлориду (решта – пуста порода). Визначте рентабельність переробки цієї руди по кожному металу.
10. Аналізуючи сплав заліза на вміст Карбону, у лабораторії спалили 20 г сплаву. При цьому виділилося 672 мл (н.у.) газової суміші, що містить сульфур(IV) оксид та карбон(IV) оксид в об'ємному співвідношенні 1 : 2. Обчисліть масові частки (%) Сульфуру та Карбону у вихідному сплаві.
11. Складіть матеріальний баланс виробництва 1 т чавуну, масова частка Карбону в якому становить 4 %, з сидериту з масовою часткою домішок ( $\text{SiO}_2$ ) 10,7 %. Відновлення здійснювали коксом, в якості флюсів використовували  $\text{CaCO}_3$ .
12. Феросплав містить залізо та інші метали. Масова частка Марганцю в сплаві, який називається феромарганцем, становить 70 %. Обчисліть масу манган(IV) оксиду, яку потрібно взяти для приготування 5 т феромарганцю. Відомо, що технічний манган(IV) оксид містить домішки, масова частка яких становить 30 %.

### Субтест «Обізнаність» (вказіть одну вірну відповідь)

1. **Вкажіть процес який називають «кипіння сталі»:**
  - 1) взаємодія ферум(II) оксиду з кремнієм
  - 2) виділення з рідкого металу карбон(II) оксиду
  - 3) виділення з рідкого металу карбон(IV) оксиду
  - 4) утворення цементиту при розчиненні карбону в залізі
2. **Вкажіть мету додавання розкислювачів до сталі в кінці варки:**
  - 1) поліпшення її якості і одержання легованої сталі
  - 2) відновлення розчиненого у сталі ферум(II) оксиду
  - 3) поліпшення процесу шлакоутворення
  - 4) підвищення техніко-економічних показників процесу варки сталі



**11. Вкажіть що являє цементит:**

- 1) твердий розчин вуглецю в  $\gamma$ -Fe
- 2) ферум карбід
- 3) евтектична суміш цементиту та фериту
- 4) твердий розчин вуглецю в  $\alpha$ -Fe

**12. Вкажіть процес, що відбувається у доменній печі при 400 - 600 °C:**

- 1) випаровування вологи
- 2) взаємодія кальцій оксиду з порожньою породою
- 3) розклад вапняку
- 4) розклад карбонатів заліза, магнію, мангану

**13. Вкажіть процес, що відбувається у доменній печі при 800 - 900 °C:**

- 1) взаємодія кальцій оксиду з порожньою породою
- 2) випаровування вологи
- 3) розклад карбонатів заліза, магнію, мангану
- 4) розклад вапняку

**14. Вкажіть процес, що відбувається у доменній печі при 1000 °C:**

- 1) випаровування вологи
- 2) взаємодія кальцій оксиду з порожньою породою
- 3) розклад вапняку
- 4) розклад карбонатів заліза, магнію, мангану

**15. Ступінь прямого відновлення заліза при проведенні процесу доменної плавки з збільшенням температури:**

- 1) зростає
- 2) не змінюється
- 3) зменшується
- 4) змінюється неоднозначно

**16. Для попередження переходу ферум оксиду в шлак в процесі доменної плавки:**

- 1) підвищують кислотність шлаку
- 2) підвищують основність шлаку
- 3) створюють надлишок карбон(II) оксиду
- 4) створюють надлишок карбон(IV) оксиду

**17. Вкажіть добавку до палива, яка підвищує температуру доменної плавки:**

- 1) водню
- 2) повітря
- 3) метану
- 4) кисню

**18. Вкажіть склад чавуну (до 700 °C), який містить 2 - 4,3 % Карбону:**

- 1) аустеніту та ледебуриту
- 2) перліту, ледебуриту та вторинний цементиту
- 3) перліту та вторинний цементиту
- 4) ледебуриту та вторинний цементиту

**19. Чавун (до 700 °С), який містить 4,3 - 6,67 % Карбону, складається з:**

- 1) аустеніту та ледеburиту
- 2) перліту, ледеburиту та вторинний цементиту
- 3) перліту та вторинний цементиту
- 4) ледеburиту та первинний цементиту

**20. Процес переробки чавуну в сталь полягає у:**

- 1) збільшенні в чавуні вмісту карбону, силіцію, мангану, сірки, фосфору
- 2) зменшенні в чавуні вмісту карбону, силіцію, мангану, сірки, фосфору
- 3) зміненні модифікації заліза
- 4) переводі частки вільного заліза в цементит

**21. Вкажіть перевагу виплавки сталі в електропечах:**

- 1) зменшенні собівартості одержаного продукту
- 2) простоті управління процесом
- 3) можливості одержання високоякісних легованих сталей
- 4) можливості використання дешевого апаратурного обладнання

**22. При виробництві чавуні в якості флюсів використовують:**

- 1) сидерит, плавковий шпат, гематит
- 2) доломіт, вапняк
- 3) апатит, нефелін
- 4) кокс

**23. Вкажіть частину доменної печі де найбільша температура:**

- 1) колошник
- 2) горн
- 3) шахта
- 4) розпар

**24. Вкажіть спосіб поліпшення якості сталі:**

- 1) вакуумна обробка
- 2) збільшення часу варки сталі
- 3) збільшення вмісту газів у сталі
- 4) збільшення вмісту Карбону

**25. Вкажіть магнітний залізняк:**

- 1)  $Fe_2O_3 \times FeO$
- 2)  $Fe_2O_3$
- 3)  $Fe_2O_3 \times nH_2O$
- 4) Fe,  $FeCO_3$

**26. Вкажіть гематит:**

- 1)  $Fe_2O_3 \times FeO$
- 2)  $Fe_2O_3$
- 3)  $Fe_2O_3 \times nH_2O$
- 4) Fe,  $FeCO_3$

**27. Вкажіть бурий залізняк:**

- 1)  $Fe_2O_3 \times FeO$
- 2)  $Fe_2O_3$
- 3)  $Fe_2O_3 \times nH_2O$
- 4) Fe,  $FeCO_3$

**28. Вкажіть шпатовий залізняк :**

- 1)  $Fe_2O_3 \times FeO$
- 2)  $Fe_2O_3$
- 3)  $Fe_2O_3 \times nH_2O$
- 4) Fe,  $FeCO_3$

**29. Вкажіть піролюзит:**

- 1)  $MnO_2$     2)  $Mn_3O_4$     3)  $MnCO_3$     4)  $MnO(OH)$

**30. Вкажіть гаусманіт:**

- 1)  $MnO_2$     2)  $Mn_3O_4$     3)  $MnCO_3$     4)  $MnO(OH)$

**31. Вкажіть основний промисловий спосіб одержання мангану:**

- 1) алюмінотермія    2) відновлення воднем    3) електроліз розплаву  
4) електроліз водного розчину солі

**32. Вкажіть основний мінерал Хрому:**

- 1) сидерит    2) піролюзит    3) хроміт    4) гаусманіт

**33. Вкажіть спосіб одержання хрому у промисловості:**

- 1) алюмінотермія    2) гідрометалургія  
3) відновлення коксом    4) електролізом

**34. Вкажіть спосіб одержання сплаву ферохром у промисловості:**

- 1) відновлення хроміту коксом    2) гідрометалургія  
3) відновлення хроміту коксом    4) електроліз розплаву хроміту

**35. Вкажіть сировину для виплавки сталі в мартенівських печах:**

- 1) рудні мінерали, кокс, флюси  
2) сірий чавун, метало скарб, флюси  
3) білий чавун, метало скарб, флюси, високоякісну залізну руду  
4) кокс, сірий чавун, флюси

**36. Вкажіть вміст Карбону в сталі:**

- 1) 2 - 6,67 %    2) 4,3 - 6,67 %    3) 2 - 4,3 %    4) 0,2 - 2 %

**37. Вкажіть металургійний процес, який здійснюється з використанням високих температур:**

- 1) гідрометалургія    2) порошкова металургія    3) пірометалургія

**38. Вкажіть вміст елементів, що відповідає чавуну феросиліцій:**

- 1) 12 - 20 % Mn    2) 10 - 12 % Si    3) 60 - 80 % Mn    4) 12 - 20 % Si

**39. Вкажіть вміст елементів, що відповідає чавуну фероманган:**

- 1) 12 - 20 % Mn    2) 10 - 12 % Si    3) 60 - 80 % Mn    4) 12 - 20 % Si

**40. Вкажіть вміст елементів, що відповідає дзеркальному чавуну:**

- 1) 12 - 20 % Mn    2) 10 - 12 % Si    3) 60 - 80 % Mn    4) 12 - 20 % Si

**41. КВКО (коефіцієнт використання корисного об'єму) дорівнює:**

- 1) відношенню продуктивності домни до корисного об'єму
- 2) відношенню інтенсивності роботи домни до повного об'єму
- 3) відношенню корисного об'єму до продуктивності домни
- 4) відношенню продуктивності домни до повного об'єму

**42. Виберіть склад шпатового залізняку:**

- 1) 50-70% заліза у вигляді магнетиту та домішки сірки, фосфору, мангану
- 2) 30-37% заліза, залізо карбонат, домішки сірки та фосфору
- 3) гідрати залізо (III) оксиду з змінним вмістом адсорбованої води
- 4) 70% заліза у вигляді гематиту та домішки сірки та фосфору

**43. Вкажіть апарати для нагріву повітря, що надається у доменну піч:**

- 1) Вентурі
- 2) камери
- 3) каупери
- 4) газогенератори

**44. Вкажіть зміну температури плавлення сталі зі збільшенням вмісту Карбону:**

- 1) зростає
- 2) зменшується
- 3) не змінюється
- 4) змінюється неоднозначно

**45. Вкажіть зміну температури плавлення чавуну зі збільшенням вмісту Карбону:**

- 1) зростає
- 2) зменшується
- 3) не змінюється
- 4) змінюється неоднозначно

**46. Вкажіть вміст Феруму при якому переробка руд вважається рентабельною:**

- 1) не менше 50%
- 2) не менше 10%
- 3) не менше 40%
- 4) не менше 30%

**47. Вкажіть вміст Цинку при якому переробка руд вважається рентабельною:**

- 1) не менше 0,3 %
- 2) не менше 3,0 %
- 3) не менше 30,0 %
- 4) не менше 40,0 %

**48. Вкажіть вміст Купруму при якому переробка руд вважається рентабельною:**

- 1) не менше 0,5 %
- 2) не менше 5,0 %
- 3) не менше 10,0 %
- 4) не менше 30,0 %



### Субтест «Аналогії»

(визначте причинно-наслідковий зв'язок в першій парі та підберіть поняття для другої пари)

**49. Фероманган : 60 - 80 % Mn = дзеркальний чавун : ?**

- 1) 12 - 20 % Mn      2) 10 - 12 % Si  
3) 20 - 40 % Mn      4) 12 - 20 % Si

**50. Фероманган : 60 - 80 % Mn = феросиліцій : ?**

- 1) 12 - 20 % Mn      2) 10 - 12 % Si  
3) 20 - 40 % Mn      4) 12 - 20 % Si

**51. Горн : 1800 °C = розпар : ?**

- 1) 250 °C      2) 400 - 800 °C      3) 900 °C      4) 1000 °C

**52. Горн : 1800 °C = шахта : ?**

- 1) 250 °C      2) 400 - 800 °C      3) 900 °C      4) 1000 °C

**53. Горн : 1800 °C = колошник : ?**

- 1) 250 °C      2) 400 - 800 °C      3) 900 °C      4) 1000 °C

**54.  $\gamma$ -Fe : аустеніт =  $\alpha$ -Fe : ?**

- 1) ферит      2) ледебурит      3) перліт      4) цементит

**55. Нікель : пластичність = манган : ?**

- 1) твердість      2) міцність при високих температурах  
3) корозійна стійкість      4) теплопровідність

**56. Нікель : пластичність = хром : ?**

- 1) твердість      2) міцність при високих температурах  
3) корозійна стійкість      4) теплопровідність

**57. 100 - 200 °C : випаровування води = 400 - 600 °C : ?**

- 1) розклад карбонатів заліза      2) шлакоутворення  
3) розклад вапняку      4) відновлення оксидів заліза

**58. 100 - 200 °C : випаровування води = 800 - 900 °C : ?**

- 1) розклад карбонатів заліза      2) шлакоутворення  
3) розклад вапняку      4) відновлення оксидів заліза

### Субтест «Класифікація»

**(проаналізуйте запропоновані поняття; визначте поняття, які можна об'єднати в групу за певною ознакою; вкажіть поняття, що не відноситься до них)**

- 65. Гематит, сидерит, магнетит, алуніт, шпатовий залізняк
- 66. Нефелін, боксити, алуніт, кріоліт, магнетит
- 67. Колошник, розпар, горн, шахта, каупер
- 68. Кокс, доломіт, шпатовий залізняк, галеніт, метан

### Субтест «Узагальнення»

**(проаналізуйте поняття та вкажіть спільну ознаку)**

- 69. Сталь, чавун
- 70. Доломіт, вапно
- 71. Гематит, магнетит
- 72. Халькопірит, галеніт
- 73. Пірометалургія, гідрометалургія
- 74. Вольфрам, молібден

### Субтест «Логічний зв'язок»

**(проаналізуйте твердження А та В окремо, встановіть наявність або відсутність логічного зв'язку між ними. Запропонуйте відповідь з використанням таблиці)**

№	Твердження А	Твердження В	Зв'язок
1	вірно	вірно	вірно
2	невірно	вірно	невірно
3	вірно	невірно	невірно
4	невірно	невірно	невірно
5	вірно	вірно	невірно

- 78. Галеніт використовують для одержання чавуну (твердження А), тому що він містить залізо (твердження В).
- 79. Доменна піч має форму двох скошених конусів (твердження А), тому що потрібно забезпечити найбільш інтенсивне протікання процесу відновлення заліза (твердження В).
- 80. Пряме виробництво заліза з руд з високим вмістом феруму не можливе (твердження А), тому що сталь одержують тільки переробкою чавуну (твердження В).

### 3.9. Електрохімічні виробництва

Електрохімічні процеси використовуються для: одержання неорганічних та органічних продуктів, очищення (рафінування) металів, у гальванопластиці та гальванотехніці.

Електрохімічні виробництва характеризуються рядом показників: вихід за струмом, ступінь використання енергії, кількістю енергії для одержання одиниці маси продукту.

**Вихід за струмом** – відношення маси фактично одержаного продукту до маси продукту, яку можна одержати теоретично (обчислюється за законом Фарадея).

$$\eta_I = \frac{m_{np}}{m_{теор}} \times 100\%, \text{ де}$$

$\eta_I$  – вихід за струмом, %;

$m_{np}$  – маса практично одержаного продукту, кг або т;

$m_{теор}$  – маса продукту обчислена за законом Фарадея, кг або т.

Математичний вираз закону Фарадея:

$$m = k \times I \times \tau, \text{ де}$$

$k$  – електрохімічний еквівалент, який обчислюється як відношення еквівалентної маси речовини до числа Фарадею (26,8 (А×год)/моль);

$I$  – сила струму, А

$\tau$  – час проведення електролізу, год.

**Ступінь використання енергії** – відношення теоретично необхідної енергії до практично використаної.

$$\mu = \frac{W_{теор}}{W_{np}} \times 100\%, \text{ де}$$

$\mu$  – ступінь використання енергії, %;

$W_{теор}$  – теоретично необхідна енергія, Вт;

$W_{np}$  – практично використана енергія, Вт.

Кількість енергії для одержання одиниці маси продукту обчислюється за формулою:

$$W = \frac{V \times I \times \tau}{m}, \text{ де}$$

$W$  – енергія, Вт/т

$I$  – сила струму, А

$V$  – напруга, В

$m$  – маса одержаного продукту, т.

### 3.9.1. Виробництво гідроксиду натрію та хлору

Таблиця 3.23. Способи промислового виробництва гідроксиду натрію, хлору та водню з водного розчину натрій хлориду

Електроліз з твердим сталевим катодом	Електроліз з ртутним катодом
$(-)\text{К} : 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ $(+)\text{А} : 2\text{Cl}^- - 2\text{e} \rightarrow \text{Cl}_2$	У першому електролізері: $(-)\text{К}(\text{Hg}) : \text{Na}^+ + \text{e} \rightarrow \text{Na}^0 (\text{Hg}_n\text{Na})$ $(+)\text{А} : 2\text{Cl}^- - 2\text{e} = \text{Cl}_2$
NaOH накопичується в катодному просторі, який відділено від анодного діафрагмою	У другому електролізері (розкладач): $(-)\text{К} : 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ $(+)\text{А} : \text{Na}^0 - 1\text{e} \rightarrow \text{Na}^+$

#### Розрахункові задачі:

- Скільки часу повинен працювати електролізер БГК-17-25 для одержання  $1000 \text{ м}^3$  хлору ( $P = 1 \text{ ат}$ , температура  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ), якщо вихід за струмом  $96 \%$ , сила струму  $30 \text{ кА}$ ?
- Визначте недільну потребу підприємства у залізничних цистернах навантаженням  $50 \text{ т}$  для транспортування рідкого хлору, якщо на підприємстві діє 4 серії електролізерів БГК-17-50 по 65 штук у кожній серії. Навантаження електролізера  $50 \text{ кА}$ , вихід за струмом  $64 \%$ .
- В горизонтальному розкладачі, куди потрапляє за годину  $20 \text{ т}$  амальгами натрію, виділився водень об'ємом  $70 \text{ м}^3$  ( $P = 1 \text{ ат}$ , температура  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Визначте масову частку натрію в амальгамі.
- Скільки ванн повинно бути в цеху рафінування міді, який виробляє  $190000 \text{ т}$  за рік катодної міді? Ванни працюють з навантаженням  $14 \text{ кА}$ , вихід за струмом складає  $95 \%$ . Коефіцієнт використання ванн  $94 \%$ .
- Обчисліть масу хлору, яка виробляється заводом, на якому працює 5 серій по  $150$  електролізерів з залізними катодами, при безперервній роботі протягом  $300$  днів. Сила струму  $35 \text{ кА}$ , вихід за струмом  $95 \%$ . Визначте потужність генератору, який забезпечує потребу заводу в електроенергії при напрузі однієї серії електролізерів  $550 \text{ В}$ , якщо ККД випрямляча складає  $95 \%$ .
- Проектна потужність одного з підприємств по виробництву соляної (хлоридної) кислоти складає  $82000 \text{ т/рік}$  продукту з масовою часткою водень хлориду  $0,335$ . Чи забезпечить це підприємство воднем та хлором цех, в якому безперервно працює  $50$  електролізерів типу Р-30. Вихід за струмом  $94 \%$ , навантаження (сила струму) одного електролізера  $30 \text{ кА}$ . Вихід кислоти становить  $95 \%$ .

## Субтест «Обізнаність» (вкажіть одну вірну відповідь)

**1. Вкажіть чим обумовлена деполяризація катодного відновлення натрію при електролізі розчину натрій хлориду у ванних з ртутним катодом:**

- 1) виділенням на аноді газоподібного хлору
- 2) утворенням на катоді хімічної сполуки - амальгами натрію
- 3) перенапругою виділення водню
- 4) утворенням натрій гідроксиду в результаті процесу

**2. З якою метою розділяють катодний та анодний простір при електролізі розчину натрій хлориду в електролізерах з твердим катодом:**

- 1) збільшення виходу продуктів по току
- 2) зниження втрат електроенергії
- 3) гальмування побічних реакцій і відокремлення продуктів електролізу
- 4) збільшення часу служби електродів

**3. Вкажіть вплив побічних реакцій на техніко-економічні показники електролізу:**

- 1) не впливають
- 2) збільшують густину струму
- 3) знижують вихід за струмом основних продуктів і ступінь використання енергії
- 4) збільшують вихід за струмом і ступінь використання енергії

**4. Вкажіть способи запобігання розряду іонів водню у розкладачі:**

- 1) збільшення напруги на електродах
- 2) введення у розчин спеціальних добавок
- 3) застосування невисокої густину струму
- 4) ретельне очищення розчину і використання високої густину струму

**5. Вкажіть чим розрізняються процеси електролізу водного розчину натрій хлориду у ванні із ртутним катодом і електролізері з діафрагмою:**

- 1) продуктами електролізу
- 2) катодними процесами
- 3) анодними процесами
- 4) напругою розкладу

**6. Вкажіть фактори, що визначають порядок виділення продуктів електролізу з суміші на електродах:**

- 1) значення нормальних електродних потенціалів і умови проведення процесу
- 2) температура і концентрація електроліту
- 3) матеріал електрода
- 4) електропровідність розчину електроліту

**7. Вкажіть перевагу електролізерів із ртутним катодом:**

- 1) низькі витрати електроенергії
- 2) висока густина струму
- 3) можливість одержання висококонцентрованих, чистих продуктів
- 4) високий вихід за струмом

**8. Вкажіть сировину для електрохімічного виробництва хлору у промисловості:**

- 1) розчин з концентрацією натрій хлориду 305 - 310 г/л
- 2) розплав натрій хлориду
- 3) розчин з концентрацією натрій хлориду 210 - 220 г/л

**9. Вкажіть значення виходу за струмом при електролізі водних розчинів електролітів у промисловості:**

- 1) 28 - 30 %
- 2) 50 - 70 %
- 3) 60 - 99 %
- 4) 80 - 100 %

**10. Вкажіть катодний процес при електролізі водного розчину алюміній сульфату:**

- 1) відновлення іонів алюмінію
- 2) відновлення води
- 3) окиснення алюмінію
- 4) окиснення води

**11. Вкажіть спосіб одержання металічного магнію:**

- 1) електролізом водного розчину солі магнію
- 2) електролізом розплаву солі магнію
- 3) електролізом водного розчину магній гідроксиду

**12. Вкажіть вміст хлору в хлор-газі, який утворюється при електролізі водного розчину натрій хлориду:**

- 1) 90 - 92%
- 2) 60 - 65%
- 3) 98 - 99%
- 4) 95 - 96%

**13. Вкажіть катодний процес при електролізі розчину натрій хлориду в ваннах із ртутним катодом:**

- 1) відновлення води
- 2) відновлення натрію
- 3) відновлення ртуті
- 4) окиснення води

**14. Вкажіть продукти електролізу водного розчину натрій хлориду:**

- 1) хлор, металевий натрій, водень
- 2) натрій гідроксид, металевий натрій, водень
- 3) хлор, натрій гідроксид, водень

**15. Вкажіть матеріал аноду для проведення електролізу водного розчину натрій хлориду у промисловості:**

- 1) сталь                      2) графіт і титан, вкритий рутеній оксидом  
3) ртуть                      4) мідь і титан діоксид

**16. Вкажіть тип електрохімічних процесів:**

- 1) гомогенні                      2) гетерогенні

**17. Енергія Гібсу окисно-відновних реакцій, що протікають в електролізері:**

- 1) зростає                      2) зменшується                      3) не змінюється

**18. Вкажіть стадії електрохімічного процесу для випадку, коли продукт утворюється у вигляді твердого осаду на електроді:**

- 1) доставка речовини до поверхні електроду, окисно-відновна реакція, відвід продуктів від поверхні електрода  
2) доставка речовини до поверхні електроду  
3) доставка речовини до поверхні електроду та окисно-відновна реакція

### **3.9.2. Виробництво алюмінію**

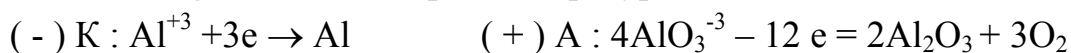
Таблиця 3.24. Фізичні властивості алюмінію

Зовнішній вигляд	твердий, сріблясто сірий
Густина, т/м <sup>3</sup>	2,7
Температура плавлення, °С	660,2
Температура кипіння, °С	2520

Таблиця 3.25. Використання алюмінію

Галузь	Частка від загального використання, %
Транспорт (авіаконструкції, корпуси судів, двигуни, труби)	18 - 22
Будівництво (ангари, ємності для зберігання хімічної продукції)	24 - 30
Електротехнічна промисловість (кабелі, конденсатори)	12 - 14
Тара і пакувальні матеріали (фольга, ємності для консервування)	14 - 17
Приладобудівництво	5 - 7
Інші споживачі	до 10

Промисловий спосіб виробництва алюмінію – електроліз кріолітно-глиноземистого розплаву ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  – 75 - 90 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1 - 10 %;  $\text{AlF}_3$  – 5 - 12 %;  $\text{CaF}_2$  – 2 - 4 %;  $\text{MgF}_2$  – 2 - 5 %) при температурі 950 - 970 °С:



Характеристика електролізера: сила струму – 50 - 150 кА;

витрати електроенергії – 13,8 - 15,0 (МВт×год)/т;

вихід за струмом – 90%;

ступінь використання енергії – 30%;

робоча напруга – 4,2 - 4,5 В.

### Розрахункові задачі :

1. Визначте вихід за струмом для процесу одержання алюмінію електролізом розплаву глинозему з кріолітом, якщо при силі струму 150 кА за добу утворюється 1090 кг алюмінію.
2. Визначте витрати глинозему та кріоліту для виробництва 1 т алюмінію, якщо вихід за струмом 90%. Масова частка алюміній оксиду в кріолітно-глиноземистому розплаві становить 10%, інше – кріоліт ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ). Глинозем містить 4,5 % домішок, а кріоліт – 2 %.
3. Визначте час проведення електролізу для одержання 500 кг алюмінію, якщо сила струму 100 кА, вихід за струмом – 90%. Який об'єм кисню (н.у.) при цьому виділиться на аноді?
4. Для очищення алюмінію від домішок його хлорують. При цьому хлорується водень, кальцій, магній та незначна кількість алюмінію. Утворені хлориди збираються на поверхні металу у вигляді шламу. Обчисліть масу утвореного шламу, якщо проводили хлорування 1 т технічного алюмінію, що містить 0,01 % кальцію та 0,02 % магнію. Вважати, що в реакцію хлорування вступило 0,01 % алюмінію.
5. Яка маса кріоліту необхідна для одержання 1 т алюмінію марки А85, який містить 99,85 % Алюмінію? Масова частка кріоліту в кріолітно-глиноземистому розплаві становить 90%. Виробничі втрати – 5 %.

### Субтест «Обізнаність» (вказіть одну вірну відповідь)

1. Вкажіть назву мінералу складу  $\text{Na}_2(\text{K}_2)\text{SO}_4 \times \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 4\text{Al}(\text{OH})_3$  :

- |            |           |
|------------|-----------|
| 1) боксит  | 2) алуніт |
| 3) нефелін | 4) каолін |



**2. Вкажіть яким чином виділяють алюміній гідроксид з водного розчину при одержанні алюміній оксиду за способом Байєра:**

- 1) нагріванням розчину від 4 до 60 °С на протязі 60 - 90 годин при безперервному перемішуванні
- 2) охолодженням розчину від 60 до 40 °С на протязі 60 - 90 годин при безперервному перемішуванні
- 3) охолодженням розчину від 40 до 20 °С на протязі 60 - 90 годин при безперервному перемішуванні
- 4) випарюванням розчину на протязі 60 - 90 годин

**3. Вкажіть назву мінералу складу  $\text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})\times\text{Al}_2\text{O}_3\times 2\text{SiO}_2\times 2\text{H}_2\text{O}$ :**

- 1) боксит
- 2) алуніт
- 3) нефелін
- 4) каолін

**4. Вкажіть продукт анодного процесу при електролізі розчину алюміній оксиду в розплаві кріоліту:**

- 1) натрій
- 2) алюміній
- 3) водень
- 4) алюміній оксид

**5. При одержанні алюмінію у шихту додають фториди алюмінію, кальцію та магнію для:**

- 1) підвищення температури плавлення шихти
- 2) зменшення витрат кріоліту та зниження температури плавлення шихти
- 3) підвищення електропровідності шихти
- 4) зниження електропровідності шихти

**6. Вкажіть критерій економічної доцільності одержання алюміній оксиду способом Байєра:**

- 1) вміст алюміній оксиду в бокситі
- 2) витрати реагентів (розчин луку)
- 3) температура плавлення бокситу
- 4) вміст силіцій(IV) оксиду в бокситі

### Субтест «Ланцюги перетворень»

вкажіть поняття, які відповідають літерам А та В в запропонованій послідовності)

**7. Фрагмент схеми одержання алюміній оксиду сухим лужним способом: виготовлення шихти → А → сушка → розклад → В → охолодження →**

- 1) подрібнення
- 2) фільтрація
- 3) нагрівання
- 4) спікання

**8. Фрагмент схеми одержання алюміній оксиду сухим лужним способом:**

... охолодження → А → знекремнювання → фільтрація → В → нейтралізація

- 1) подрібнення 2) обробка лужним розчином 3) нагрівання 4) обробка димовими газами

**9. Фрагмент схеми одержання алюміній оксиду способом Байера: мокре подрібнення → А → розбавлення → В → фільтрація .....**

- 1) варка 2) нагрівання 3) відстоювання 4) охолодження

**10. Фрагмент схеми одержання алюміній оксиду способом Байера:... розбавлення → А → фільтрація → В → кальцинація**

- 1) варка 2) нагрівання 3) відстоювання 4) охолодження

**Субтест «Логічний зв'язок»**

**(проаналізуйте твердження А та В окремо, встановіть наявність або відсутність логічного зв'язку між ними. Запропонуйте відповідь з використанням таблиці)**

№	Твердження А	Твердження В	Зв'язок
1	вірно	вірно	вірно
2	невірно	вірно	невірно
3	вірно	невірно	невірно
4	невірно	невірно	невірно
5	вірно	вірно	невірно

11. Електроліз розплаву чистого алюміній оксиду здійснити не можна (твердження А), тому що він практично не проводить електричний струм (твердження В).
12. Газові викиди при одержанні алюмінію електролізом розплаву містять сполуки фтору (твердження А), тому що в процесі використовується кріоліт (твердження В).
13. Газові викиди при одержанні алюмінію електролізом розплаву містять сполуки фтору (твердження А), тому що в процесі використовується кріоліт (твердження В).

### 3.10. Переробка палива

Таблиця 3.26. Види палива та способи переробки

Тверде паливо (вугілля, сланці, торф та ін.)	Рідке паливо (нафта та продукти її переробки)	Газувате паливо (природний газ)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• коксування (продукти – кокс, смола, надсмольна вода, газ, сирий бензол);</li> <li>• напівкоксування (продукти – напівкокс, смола, газ, пірогенетична вода);</li> <li>• газифікація (синтез газ).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• первинний або пряма перегонка (фракції – бензин, газойль, гас, лігроїн, мазут);</li> <li>• крекінг (термічний, термokatалітичний, каталітичний) або риформінг.</li> </ul>	<p>Крекінг:  <math>\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + 3 \text{H}_2</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• електрокрекінг;</li> <li>• термічний крекінг;</li> <li>• термоокислювальний крекінг</li> </ul>

#### Розрахункові задачі:

1. При напівкоксуванні торфугу одержують газ, який має певний склад за об'ємом. Вихід газу  $\eta$  % від маси сировини. Яку масу торфугу потрібно переробити для заповнення газом ( $P$  атм, температура  $T$  К) газгольдеру певних розмірів.

№	Склад газу, % за об'ємом					Вихід, % від маси	Умови		Розміри газгольдера	
	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	N <sub>2</sub>		$P$ , ат	$T$ , К	$d$ , м	$h$ , м
1	16	18	40	12	14	20	2	333	16	8
2	14	20	38	14	14	22	3	298	14	10
3	16	18	38	16	12	18	4	330	16	12
4	13	18	40	15	14	20	2	340	14	10

2. Торф'яний віск одержують екстрагуванням торфугу. Витратний коефіцієнт сировини складає 16,7 кг/кг. Яка маса торфугу необхідна для одержання 500 кг воску. Вміст вологи у торфі 30%.
3. На коксохімічному виробництві перероблюють 25 т смоли за годину. Яка маса 20 % розчину натрій гідроксиду потрібна на добу для виділення фенолу з нафталінової та фенольної фракцій смоли. Масова частка нафталінової та фенольної фракцій у смолі складає 11 та 4% відповідно, а масова частка фенолу у нафталінової та фенольної фракції 7 та 46% відповідно.
4. Феноляти натрію, що утворюються при вилученні фенолу з фракцій кам'яновугільної смоли, розкладаються до вільного фенолу продувкою

- вуглекислим газом. Розрахуйте мінімальний об'єм вуглекислого газу, необхідний для розкладу 50 т технічного феноляту, який містить 25 % натрій феноляту та 0,5% натрій гідроксиду.
5. За добу цех коксохімічного виробництва перероблює 560 т смоли. Її розганяють на фракції, серед яких є нафталінова та поглинальна що містять піридинові основи. Який об'єм 20 % сульфатної кислоти густиною  $1,14 \text{ т/м}^3$  витратиться для вилучення піридинових основ у вигляді сульфату піридину  $(\text{C}_5\text{H}_5\text{NH})_2\text{SO}_4$  з нафталінової та поглинальної фракцій смоли, якщо масова частка піридинових основ в них 7 та 12 %, а масова частка фракцій смоли 10 та 15 %.
  6. Яка маса каналної сажі може бути одержана з газів прямої перегонки нафти, якщо переробляється 6000 т нафти. Вихід газу складає 8,5 % від маси нафти. Вихід сажі – 22% від маси карбону вуглеводнів газу. Склад газу (% за об'ємом):  $\text{C}_2\text{H}_6$  – 12,  $\text{CH}_4$  – 28,  $\text{C}_3\text{H}_8$  – 10,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  – 26 та  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  – 24.
  7. При каталітичному крекінгу гасу масова частка газу становить 18 % від сировини (гас). Визначте масу метану, яка утвориться з 1 т гасу, якщо об'ємні частки компонентів газу крекінгу:  $\text{H}_2$  – 9 %;  $\text{CH}_4$  – 27 %;  $\text{C}_2\text{H}_6$  – 12 %;  $\text{C}_3\text{H}_8$  – 15 %;  $\text{C}_2\text{H}_4$  – 25 %;  $\text{C}_3\text{H}_6$  – 15 %;  $\text{C}_4\text{H}_8$  – 8,5 %.
  8. Обчисліть поверхню теплопередачі ( $\text{м}^2$ ) конвективної камери трубчатої печі для нагріву нафти з 443 до 523К. Продуктивність печі  $20 \text{ м}^3/\text{год}$ , густина нафти  $0,85 \text{ т/м}^3$ ; теплоємність  $2,05 \text{ кДж}/(\text{кг}\times\text{град})$ . Коефіцієнт теплопередачі  $150 \text{ кДж}/(\text{м}^3\times\text{град}\times\text{год})$ . Температура газів на вході в камеру 1123К, на виході 693К.
  9. Визначте продуктивність по газу ( $\text{м}^3/\text{год}$ ) газогенератора діаметром 3,315 м, висотою 0,785 м. Інтенсивність процесу по вугіллю становить  $200 \text{ кг}/(\text{м}^2\times\text{год})$ , вихід газу –  $4 \text{ м}^3/\text{кг}$ .
  10. Об'ємна частка метану у природному газі становить 94 %. Яку масу коксу, як відновника, може замінити природний газ об'ємом  $1 \text{ м}^3$  (н.у.)? Масова частка Карбону в коксі становить 85%.
  11. Склад газу (у % за об'ємом), що утворюється за умов електрокрекінгу метану:  $\text{C}_2\text{H}_2$  – 13,3;  $\text{C}_2\text{H}_4$  – 0,9;  $\text{CH}_4$  – 27,5;  $\text{H}_2$  та інші ацетиленові вуглеводні – 48,4; бензену – 9,9 %. З цього газу вилучають ацетилен та інші органічні речовини абсорбцією диметилформамідом. Очищений газ містить головним чином метан та водень. Обчисліть склад газу після адсорбції. Скільки газгольдеров об'ємом  $10 \text{ м}^3$  (температура  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ , тиск 5 ат) необхідно для зберігання ацетилену одержаного електрокрекінгом  $500 \text{ м}^5$  (н.у.) метану?

## Тестові завдання

### Субтест «Обізнаність» (вкажіть одну вірну відповідь)

**1. Вкажіть процес, який відбувається при коксуванні вугілля за температури 500 - 550 °С:**

- 1) розкладання напівкоксу
- 2) розкладання пластичної маси й утворення напівкоксу
- 3) випаровування вологи і виділення оксидів вуглецю
- 4) зміцнення коксу

**2. Вкажіть процес, який відбувається при коксуванні вугілля за температури 300 - 500 °С:**

- 1) виділення парів смоли
- 2) утворення пластичної маси
- 3) розкладання напівкоксу
- 4) зміцнення коксу

**3. Вкажіть процес, який відбувається при коксуванні вугілля до 250 °С:**

- 1) випаровування вологи і виділення оксидів вуглецю
- 2) виділення парів смоли
- 3) утворення пластичної маси
- 4) розкладання напівкоксу

**4. Вкажіть процес, який відбувається при коксуванні вугілля за температури 600 - 700 °С:**

- 1) виділення парів смоли
- 2) розкладання напівкоксу
- 3) зміцнення коксу
- 4) утворення пластичної маси

**5. Вкажіть процес, який відбувається при коксуванні вугілля за температури 700 - 1000 °С:**

- 1) утворення пластичної маси
- 2) утворення напівкоксу
- 3) зміцнення коксу
- 4) виділення парів смоли

**6. Вкажіть процес, який відбувається при коксуванні вугілля за температури 250 - 300 °С:**

- 1) зміцнення коксу
- 2) розкладання напівкоксу
- 3) утворення напівкоксу
- 4) виділення парів смоли

**7. Вкажіть продукт, який не є продуктом коксування:**

- 1) кокс
- 2) коксовий газ
- 3) кам'яновугільна смола
- 4) сирий бензен
- 5) надсмольна вода
- 6) пірогенетична вода

**8. Вкажіть, як змінюється термічна стійкість насичених (парафінових) вуглеводнів при переході від нижчих до вищих членів гомологічного ряду:**

- 1) не змінюється      2) знижується
- 3) підвищується      4) підвищується для перших семи, а потім знижується

**9. Для розділення коксового газу використовується:**

- 1) конденсаційна колона, промивна башта, абсорбер
- 2) дистиляційна колона, електрофільтр
- 3) холодильник, сатуратор, скруббер
- 4) башта з насадкою, печі

**10. Вихід смоли та газу при коксуванні зі збільшенням температури:**

- 1) смоли – зростає, а газу – зменшується      2) зростає
- 3) смоли – зменшується, а газу – зростає      4) зменшується

**11. Вкажіть процеси, на яких базується виділення продуктів коксування:**

- 1) конденсація, хемосорбція, абсорбція      2) розчинення
- 3) сублімація, адсорбція, випаровування      4) нейтралізація, розклад

**12. Вкажіть перетворення, яким підлягають нафтові (насичені) вуглеводні при термічній переробці нафти:**

- 1) розщеплення з утворенням насичених і ненасичених вуглеводнів
- 2) деалкілування
- 3) міжмолекулярний перерозподіл водню
- 4) ізомеризація, полімеризація

**13. При термічній переробці нафти понад 820 К накопичуються:**

- 1) легкі вуглеводні      2) етилен
- 3) водень      4) ароматні вуглеводні з бічними ланцюгами

**14. Вкажіть область протікання процесів термічного крекінгу нафти:**

- 1) дифузійна      2) перехідна      3) кінетична

**15. Послідовність крекінгу вуглеводнів при термокаталітичній переробці нафти визначається:**

- 1) енергією активації процесів
- 2) активністю каталізатору
- 3) температурою
- 4) спроможністю вуглеводнів адсорбуватися на поверхні каталізатору

**16. Вихід бензинів від температури каталітичного крекінгу нафти:**

- 1) зростає, а потім знижується
- 2) зростає
- 3) зменшується
- 4) не змінюється

**17. До отруєння каталізатору при термокаталітичній переробці нафти призводить:**

- 1) утворення на його поверхні сполук коксу
- 2) абсорбція амоніаку і сірководню
- 3) адсорбція на його поверхні кам'яновугільної смоли
- 4) спікання контактної маси

**18. Вкажіть каталізатори для термокаталітичної переробки нафти:**

- 1) ванадій(V) оксид
- 2) синтетичні алюмосилікати
- 3) метали з перехідною валентністю
- 4) оксиди заліза

**19. Октанове число показує:**

- 1) вміст *n*-октану в суміші з ізогептаном, що детонує при тієї ж ступені стискування, що й бензин
- 2) вміст ізооктану в суміші з *n*-гептаном, що детонує при тієї ж ступені стискування, що й бензин
- 3) вміст ізооктану в суміші з ізогептаном, що детонує при тієї ж ступені стискування, що й бензин

**20. Вкажіть продукти, що утворюються при гідруванні твердого палива:**

- 1) кокс, кам'яновугільна смола, сирий бензен
- 2) суміш ароматних вуглеводнів
- 3) суміш легких вуглеводнів
- 4) суміш важких вуглеводнів

**21. Вкажіть печі, які використовують для нагрівання нафти:**

- 1) барабанні обертові
- 2) КШ
- 3) трубчасті безполуменевого горіння
- 4) доменні

**22. Процес переробки твердих палив, який заключається в нагріванні їх без доступу повітря при температурі 900 - 1500 °С:**

- 1) напівкоксування
- 2) крекінг
- 3) піроліз
- 4) коксування

**23. Сатуратор являє собою:**

- 1) башту з насадкою
- 2) пінний апарат
- 3) реактор із мішалкою
- 4) апарат барботажного типу

**24. Вкажіть сорбенти для уловлювання сирого бензену у скруберах:**

- 1) кам'яновугільне і солярове мастила
- 2) активоване вугілля
- 3) сульфатна кислота
- 4) вапняне молоко та феноли

**25. Для проведення процесу напівкоксування використовують:**

- 1) печі непрямого нагріву, що складаються з камер які працюють паралельно
- 2) печі з внутрішнім обігрівом за допомогою твердих теплоносіїв
- 3) ванні печі
- 4) печі опору

**26. Виберіть визначення процесу напівкоксування:**

- 1) процес переробки твердого палива при нагріванні до 550 - 600 °С без доступу повітря
- 2) процес переробки твердого палива при нагріванні до 500 - 600 °С в атмосфері азоту
- 3) процес переробки твердого палива при нагріванні до 900 - 1500 °С без доступу повітря
- 4) процес переробки твердого палива при нагріванні до 300 - 400 °С в атмосфері інертних газів

**27. Газифікації підлягають:**

- 1) тільки вугілля, яке коксується
- 2) тільки кам'яне, буре вугілля та сланці
- 3) будь-які види палива: торф, низькосортне вугілля, напівкокс кокс, відходи лісорозробок
- 4) рідке паливо

**28. Вкажіть умови гідрування твердого палива:**

- 1) високі температура та тиск, відсутність каталізатору
- 2) високий тиск, звичайна температура, каталізатор
- 3) високі температура та тиск, каталізатор
- 4) висока температура, низький тиск, каталізатор

**29. Не є продуктом первинної переробки нафти при атмосферному тиску:**

- 1) бензин
- 2) лігроїн
- 3) гудрон
- 4) гас
- 5) легкий газойль
- 6) мазут

**30. Вкажіть продукт первинної переробки нафти при атмосферному тиску:**

- 1) важкий газойль
- 2) лігроїн
- 3) гудрон
- 4) соляровий дистилят



**29. Не є продуктом первинної переробки нафти під вакуумом:**

- 1) бензин
- 2) тяжкий газойль
- 3) гудрон
- 4) веретенне мастило
- 5) машинне мастило
- 6) циліндрове мастило

**30. Не відноситься до процесів підготовки нафти до переробки:**

- 1) промивка
- 2) виділення мінеральних солей
- 3) перегонка
- 4) зневоднення
- 5) стабілізація
- 6) виділення механічних домішок

**31. Для каталітичного крекінгу нафти застосовують:**

- 1) трубчасті апарати
- 2) скрубери, сатуратори
- 3) реактори КШ та реактори з каталізатором, що рухається
- 4) ректифікаційні колони

**32. Виберіть визначення процесу коксування:**

- 1) процес переробки твердих палив, що полягає в їх нагріванні в атмосфері азоту до 1000 - 1500 °С
- 2) процес переробки нафти, що полягає в її нагріванні без доступу повітря до 1000 - 1500 °С
- 3) процес переробки твердих палив, що полягає в їх нагріванні без доступу повітря до 1000 - 1500 °С
- 4) процес переробки нафти, що полягає в її нагріванні в атмосфері азоту до 1000 - 1500 °С

**33. Коксові печі це:**

- 1) печі прямого нагріву, що складаються з камер, які працюють паралельно
- 2) печі непрямого нагріву, що складаються з камер, які працюють одночасно
- 3) печі непрямого нагрівання, що складаються з камер, які працюють паралельно
- 4) трубчасті печі

**34. Виберіть порядок розташування вуглеводнів по швидкості перетворення під час термічних процесів переробки нафти:**

- 1) нафтеніві - ароматичні - парафінові
- 2) ароматичні - нафтеніві - парафінові
- 3) парафінові - ароматичні - нафтеніві
- 4) парафінові - нафтеніві - ароматичні

**35. Вкажіть розчинники, які використовують при очищенні нафтопродуктів абсорбційним методом:**

- 1) нітробензен, фурфурол, дихлоретиловий етер
- 2) бензен, ксилол, ацетон
- 3) метилетилкетон, метанол, ксиленол
- 4) етанол, ацетальдегід, бензен

**36. Вкажіть вуглеводні, які входять до складу бензинів прямої гонки:**

- 1) ароматичні та парафінові
- 2) парафінові та нафтонові
- 3) нафтонові та ароматні
- 4) тільки парафінові

**37. Вкажіть адсорбенти, які застосовують для очищення нафтопродуктів:**

- 1) силікагель та глини, що відбілюють
- 2) каолін та силікагель
- 3) активоване вугілля та силікагель
- 4) боксити та нефелін

**38. Вкажіть умови термічного крекінгу нафти:**

- 1) температура 200 - 250 °С, тиск 4 - 5 МПа
- 2) температура 350 - 500 °С, тиск 4 - 5 МПа
- 3) температура 500 - 600 °С, тиск 10 МПа
- 4) температура 100 -150 °С, тиск 2 - 3 МПа

**39. Вкажіть апаратне оформлення для виділення розчинених газів із сирої нафти:**

- 1) трапи
- 2) скрубери
- 3) сатуратори
- 4) дегазатори

#### **Субтест «Класифікація»**

**(проаналізуйте запропоновані поняття; визначте поняття, які можна об'єднати в групу за певною ознакою; вкажіть поняття, що не відноситься до них)**

40. Напівкокс, смола, газ, сирий бензен, пірогенетична вода
41. Кокс, толуол, смола, коксовий газ, надсмольна вода
42. Лігроїн, гас, легкий газойль, бензин, важкий газойль, мазут
43. Циліндрове мастило, гудрон, бензин, веретенне мастило, машинне мастило

#### **Субтест «Аналогії»**

**(визначте причинно-наслідковий зв'язок в першій парі та підберіть поняття для другої пари)**

44. 300 - 350 °С : солярове масло = 160 - 200 °С : ?

- 1) гас
- 2) лігроїн
- 3) мазут
- 4) бензин
- 5) легкий газойль

45.  $300 - 350\text{ }^{\circ}\text{C}$  : солярове масло =  $200 - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$  : ?

- 1) гас                                      2) лігроїн                                      3) мазут  
4) бензин                                      5) легкий газойль

46.  $300 - 350\text{ }^{\circ}\text{C}$  : солярове масло = до  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$  : ?

- 1) гас                                      2) лігроїн                                      3) мазут  
4) бензин                                      5) легкий газойль

### Субтест «Узагальнення»

(проаналізуйте поняття та вкажіть спільну ознаку)

47. Сирий бензен, смола

48. Напівкокс, смола

49. Бензин, легкий газойль

50. Важкий газойль, гудрон

51. Гас, мазут

52. Кам'яне вугілля, нафта

53. Кокс, напівкокс

### 3.11. Промисловий органічний синтез

Основними продуктами промислового органічного синтезу є: метанол, етанол, формальдегід, дивініл, ізопрен, стирол (стирен), ацетилен, оцтова кислота.

Таблиця 3.27. Хіміко-технологічний процес виробництва метанолу

Сировина	Хімічне рівняння та характеристика процесу	Апаратне оформлення
Синтез газ	$\text{CO} + 2\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OH}$ ; $\Delta H = - 45,6$ кДж/моль <ul style="list-style-type: none"><li>• процес гетерогенного каталізу в системі Г - Т (основний компонент каталізатора – ZnO);</li><li>• екзотермічний</li><li>• оборотний</li><li>• оптимальні умови: <math>P = 20 - 35</math> МПа, <math>t = 370 - 420\text{ }^{\circ}\text{C}</math> на високотемпературному каталізаторі або <math>P = 5 - 10</math> МПа <math>t = 250 - 300\text{ }^{\circ}\text{C}</math> на низькотемпературному каталізаторі.</li></ul>	Контактний апарат

Таблиця 3.28. Хіміко-технологічний процес виробництва етанолу

Сировина	Хімічне рівняння та характеристика процесу	Апаратурне оформлення
Етилен, водяна пара	<p>Метод парофазної гідратації етилену:</p> $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}; \Delta H = - 90,7 \text{ кДж/моль}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• процес гетерогенного каталізу в системі Г – Р (каталізатор – 98 % ортофосфатна кислота);</li> <li>• екзотермічний</li> <li>• оборотний;</li> <li>• оптимальні умови: Р = 7 - 8 МПа; t = 260 - 280 °С; співвідношення C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O = 1 : 0,6</li> </ul>	Гідратор

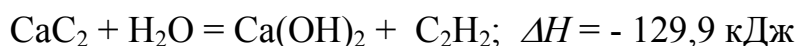
Сировиною для виробництва формальдегіду є природний газ (пряме каталітичне окиснення метану) або метанол (окислювальне каталітичне дегідрування або пряме окиснення).

Дивініл і ізопрен одержують методом двох стадійної дегідратації відповідних насичених вуглеводнів.

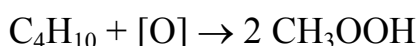
Ацетилен у промисловості одержують крекінгом метану:



або гідролізом кальцій карбід:



Основний промисловий метод одержання оцтової кислоти – пряме окиснення бутану:



### Розрахункові задачі:

#### *Виробництво спиртів*

1. Обчисліть склад газу (об'ємні частки) на виході з колони синтезу метанолу, якщо на вході в колону газ містить 33 % карбон(II) оксиду та 67 % водню. Ступінь перетворення 8 %.
2. В колону синтезу метанолу подають синтез-газ (CO : H<sub>2</sub> = 1 : 2). Газ, що виходить з колони має склад (% за об'ємом): 16 % CH<sub>3</sub>OH; 12 % CO та 72 % H<sub>2</sub>. Обчисліть ступінь перетворення.
3. Для одержання 1 т метанолу витратили 2500 м<sup>3</sup> (н.у.) синтез-газу (CO : H<sub>2</sub> = 1 : 2). Обчисліть вихід метанолу.

4. Обчисліть об'єм (н.у.) синтез-газу ( $\text{CO} : \text{H}_2 = 1 : 2$ ) необхідний для одержання 1 т метанолу, що містить 2% домішок, якщо вихід становить 87 %.
5. Константа рівноваги  $K_p$  оборотної реакції одержання метанолу з синтез газу становить  $2,316 \times 10^{-4}$  при 573 К. Тепловий ефект ( $\Delta H$ ) становить - 90,7 кДж/моль. Обчисліть константу рівноваги при 673 К.
6. При одержанні етилового спирту методом прямої гідратації етилену використовують етилен 96 % чистоти. Ступінь перетворення за один прохід по технологічному ланцюгу становить 5 %. Яка маса спирту утворюється з  $100 \text{ м}^3$  (н.у.) технічного етилену?
7. Обчисліть тепловий ефект реакції прямої гідратації етилену, якщо залежність константи рівноваги від температури має вигляд:

$$\lg K_p = \frac{2100}{T} - 6,195$$

Вважати, що тепловий ефект не залежить від температури. На підставі обчислень зробіть висновок про вплив температури на хімічну рівновагу реакції. Як необхідно змінити температуру для зміщення рівноваги в бік утворення етилену?

8. За добу на установці прямої гідратації етилену одержано 50 т етилового спирту. Обчисліть: а) продуктивність установки за годину; б) продуктивність каталізатора, якщо його об'єм  $11 \text{ м}^3$ ; в) інтенсивність роботи гідратора, якщо його діаметр 1,5 м, висота 10 м, ступінь використання об'єму 80 %.
9. Етилен для синтезу етанолу методом прямої гідратації подають в реактор під тиском 8 МПа. Обчисліть густину газу на виході з компресора, якщо його температура становить  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### **Виробництво формальдегіду**

10. Формальдегід добувають окиснення метанолу повітрям у трубчастому реакторі при  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  за присутності оксидів нітрогену. Яку масу формальдегіду можна добути з  $25 \text{ м}^3$  (н.у.) природного газу, що містить 95 % за об'ємом метану. Вихід формальдегіду становить 12%.
11. Обчисліть масу 40 % розчину формаліну, який можна отримати з 1 т метанолу на срібному каталізаторі, якщо 55% метанолу окиснюється до формальдегіду, а 45% метанолу вступає в реакцію дегідрування. Ступінь конверсії метанолу становить 70 %. Який об'єм кисню (н.у.) витрачається?
12. Один зі способів одержання формальдегіду – окиснення метанолу повітрям на срібному каталізаторі. Яку масу формальдегіду можна добути окисненням метанолу масою 6,4 т з виходом 90 %?

### ***Виробництво мономерів***

13. Обчисліть практичні витратні коефіцієнти для бензену та етилену при одержанні 1 т стирену (стиролу), якщо вихід етилбензену 95%, а стирену – 90%. Скільки сировини необхідно для одержання 400 кг стирену?
14. Яку масу хлорбензолу слід ввести в реакцію з 20 % розчином натрій гідроксиду, щоб при нагріванні суміші до 320 – 350 °С за присутності каталізатора (солі купруму(II)) утворилося 2,82 кг фенолу?
15. Хлоропрен одержують гідрохлоруванням вінілацетилену при 60 °С та 0,12 МПа. Обчисліть об'ємні витрати (м<sup>3</sup>/год) хлороводню для забезпечення роботи устаткування продуктивністю 34 т/доб хлоропрену, якщо ступінь перетворення сировини становить 90 %.
16. Полімер тефлон одержують полімеризацією газоподібного тетрафторетилену. Визначте об'ємні витрати (н.у.) сировини в м<sup>3</sup>/год для одержання 8 т/год полімеру, якщо вихід продукту становить 87%.

### ***Виробництво ацетилену***

17. Обчисліть витратний коефіцієнт по карбїду кальцію, який містить 65 % CaC<sub>2</sub> на 1 т хлоропрену, якщо проміжними продуктами є ацетилен, вінілацетилен, хлоропрен. Вихід ацетилену – 98 %, вінілацетилену – 30 %, хлоропрену – 80 %.
18. Технічний карбїд кальцію містить 90% CaC<sub>2</sub>. Визначте його літраж (об'єм ацетилену в л (н.у.), який можна одержати з 1 кг технічного карбїду).
19. Обчисліть тепловий ефект реакції утворення ацетилену з кальцій карбїду, якщо ентальпії утворення речовин (в кДж/кмоль) дорівнюють: CaC<sub>2</sub> (- 62800); H<sub>2</sub>O<sub>(р)</sub> – (- 285838); CaO – (- 635600); C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> – (+ 226700). Скільки теплоти виділиться при одержанні 10 м<sup>3</sup> (н.у.) ацетилену? Яку масу води можна випарити за рахунок теплоти, що виділяється, якщо питома теплота пароутворення становить 2260 кДж/кг.
20. Для одержання 1 кг ацетилену у плазмотроні продуктивністю 15 т/доб продукту витрачається 2,38 кг метану. Обчисліть об'ємні витрати сировини в м<sup>3</sup>/год та концентрацію ацетилену в моль/м<sup>3</sup> на вході в реактор, який працює при 1600 °С та 50 кПа.

### ***Виробництво оцтової кислоти***

21. Окислювальна колона у виробництві оцтової кислоти має розміри: діаметр – 900 мм, висота – 16 м. В середині колони знаходиться змійовик об'ємом 2 м<sup>3</sup>. Розрахуйте інтенсивність роботи колони, яка виробляє 20 тис. т кислоти за рік.
22. Обчисліть об'єм бутану (н.у.), який необхідно витратити для виробництва 1 т 20 % розчину оцтової кислоти, якщо вихід становить 60 %.

**Субтест «Обізнаність» (вказіть одну вірну відповідь)**

**1. Вкажіть побічні продукти синтезу метанолу:**

- 1) метан, формальдегід, диметиловий етер, вищі спирти
- 2) карбон(IV) оксид, етан, оцтовий ангідрид
- 3) діетиловий етер, бутиловий спирт
- 4) синтез газ

**2. Вкажіть каталізатори для одержання метанолу із синтез газу:**

- 1)  $V_2O_5$  або  $Fe_2O_3$
- 2) Pt або Pd
- 3) ZnO та  $Cr_2O_3$  або ZnO,  $Al_2O_3$  та CuO
- 4) Ni

**3. Вкажіть співвідношення CO :  $H_2$  у синтез газі, який використовують для одержання метанолу:**

- 1) від 1 : 2 до 1 : 4
- 2) від 1 : 8 до 1 : 12
- 3) від 1 : 4 до 1 : 8
- 4) від 1 : 1 до 1 : 2

**4. Вкажіть, як залежить вихід метанолу від температури та тиску:**

- 1) збільшується зі зменшенням тиску і збільшенням температури
- 2) зменшується зі зменшенням тиску і збільшенням температури
- 3) збільшується з ростом тиску і температури
- 4) зменшується зі зменшенням тиску і температури

**5. Вкажіть обладнання для синтезу метанолу у промисловості:**

- 1) реактор з шаром каталізатора, що рухається
- 2) башта з перетинками
- 3) реактор КШ
- 4) колону синтезу

**6. Вкажіть сучасний спосіб одержання етанолу у промисловості:**

- 1) парофазна каталітична гідратація етилену
- 2) кислотна гідратація етилену
- 3) конверсія метанолу із синтез газом
- 4) конверсія синтез газу

**7. Вкажіть продукт органічного синтезу, який одержують за циклічною схемою:**

- 1) бутадієн
- 2) ізопрен
- 3) метанол
- 4) ацетилен

**8. Вкажіть спільне у промислових синтезах метанолу й амоніаку:**

- 1) утворення великої кількості побічних продуктів
- 2) сировина
- 3) застосовується той самий каталізатор
- 4) умови проведення та апаратурне оформлення процесів

**9. Вкажіть каталізатор парофазної гідратації етилену:**

- 1) фосфатна кислота
- 2) цинк(II) оксид з промотором
- 3) купрумвмістний
- 4) залізо з промоторами

**10. Оптимальні умови синтезу метанолу визначаються:**

- 1) апаратурним оформленням процесу
- 2) умовами рівноваги, властивостями каталізатору, який застосовується
- 3) величиною теплового ефекту реакції
- 4) значенням ізобарно-ізотермічного потенціалу реакції

**11. Вкажіть апаратурне оформлення для проведення процесу синтезу етанолу:**

- 1) нейтралізатор ВТН    2) конденсатор    3) гідратор    4) піч

**12. Вкажіть сировину для одержання ізопрену:**

- 1) бутанол та формальдегід    2) синтез газ  
3) етанол    4) ізопентан, ізобутилен і формальдегід

**13. Теплоту екзотермічної реакції одержанні формальдегіду:**

- 1) компенсують ендотермічною реакцією дегідрування метанолу
- 2) відводять за допомогою теплоносіїв
- 3) використовують для нагрівання вихідних продуктів
- 4) не відводять, тому що тепловий ефект незначний

**14. Вкажіть основний недолік купрумвмісного каталізатора синтезу метанолу:**

- 1) недостатня селективність    2) низька термічна стійкість  
3) недостатня активність    4) отруєння

**15. Вкажіть основний промисловий спосіб одержання ацетилену:**

- 1) конверсія синтез газу    2) крекінг бутану  
3) гідратація етилену    4) піроліз вуглеводнів



**16. Вихід дивінілу при дегідуванні бутану:**

- 1) зростає при зменшенні тиску та збільшенні температури
- 2) зростає при зменшенні тиску та температури
- 3) зростає при збільшенні тиску та температури
- 4) зростає при збільшенні тиску та зменшенні температури

**17. Вкажіть апаратне оформлення процесу дегідування бутану та бутиленів при одержанні дивінілу:**

- 1) реактор КШ та реактор зі стаціонарним шаром каталізатору
- 2) трубчатий реактор та реактор із каталізатором, що рухається
- 3) реактор КШ та трубчатий реактор
- 4) багатополічний та трубчатий реактори

**18. Збільшення температури понад оптимальну при дегідуванні бутану призводить до:**

- 1) зміщення рівноваги в бік утворення продуктів реакції
- 2) крекінгу вуглеводнів
- 3) збільшення швидкості процесу
- 4) зміщення рівноваги в бік вихідних речовин

**19. Вкажіть роль каталізаторів при дегідуванні бутану:**

- 1) сприяють розірванню зв'язків С-С та перешкоджають розрив зв'язків С - Н
- 2) сприяють розірванню зв'язків С-Н та перешкоджають розрив зв'язків С - С
- 3) зрушують рівновагу реакції в бік утворення продуктів реакції
- 4) зрушують рівновагу реакції в бік вихідних речовин

**20. Вкажіть, яким чином знижують тиск при дегідуванні бутану:**

- 1) постійно відводять продукти реакції
- 2) вводять у реактор паливні гази
- 3) вводять у реактор перегріту пару
- 4) відводять із реактора водень, що виділяється

**21. Вкажіть побічні продукти одержання стиролу:**

- 1) етан, етилбензен, бензен
- 2) етилен, пропилен, триетилбензен
- 3) толуол, етан, метан, бензен
- 4) диетилбензен, бензен, етилен, метан, толуол

**22. Вкажіть сировину одержання ацетилену:**

- 1) синтез газ
- 2) бутан
- 3) етилен
- 4) метан

**23. Вкажіть сировину промислового одержання дивінілу:**

- 1) пентан    2) ацетилен    3) метан    4) бутан

**24. Вкажіть причину втрати активності алюміній-хромового каталізатора дегідрування бутану:**

- 1) відкладення коксу    2) адсорбція газоподібних речовин  
3) збільшення дисперсності часток каталізатора при перегріві

**25. Вкажіть апарат для розкладу етанолу при одержанні дивінілу за способом Лебедєва:**

- 1) колона синтезу    2) контактна печі  
3) сепаратор    4) гідратор

**26. Виберіть характеристику процесу одержання дивінілу за способом Лебедєва:**

- 1) незворотний, каталітичний, екзотермічний  
2) зворотний, екзотермічний, каталітичний  
3) зворотний, ендотермічний, каталітичний  
4) незворотний, ендотермічний, некаталітичний

**27. Вкажіть проміжний продукт при одержанні ізопрену з ізобутилену і формальдегіду:**

- 1) ізопентан    2) диметилдіоксан  
3) метилдіоксан    4) бутилен

**28. Вкажіть апарат, який використовують для синтезу оцтової кислоти:**

- 1) піч КШ    2) трубчатий реактор  
3) барботажна колона    4) башта з насадкою

**29. Вкажіть сировину для одержання оцтової кислоти у промисловості:**

- 1) синтез газ    2) етанол    3) етилен    4) бутан

**30. Вкажіть речовину, яка сприяє стабільній роботі купрумвмісного каталізатору синтезу метанолу:**

- 1) карбон(IV) оксид    2) водень  
3) карбон(II) оксид    4) нітроген(IV) оксид

**31. Не є побічним продуктом синтезу формальдегіду:**

- 1) етан    2) метан    3) водяний пар    4) оксиди вуглецю

**32. Вкажіть апарати, які використовують для виділення продуктів органічного синтезу з реакційної суміші:**

- 1) сепаратор, ректифікаційна колона      2) фільтр, конденсаційна колона  
3) холодильник, грануляційна башта      4) теплообмінник, реактор

**33. Вкажіть область протікання більшості процесів органічного синтезу:**

- 1) дифузійна      2) кінетична      3) перехідна

**34. Не відповідає оптимальним умовам процесу парофазної гідратації етилену:**

- 1) температура 550 - 590 К  
2) тиск 7- 8 Мпа  
3) об'ємна швидкість газової суміші 1800 - 2500 год<sup>-1</sup>  
4) каталізатор фосфатна кислота ( $w = 0,98$ )  
5) співвідношення  $\text{CH}_2=\text{CH}_2 : \text{H}_2\text{O} = 0,6 : 1,0$

**35. Не відповідає оптимальним умовам процесу синтезу метанолу:**

- 1) температура 350 - 410 °С,  
2) тиск 20 - 30 Мпа,  
3) об'ємна швидкість газової суміші 3500 - 4000 год<sup>-1</sup>,  
4) каталізатор  $\text{CuO}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  або  $\text{CuO}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  
5) співвідношення  $\text{CO} : \text{H}_2$  від 1 : 4 до 1 : 8.

**36. Не відповідає оптимальним умовам процесу синтезу метанолу:**

- 1) температура 220 - 300 °С,  
2) тиск 5 - 10 Мпа,  
3) об'ємна швидкість газової суміші 800 - 1000 год<sup>-1</sup>,  
4) каталізатор  $\text{ZnO} + \text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  
5) співвідношення  $\text{CO} : \text{H}_2$  від 1 : 4 до 1 : 8.

### Субтест «Ланцюги перетворень»

**вказіть поняття, які відповідають літерам А та В в запропонованій послідовності)**

**37. Послідовність процесів у схемі синтезу метанолу**

**стискування → А → підігрів → В → охолодження → ректифікація**

- 1) очистка    2) конденсація    3) конверсія      4) окиснення

**38. Послідовність апаратів в схемі виробництва метанолу:**

**компресор → А → змішувач → В → теплообмінник → ...**

- 1) колонна синтезу    2) скруббер    3) сепаратор    4) збірник    5) фільтр

**39. Послідовність апаратів в схемі виробництва метанолу:**

... теплообмінник → А → конденсатор → В → збірник сирцю

1) колонна синтезу 2) скруббер 3) сепаратор 4) змішувач 5) фільтр

**40. Послідовність апаратів в схемі виробництва етанолу каталітичною гідратацією етилену у паровій фазі: теплообмінник → А → реактор → збірник водного спирту → В → промивна колона з насадкою**

1) гідратор 2) підігрівач 3) холодильник  
4) змішувач 5) сепаратор 6) піч

**41. Послідовність процесів при одержанні етанолу гідратацією етилену: змішування → гідратація → А → очистка → В**

1) ректифікація 2) конденсація 3) конверсія 4) нейтралізація

**Субтест «Логічний зв'язок»**

**(проаналізуйте твердження А та В окремо, встановіть наявність або відсутність логічного зв'язку між ними. Запропонуйте відповідь з використанням таблиці)**

№	Твердження А	Твердження В	Зв'язок
1	вірно	вірно	вірно
2	невірно	вірно	невірно
3	вірно	невірно	невірно
4	невірно	невірно	невірно
5	вірно	вірно	невірно

43. Синтез метанолу здійснюють при температурі 50 °С (твердження А), тому що зі зменшенням температури рівновага реакції зрушується в бік одержання метанолу (твердження В).

44. При синтезі метанолу використовують тиск як фактор зрушення рівноваги (твердження А), тому що реакція відбувається зі зменшенням об'єму (твердження В).

45. Газ, який використовують для синтезу метанолу, очищають від сполук Сульфуру та оксидів Карбону (твердження А), тому що вони є контактними отрутами для каталізатора (твердження В).

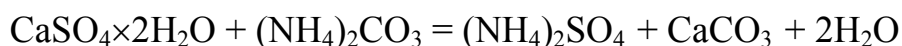
46. Синтез метанолу у промисловості ведуть при достатньо високих тиску та температурі (твердження А), тому що в основі процесу лежить зворотна екзотермічна реакція, яка відбувається зі зменшенням об'єму (твердження В).

47. Синтез метанолу здійснюють за циклічною схемою (твердження А), тому що за один прохід по технологічному ланцюгу ступень перетворення сировини складає 5 - 7 % (твердження В).

## Розділ 4. Промислові відходи та методи їх очищення

### Розрахункові задачі:

1. Максимально допустимий вміст амоніаку у повітрі виробничих приміщень 0,02 мг/л. Обчисліть, чи відповідає нормам вміст амоніаку у повітрі приміщень виробництва амонійної селітри площею 4800 м<sup>2</sup> і висотою 4,2 м, якщо відомо що при виробництві партії товарної амонійної селітри в атмосферу потрапило 424,7 м<sup>3</sup> (н.у.) амоніаку.
2. Вапняно-амонійну селітру виробляють з використанням в якості сировини фосфогіпсу:



Завдяки тому, що розчинність кальцій карбонату в 140 разів менша ніж кальцій сульфату реакція йде до кінця. Обчисліть яка маса фосфогіпсу може бути утилізована при одержанні 1 т селітри. Яка маса 45 % карбонатного розчину при цьому використовується за умови 5 % надлишку амоній карбонату.

3. При виробництві 1 т P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> у навколишнє середовище потрапляє 4,3 т фосфогіпсу, що містить (мас. %): 1,3 - 1,6 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,3 - 0,4 F, 1,5 - 2,0 SrO, 0,3 - 0,4 (P<sub>3</sub>E)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Обчисліть яка маса стронцію потрапить у навколишнє середовище при одержанні 1 т простого суперфосфату, що містить 18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.
4. В водойму об'ємом 500 000 м<sup>3</sup> потрапило 100 м<sup>3</sup> стічних вод виробництва, що містять 1600 кг сульфур(VI) оксиду. Токсична концентрація сульфатної кислоти для риб (карась) – 138 мг/л. Обчисліть концентрацію сульфатної кислоти у водоймі, за умови ідеального перемішування і відсутності кислоти до скидання стоків. Зробіть висновки.

### Тестові завдання

#### Субтест «Обізнаність» (вказіть одну вірну відповідь)

#### 1. Вкажіть галузь, яка найбільш забруднює атмосферу:

- 1) енергетика
- 2) металургія
- 3) хімічна промисловість
- 4) нафтопереробна промисловість

#### 2. Вкажіть найбільш шкідливий забруднювач водойм:

- 1) мінеральні добрива
- 2) нафта
- 3) іони міді
- 4) іони заліза

#### 3. Вкажіть речовини, які містять стічні води коксохімічної промисловості:

- 1) феноли
- 2) нафтопродукти
- 3) альдегіди
- 4) меркаптани

**4. Фотокаталітична очистка стічних вод передбачає:**

- 1) проведення окисно-відносних процесів під впливом кванту світла з використанням перекису водню
- 2) окиснення органічних домішок при температурі 250-300 °С та наявності каталізатору
- 3) використання волокнистих іонітів
- 4) спалювання стічних вод

**5. Каталітична очистка стічних вод передбачає:**

- 1) проведення окисно-відносних процесів під впливом кванту світла з використанням перекису водню
- 2) окиснення органічних домішок при температурі 250-300 °С та наявності каталізатору
- 3) використання волокнистих іонітів
- 4) спалювання стічних вод

**6. Ультрафільтрація як метод очистки стічних вод передбачає:**

- 1) пропускання стічної води перпендикулярно поверхні мембрани під тиском 0,1 МПа
- 2) окиснення органічних домішок при температурі 250-300 °С та наявності каталізатору
- 3) проведення окисно-відносних процесів під впливом кванту світла з використанням перекиси водню
- 4) пропускання стічної води паралельно поверхні мембрани під тиском 0,1 МПа

**7. Вкажіть показник забруднення стічних вод:**

- 1) ГДК (гранично допустима концентрація)
- 2) БСК (біологічне споживання кисню)
- 3) ГДК (гранично допустимий викид)
- 4) загальний вміст солей

**8. Вкажіть маловідходний процес:**

- 1) одержання простого суперфосфату
- 2) випал піриту
- 3) одержання хлориду калію з сильвініту
- 4) синтез амоніаку

**9. Вкажіть речовини, які містять стічні води целюлозно-паперової промисловості:**

- 1) феноли
- 2) нафтопродукти
- 3) нафтеніві кислоти
- 4) меркаптани

**10. Вкажіть речовини, які містять стічні води виробництва пластмас:**

- 1) ароматичні вуглеводні
- 2) нафтопродукти
- 3) ртуть
- 4) меркаптани

**11. Вкажіть речовини, які містять стічні води виробництва мінеральних добрив:**

- |            |                  |
|------------|------------------|
| 1) феноли  | 2) нафтопродукти |
| 3) кислоти | 4) меркаптани    |

**12. Вкажіть речовини, які містять стічні води виробництва хлору:**

- |              |                  |
|--------------|------------------|
| 1) ртуть     | 2) нафтопродукти |
| 3) альдегіди | 4) меркаптани    |

**13. Вкажіть гранично допустиме значення показника завислих речовин згідно вимог до води об'єктів господарського-побутового призначення:**

- |              |              |
|--------------|--------------|
| 1) 0,50 мг/л | 2) 0,25 мг/л |
| 3) 0,75 мг/л | 4) 1 мг/л    |

**14. Згідно вимог до води об'єктів господарського-побутового призначення літня температура не повинна перевищувати середньомісячну температуру самого жаркого місяця за останні 10 років на:**

- |          |         |          |         |
|----------|---------|----------|---------|
| 1) 10 °C | 2) 1 °C | 3) 15 °C | 4) 3 °C |
|----------|---------|----------|---------|

**15. Згідно вимог до води об'єктів господарського-побутового призначення рН не повинен виходити за межі:**

- |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1) 6,0 - 8,0 | 2) 5,5 - 8,5 | 3) 6,5 - 8,5 | 4) 5,5 - 7,5 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|

**16. Вкажіть значення показника вмісту розчиненого кисню у воді згідно вимог до об'єктів господарського-побутового призначення:**

- |                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| 1) не менш 4 мг/л | 2) не більш 5 мг/л |
| 3) не менш 6 мг/л | 4) не більш 6 мг/л |

**17. Під ХСК (хімічне споживання кисню) розуміють:**

1) масу кисню (мг), яка необхідна для окиснення 1 мг речовини в кінцеві продукти окиснення, або для окиснення органічних домішок, які містяться в 1 дм<sup>3</sup> води

2) масу кисню (мг), який витрачається за певний час на аеробне біохімічне окиснення (розклад) нестійких органічних речовин, які містяться в 1 дм<sup>3</sup> води

3) масу кисню (мг), який витрачається за певний час на анаеробне біохімічне окиснення (розклад) нестійких органічних речовин, які містяться в 1 дм<sup>3</sup> води

4) об'єм кисню (мл), яка необхідна для окиснення 1 мг речовини в кінцеві продукти окиснення, або для окиснення органічних домішок, які містяться в 1 дм<sup>3</sup> води

### 18. Під БСК (біологічне споживання кисню) розуміють:

1) масу кисню (мг), яка необхідна для окиснення 1 мг речовини в кінцеві продукти окиснення, або для окиснення органічних домішок, які містяться в 1 дм<sup>3</sup> води

2) масу кисню (мг), який витрачається за певний час на аеробне біохімічне окиснення (розклад) нестійких органічних речовин, які містяться в 1 дм<sup>3</sup> води

3) масу кисню (мг), який витрачається за певний час на анаеробне біохімічне окиснення (розклад) нестійких органічних речовин, які містяться в 1 дм<sup>3</sup> води

4) об'єм кисню (мл), яка необхідна для окиснення 1 мг речовини в кінцеві продукти окиснення, або для окиснення органічних домішок, які містяться в 1 дм<sup>3</sup> води

#### Субтест «Класифікація»

**(проаналізуйте запропоновані поняття; визначте поняття, які можна об'єднати в групу за певною ознакою; вкажіть поняття, що не відноситься до них)**

- 19. Біологічне окиснення, озонування, флотація, диспергування, електродіаліз
- 20. Флотація, флокуляція, відстоювання, адсорбція, зворотній осмос
- 21. Біологічні пруди, іонітні фільтри, земельні лани зрошування, біофільтри, аеротенки
- 22. Гравітаційне осадження, відцентрові методи очищення, інерційне осадження, електростатична очистка, евапорація

#### Субтест «Логічний зв'язок»

**(проаналізуйте твердження А та В окремо, встановіть наявність або відсутність логічного зв'язку між ними. Запропонуйте відповідь з використанням таблиці)**

№	Твердження А	Твердження В	Зв'язок
1	вірно	вірно	вірно
2	невірно	вірно	невірно
3	вірно	невірно	невірно
4	невірно	невірно	невірно
5	вірно	вірно	невірно

- 23. Забруднення Світового океану призводить до зменшення вмісту кисню у повітрі (твердження А), тому що процес фотосинтезу в водних рослинах значно швидше, ніж у рослинах на поверхні Землі (твердження В).



24. В атмосфері відбувається порушення природного вуглекислотно-кисневого балансу (твердження А), тому що витрати кисню на спалювання палива перевершує його кількість, яка утворюється в природі (твердження В).
25. Термін «безвідходне виробництво» декілька умовний (твердження А), тому що неможливо повністю ліквідувати відходи та не впливати на оточуюче середовище (твердження В).
26. Поховання твердих відходів у поверхневих сховищах є найбільш ефективним способом знешкодження (твердження А), тому що дозволяє повністю вирішити проблему відходів (твердження В).

### **Використані інформаційні джерела:**

1. Алтухов К.В., Мухленов И.П., Турмакина Е.С. Химическая технология. М.: Просвещение, 1985. 304 с.
2. Основы химической технологии. Под ред. И.П. Мухленова. М.: Высшая школа, 1991. 463 с.
3. Тихвинская Н.Ю., Волынский В.Е. Практикум по химической технологии. М.: Просвещение, 1984. 160 с.
4. Аранская О.С. Сборник задач и упражнений по химической технологии и биотехнологии. Минск: Университетское, 1989. 311 с.
5. Сборник задач по химической технологии: Учебн. пособие для студентов хим. и хим.-биол. спец. пед. ин-тов / И.И. Беляева, В.А. Трофимов, М.Ю. Тихвинская и др. М.: Просвещение, 1982. 143 с.
6. Ахметов Б.В. Задачи и упражнения по физической и коллоидной химии. Л.: Химия, 1988. 240 с.
7. Комплексное использование сырья и отходов / Б.М. Равич, В.П. Окладников, В.Н. Лыгач и др. М.: Химия, 1988. 288 с.
8. Расчеты по технологии неорганических веществ / М.Е. Позин, Б.А. Копылев, Г.В. Бельченко и др. Под ред. М. Е. Позина. 2-е изд., перераб. Л.: Химия, 1977. 496 с.
9. Кутепов А.М. и др. Общая химическая технология. М.: Высшая школа. 1985.
10. Расчеты химико-технологических процессов / А.Ф. Туболкин, Е.С. Тумаркина, З.Я. Тарат и др. Под ред. И. П. Мухленова. 2-е изд., перераб. и доп. Л. : Химия, 1982. 248 с.
11. Соколов Р.С. Химическая технология. В 2 т. М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2003. Т. 1, 368 с., Т. 2, 448 с.