

Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"  
Інститут хімічних технологій та фармацевтики

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до практичних занять та самостійної роботи з курсу  
**"Технологія соди та лугів"**  
для здобувачів вищої освіти за спеціальністю  
161 – Хімічні технології та інженерія

Затверджено на засіданні кафедри ХТ  
Протокол № 1 від 04.01.2022 р.

Одеса: ОП, 2022

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з курсу "Технологія соди та лугів" для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія / Уклад.: Л.В. Іванченко, В.Я. Кожухар, В.В. Брем, Шаповал І.В., Національний ун-т "Одеська політехніка". – Одеса, 2022. – 26 с.

Укладачі: Іванченко Л.В., к.т.н, доцент,  
Кожухар В.Я., д.т.н., професор,  
Брем В.В., к.х.н., доцент.  
Шаповал І.В., ст. викладач

*Л.В. Іванченко, В.Я. Кожухар, В.В. Брем, І.В. Шаповал. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з курсу "Технологія соди та лугів".* В методичних вказівках наведено приклади технологічних розрахунків основних стадій виробництва соди та лугів, варіанти індивідуальних контрольних завдань та довідкові дані. Методичні вказівки призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія.

## ЗМІСТ

1. СТАДІЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ КАРБОНАТНОЇ СИРОВИНИ .....	3
1.1 Приклади розв'язування задач .....	3
1.2 Завдання для самостійної роботи .....	6
1.3 Контрольні запитання .....	7
2 СТАДІЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ОЧИЩЕННЯ СИРОГО РОЗСОЛУ .....	8
2.1 Приклади розв'язування задач .....	8
2.2 Завдання для самостійної роботи .....	11
2.3 Контрольні запитання .....	12
3 СТАДІЯ АМОНІЗАЦІЇ ОЧИЩЕНОГО РОЗСОЛУ .....	12
3.1 Приклади розв'язування задач .....	12
3.2 Завдання для самостійної роботи .....	15
3.3 Контрольні запитання .....	15
4 СТАДІЯ КАРБОНІЗАЦІЇ АМОНІЗОВАНОГО РОЗСОЛУ .....	15
4.1 Приклади розв'язування задач .....	15
4.2 Завдання для самостійної роботи .....	18
4.3 Контрольні запитання .....	18
5 СТАДІЯ КАЛЬЦИНАЦІЇ .....	18
5.1 Приклади розв'язування задач .....	18
5.2 Завдання для самостійної роботи .....	22
5.3 Контрольні запитання .....	22
6 СТАДІЯ ДИСТИЛЯЦІЇ .....	22
6.1 Приклади розв'язування задач .....	22
6.2 Завдання для самостійної роботи .....	24
6.3 Контрольні запитання .....	25
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	<b>25</b>

## 1. СТАДІЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ КАРБОНАТНОЇ СИРОВИНИ

### 1.1 Приклади розв'язування задач

В цех вапняних печей надходить крейда такого складу, %:  $\text{CaCO}_3$  – 87,58;  $\text{MgCO}_3$  – 0,52;  $\text{SiO}_2$  – 1,26;  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,24;  $\text{H}_2\text{O}$  – 10,40. Склад коксу С – 76,08; S – 0,8; зола – 10,32;  $\text{H}_2\text{O}$  – 12,80. Ступінь випалювання крейди – 93 %; неповнота згорання вуглецю коксу – 1,1 %; ступінь згорання вуглецю коксу до  $\text{CO}_2$  – 97,4 %; ступінь згорання вуглецю коксу до CO – 1,5 %; коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$  – 1,05; відносна вологість повітря – 75 %. Склад повітря, % мас.:  $\text{O}_2$  – 23,1,  $\text{N}_2$  – 76,9. Температура повітря, крейди, коксу, які надходять – 16 °С. Температура відхідних газів – 150 °С. Температура вапна, яке вивантажують – 50 °С. Скласти матеріальний та енергетичний баланс стадії випалювання карбонатної сировини.

#### *Матеріальний розрахунок*

1. Горіння палива (з розрахунку на 1,00 кг коксу).

Згорає вуглецю до  $\text{CO}_2$ :

$$0,7608 \cdot 0,974 = 0,741 \text{ кг.}$$

Згорає вуглецю до CO:

$$0,7608 \cdot 0,0115 = 0,0114 \text{ кг.}$$

Залишається вуглецю у золі:

$$0,7608 \cdot 0,011 = 0,0084 \text{ кг.}$$

Кількість кисню, що теоретичне необхідно для згорання 0,741 кг вуглецю до  $\text{CO}_2$ :

$$0,741 \cdot 32 / 12 = 1,976 \text{ кг; при цьому утворюється } 2,717 \text{ кг } \text{CO}_2.$$

На згорання 0,0114 кг вуглецю у до CO необхідно кисню:

$$0,0114 \cdot 16 / 12 = 0,0152 \text{ кг; при цьому утворюється } 0,0266 \text{ кг CO.}$$

На згорання 0,008 кг сульфуру в  $\text{SO}_2$  витрачається кисню:

$$0,008 \cdot 32 / 32 = 0,008 \text{ кг; при цьому утворюється } 0,016 \text{ кг } \text{SO}_2.$$

Всього необхідно 1,9992 кг кисню.

За коефіцієнту надлишку повітря  $\alpha = 1,05$  необхідно ввести кисню 2,099 кг, тобто  $2,099 \cdot 0,231 = 9,087$  кг сухого повітря, яке містить 6,988 кг азоту. За 16 °С і відносної вологості 75 % вологовміст повітря становить 0,00872 кг  $\text{H}_2\text{O}$  на 1 кг сухого повітря. З 9,087 кг сухого повітря надходить 0,079 кг парів води.

Внаслідок згорання 1 кг коксу утворюються такі кількості газоподібних продуктів (в кг):  $\text{CO}_2$  – 1,717, CO – 0,027,  $\text{O}_2$  – 0,100,  $\text{N}_2$  – 6,988,  $\text{SO}_2$  – 0,016,  $\text{H}_2\text{O}$  (кокс) – 0,128,  $\text{H}_2\text{O}$  (повітря) – 0,079. Всього газоподібних продуктів згорання – 10,055 кг. Крім того, залишається 0,103 кг золи і 0,008 кг вуглецю, тобто 0,111 кг твердого залишку. Всього виходить  $10,055 + 0,111 = 10,166$  кг.

2. Випалювання крейди (в розрахунку на 1000 кг крейди).

1000 кг крейди містить (в кг):  $\text{CaCO}_3$  – 875,8;  $\text{MgCO}_3$  – 5,2;  $\text{SiO}_2$  – 12,6;  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  – 2,4;  $\text{H}_2\text{O}$  – 104,0.

В процесі випалювання розкладається  $\text{CaCO}_3$ :

$$875,8 \cdot 0,93 = 814,5 \text{ кг.}$$

Нерозкладений залишок  $\text{CaCO}_3$ :

$$875,8 - 814,5 = 61,3 \text{ кг}$$

За реакцією  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$  утворюється:

$$814,5 \cdot 56 / 100 = 456,1 \text{ кг CaO, } 814,5 \cdot 44 / 100 = 358,4 \text{ кг } \text{CO}_2.$$

За реакцією  $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$  утворюється:

$$5,2 \cdot 40,3 / 84,3 = 2,5 \text{ кг MgO, } 5,2 \cdot 44 / 84,3 = 2,7 \text{ кг } \text{CO}_2.$$

Всього утворюється  $358,4 + 2,7 = 361,1$  кг  $\text{CO}_2$ .

Складаємо попередній енергетичний баланс вапняної печі. Позначимо через  $x$  кількість (в кг) палива, необхідного для випалювання 1000 кг крейди. З енергетичного балансу визначаємо  $x$ . Потім складаємо матеріальний і енергетичний баланси печі. На 1000 кг вихідної крейди в одержаному вапні міститься  $0,008x$  кг вуглецю, що не згорів, і 0,103 кг золи. За рахунок вологи

повітря частково відбувається гідратація вапна за реакцією  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ . Кількість утвореного  $\text{Ca(OH)}_2$  визначається вмістом вологі у повітрі:

$$0,079 \times 74 / 18 = 0,325 \text{ х кг.}$$

В цій кількості  $\text{Ca(OH)}_2$  міститься  $\text{CaO}$ :

$$0,079 \times 56 / 18 = 0,246 \text{ х кг.}$$

Склад вапна, що виходить з печі (в кг):

$\text{CaO}$ .....456,1 – 0,246 х

$\text{Ca(OH)}_2$ .....0,325 х

$\text{MgO}$ .....2,5

$\text{CaCO}_3$ .....61,3

$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ .....2,4

$\text{SiO}_2$ .....12,6

Зола.....0,103 х

$\text{C}$ .....0,008 х

Всього.....534,9 + 0,190 х

Склад газів, що виходять з печі:

$\text{CO}_2$ .....361,1 + 2,717 х

$\text{CO}$ .....0,027 х

$\text{O}_2$ .....0,100 х

$\text{N}_2$ .....6,988 х

$\text{SO}_2$ .....0,016 х

$\text{H}_2\text{O}$ .....0,103 х

$\text{C}$ .....104,0 + 0,128 х

Всього.....465,1 + 9,976 х

### **Енергетичний розрахунок.**

Прихід енергії.

1. Фізична теплота крейди:

$$q_1 = (1000 - 104) \cdot 0,816 \cdot 16 + 104 \cdot 67,1 = 18677 \text{ кДж,}$$

де 0,816 – теплоємність крейди, кДж/(кг · град); 67,1 – ентальпія води за 16 °С, кДж/кг.

2. Фізична теплота коксу:

$$q_2 = (1 - 0,128) \times 1,047 \cdot 16 + 0,128 \times 67,1 = 23,20 \text{ х кДж,}$$

де 1,047 – теплоємність коксу, кДж/(кг · град); 0,128 – вміст вологі у коксі, кг/кг.

3. Фізична теплота повітря

$$q_3 = 9,087 \times 38,08 = 336,03 \text{ х кДж,}$$

де 38,08 – ентальпія повітря, кДж на 1 кг сухого повітря.

4. Теплота згорання коксу

від згорання вуглецю до  $\text{CO}_2$

$$2,717 \times 8941,2 = 24293,24 \text{ х кДж,}$$

де 8941,2 – теплота згорання вуглецю до  $\text{CO}_2$ , кДж на 1 кг  $\text{CO}_2$ ;

від згорання вуглецю до  $\text{CO}$

$$0,027 \times 3944,9 = 106,51 \text{ х кДж,}$$

де 3944,9 – теплота згорання вуглецю до  $\text{CO}$ , кДж на 1 кг  $\text{CO}$ ;

від згорання сірки в  $\text{SO}_2$

$$0,016 \times 4634,3 = 74,15 \text{ х кДж,}$$

де 4634,3 – теплота згорання сірки в  $\text{SO}_2$ , кДж на 1 кг  $\text{SO}_2$ .

Всього теплоти від згорання коксу:

$$q_4 = 24293,24 \text{ х} + 106,51 \text{ х} + 74,15 \text{ х} = 24473,90 \text{ х кДж.}$$

5. Теплота гасіння вапна вологою повітря:



$$Q_p = 986,20 - (635,10 + 241,84) = 109,26 \text{ кДж/моль,}$$

де 986,20 – теплота утворення  $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{тв})}$ , кДж/моль; 635,10 – теплота утворення  $\text{CaO}_{(\text{тв})}$ , кДж/моль; 241,84 – теплота утворення  $\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$ , кДж/моль.

Оскільки всі речовини приймають участь у реакції в кількості 1 моль, то не має різниці до якої речовини відносити  $Q_p$ .

Отже

$$q_5 = 109,26 \cdot 0,079 \cdot 1000 / 18 = 479,10 \text{ х кДж.}$$

$$Q_{\text{пр}} = 18677 + 23,20 \text{ х} + 346,03 \text{ х} + 24473,90 \text{ х} + 479,10 \text{ х} = 18677 + 25322,23 \text{ х кДж.}$$

Витрата енергії.

1. З відхідними газами

$$q_1 = (m_{\text{CO}_2} \cdot c_{\text{CO}_2} + m_{\text{CO}} \cdot c_{\text{CO}} + \dots) \cdot t_{\text{видх}} + m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot i_{\text{H}_2\text{O}};$$

$$q_1 = [(361,1 + 2,717 \text{ х}) \cdot 0,892 + 0,027 \text{ х} \cdot 1,044 + 0,100 \text{ х} \cdot 0,932 + 6,988 \text{ х} \cdot 1,044 + 0,016 \text{ х} \times \\ \times 0,649] \cdot 150 + (104,0 + 0,128 \text{ х}) \cdot 2783 = 337747 + 1833,85 \text{ х кДж,}$$

де 0,892, 1,044, 0,932, 1,044, 0,649 – теплоємності  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , кДж/(кг · град); 2783 – ентальпія пари води за 0,1 МПа і 150 °С кДж/кг.

2. З вапном, що вивантажується

$$q_2 = (534,9 + 0,190 \text{ х}) \cdot 0,795 \cdot 50 = 21260 + 7,55 \text{ х кДж,}$$

де 0,795 – теплоємність технічного вапна, кДж/(кг · град).

3. Розкладання  $\text{CaCO}_3$  за реакцією  $\text{CaCO}_{3(\text{тв})} \rightarrow \text{CaO}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{2(\text{г})} - 177,39$  кДж/моль

$$Q_p = (635,10 + 393,51) - 1206,00 = 177,39 \text{ кДж/моль,}$$

де 393,51 – теплота утворення  $\text{CO}_{2(\text{г})}$ , кДж/моль; 1206,00 – теплота утворення  $\text{CaCO}_{3(\text{тв})}$ , кДж/моль.

$$q_3 = 177,39 \cdot 814,5 \cdot 1000 / 100 = 1443000 \text{ кДж.}$$

4. Розкладання  $\text{MgCO}_3$  за реакцією  $\text{MgCO}_{3(\text{тв})} \rightarrow \text{MgO}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{2(\text{г})} - 101,46$  кДж/моль

$$Q_p = (601,24 + 393,51) - 1096,21 = 101,46 \text{ кДж/моль,}$$

де 601,24 – теплота утворення  $\text{MgO}_{(\text{тв})}$ , кДж/моль; 1096,21 – теплота утворення  $\text{MgCO}_{3(\text{тв})}$ , кДж/моль.

$$q_4 = 101,46 \cdot 5,2 \cdot 1000 / 84,3 = 6256 \text{ кДж.}$$

5. Втрати теплоти в навколишнє середовище приймаємо 12 % від приходу теплоти:

$$q_5 = (18677 + 25322,23 \text{ х}) \cdot 0,12 = 2241 + 3038,67 \text{ х кДж.}$$

$$Q_{\text{витр}} = 337747 + 1833,85 \text{ х} + 21260 + 7,55 \text{ х} + 1443000 + 6256 + 2241 + 3038,67 \text{ х} = 1810504 + \\ + 4880,07 \text{ х кДж.}$$

Кількість коксу:

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{витр}}$$

$$18677 + 25322,23 \text{ х} = 1810504 + 4880,07 \text{ х};$$

$$\text{х} = 87,7 \text{ кг.}$$

**Склад продуктів, одержаних в випалювальній печі (на 1000 кг крейди).**

Кількість  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в перерахунку на  $\text{CaO}$ :

$$28,5 \cdot 56 / 74 = 21,6 \text{ кг.}$$

Тоді сума  $\text{CaO}$  у вапні, що виходить з печі становить:

$$434,5 + 21,6 = 456,1 \text{ кг,}$$

$$\% \text{ CaO у вапні становить } 456,1 / 551,5 \cdot 100 = 82,7 \%.$$

З 1000 кг крейди виходить стандартного 85 % вапна:

$$551,5 \cdot 82,7 / 85 = 536,6 \text{ кг,}$$

а з 1000 кг 100 %  $\text{CaCO}_3$

$$536,6 \cdot 100 / 87,58 = 612,7 \text{ кг}$$

Складаємо таблиці матеріального та енергетичного розрахунків.

Таблиця 1.1 – Зведений матеріальний баланс вапняно-випалювальної печі на 1000 кг крейди

Прихід			Витрата		
Стаття	Розрахунок	кг	Стаття	Розрахунок	кг
1. Крейда, в т.ч.		1000	1. Вапно:		551,5
CaCO <sub>3</sub>		875,8	CaO	$456,1 - 2,099 \cdot 87,7$	434,5
MgCO <sub>3</sub>		5,2	Ca(OH) <sub>2</sub>	$0,325 \cdot 87,7$	28,5
SiO <sub>2</sub>		12,6	MgO		2,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		2,4	CaCO		61,3
H <sub>2</sub> O		104,0	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		2,4
2. Кокс		87,7	SiO <sub>2</sub>		12,6
3. Повітря, в т.ч		803,8	C	$0,008 \cdot 87,7$	0,7
O <sub>2</sub>	$2,099 \cdot 87,7$	184,1	зола	$0,103 \cdot 87,7$	9,0
N <sub>2</sub>	$6,988 \cdot 87,7$	612,8	2. Газ, в т.ч.		1340,0
H <sub>2</sub> O	$0,079 \cdot 87,7$	6,9	CO <sub>2</sub>	$361,1 + 2,717 \cdot 87,7$	599,4
			CO	$0,027 \cdot 87,7$	2,4
			O <sub>2</sub>	$0,100 \cdot 87,7$	8,8
			N <sub>2</sub>	$6,988 \cdot 87,7$	612,8
			SO <sub>2</sub>	$0,016 \cdot 87,7$	1,4
			H <sub>2</sub> O	$104,0 + 0,128 \cdot 87,7$	115,2
Всього		1891,5	Всього		1891,5

Таблиця 1.2 – Зведений енергетичний баланс вапняно-випалювальної печі на 1000 кг крейди

Прихід			Витрата		
Стаття	Розрахунок	кДж	Стаття	Розрахунок	кДж
1. З крейдою.		18677	1. З газом	$337747 + 1833,85 \cdot 87,7$	498576
2. З коксом	$23,20 \cdot 87,7$	2035	2. З вапном	$21260 + 7,55 \cdot 87,7$	21922
3. З повітрям	$346,03 \cdot 87,7$	30347	3. На розкладання CaCO <sub>3</sub>		1443000
4. Тепло згорання коксу	$24473,90 \cdot 87,7$	2146361	4. На розкладання MgCO <sub>3</sub>		6256
5. Тепло гасіння вапна	$479,10 \cdot 87,7$	42017	5. Втрати в навколишнє середовище	$2241 + 3038,67 \cdot 87,7$	268732
Всього		2239437	Всього		2238486

Нев'язка у балансі становить  $2239437 - 2238486 = 951$  кДж або 0,04 %.

### 1.2 Завдання для самостійної роботи

Відповідно до варіанту (табл. 1.3) скласти матеріальний та енергетичний баланс стадії випалювання карбонатної сировини, якщо коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha = 1,05$ ; відносна вологість повітря – 75 %. Склад повітря, % мас.: O<sub>2</sub> – 23,1, N<sub>2</sub> – 76,9. Температура повітря, крейди, коксу, які надходять – 16 °С. Температура відхідних газів – 150 °С. Температура вапна, яке вивантажують – 50 °С.

Таблиця 1.3 – Варіанти контрольного завдання № 1.

№	Склад карбонатної сировини, %					Склад коксу				η	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	C	S	зола	H <sub>2</sub> O				
1	85,12	0,49	1,27	0,27	12,85	76,06	0,75	10,34	12,85	94	0,92	97,76	1,32
2	86,11	0,48	1,32	0,20	11,89	75,96	0,72	10,43	12,89	97	1,02	97,74	1,24
3	85,15	0,50	1,28	0,26	12,81	76,12	0,86	10,56	12,46	92	0,98	97,37	1,65
4	85,39	0,51	1,35	0,21	12,54	76,04	0,95	11,12	11,89	91	1,24	97,24	1,52
5	87,05	0,52	1,20	0,25	10,98	76,09	0,83	10,84	12,24	90	0,95	97,67	1,38
6	86,45	0,53	1,34	0,22	11,46	74,94	0,71	10,78	13,57	93	1,28	97,25	1,47
7	84,85	0,54	1,21	0,28	13,12	75,7	0,69	10,36	13,25	89	0,84	97,73	1,43
8	86,17	0,55	1,29	0,23	11,76	76,09	0,78	10,49	12,64	91	0,96	97,48	1,56
9	85,5	0,56	1,22	0,24	12,48	75,38	0,72	10,47	13,43	92	1,12	97,1	1,78
10	84,68	0,49	1,32	0,27	13,24	77,16	0,80	10,36	11,68	93	1,21	97,54	1,25
11	85,43	0,48	1,23	0,21	12,65	76,9	0,82	10,43	11,85	95	1,08	97,28	1,64
12	85,61	0,50	1,31	0,20	12,38	76,24	0,75	10,65	12,36	96	0,95	97,59	1,46
13	86,15	0,51	1,24	0,25	11,85	75,32	0,86	10,86	12,96	95	0,90	97,53	1,57
14	85,39	0,52	1,32	0,23	12,54	76,18	0,95	10,93	11,94	94	0,85	97,31	1,84
15	84,58	0,53	1,25	0,28	13,36	76,16	0,68	9,89	13,27	93	1,05	97,7	1,25
16	85,26	0,54	1,26	0,22	12,72	74,94	0,76	11,15	13,15	92	1,02	97,45	1,53
17	85,08	0,55	1,27	0,26	12,84	75,75	0,81	10,68	12,76	91	1,24	97,4	1,36
18	85,92	0,56	1,33	0,23	11,96	75,85	0,88	10,45	12,82	90	0,96	97,62	1,42
19	85,67	0,51	1,37	0,25	12,20	75,77	0,79	10,38	13,06	89	0,98	97,45	1,57
20	85,49	0,49	1,23	0,24	12,55	75,95	0,74	10,76	12,55	94	1,12	97,24	1,64

η – ступінь випалювання крейди, %; k<sub>1</sub> – неповнота згорання вуглецю коксу, %; k<sub>2</sub> – ступінь згорання вуглецю коксу до CO<sub>2</sub>, %; k<sub>3</sub> – ступінь згорання вуглецю коксу до CO, %.

### 1.3 Контрольні запитання

1. Які властивості кальцинованої соди?
2. Навести області застосування соди.
3. Привести принципову та хімічну схеми виробництва соди амонійним способом.
4. Яку сировину застосовують у виробництві кальцинованої соди?
5. Від чого залежить концентрація карбону (IV) оксиду у пічному газі?
6. Указати причини, що викликають утворення карбону (II) оксиду у печі і мери боротьби з його утворенням.
7. Указати причини збільшення температури вапна.
8. Що необхідно зробити для зниження температури відхідних газів?
9. Чому збільшення витрати повітря за незмінної кількості палива викликає зниження температури в зоні випалювання?
10. Як впливає утворення "козлів" на нормальну роботу печі? Вкажіть заходи боротьби з ними.
11. Перелічіть причини утворення перегарту.
12. Що впливає на температуру зони випалювання?
13. Вкажіть домішки в карбонатній сировині і поясніть їх вплив на якість вапна.

## 2 СТАДІЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ОЧИЩЕННЯ СИРОГО РОЗСОЛУ

### 2.1 Приклади розв'язування задач

**Приклад 2.1.** Концентрація CaO у вапняному молоку становить 189 н. д. Визначити вміст CaO і Ca(OH)<sub>2</sub> у вапняному молоку, а також концентрацію іонів Ca<sup>2+</sup> і OH<sup>-</sup>, г/л.

*Розв'язок.* Вміст компонентів, г/л, розраховуємо в такий спосіб:

$$C_{\text{CaO}} = \frac{189 \cdot (56/2)}{20} = 265;$$

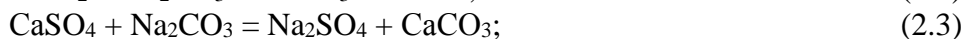
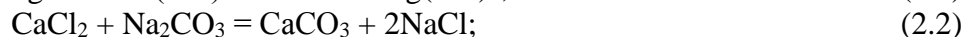
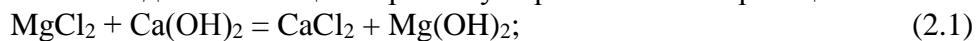
$$C_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{189 \cdot (40/2)}{20} = 189;$$

$$C_{\text{Ca(OH)}_2} = \frac{189 \cdot (74/2)}{20} = 350;$$

$$C_{\text{OH}^-} = \frac{189 \cdot 17}{20} = 161.$$

**Приклад 2.2.** Визначити витрату соди і кальцію гідроксиду для очищення 1 м<sup>3</sup> розсолу, який містить, кг: CaSO<sub>4</sub> – 6,71; MgCl<sub>2</sub> – 0,63; CaCl<sub>2</sub> – 0,33.

*Розв'язок.* В процесі вапняно-содового очищення розсолу перебігають такі реакції:



Витрата Ca(OH)<sub>2</sub>, необхідна для осадження Mg(OH)<sub>2</sub> за реакцією (2.1), становить:

$$\frac{0,63 \cdot 74}{95,2} = 0,49 \text{ кг},$$

де 74 і 95,2 – молекулярні маси Ca(OH)<sub>2</sub> і MgCl<sub>2</sub> відповідно.

За 10 % надлишку витрата Ca(OH)<sub>2</sub> становить:

$$0,49 \cdot 1,1 = 0,54 \text{ кг}.$$

Розраховуємо витрату соди, кг:

– для переведення в CaCO<sub>3</sub> кальцію хлориду, одержаного за реакцією (2.1) (розраховуємо за вмістом в розсолі магнію хлориду):

$$\frac{0,63 \cdot 106}{95,2} = 0,7 \text{ кг},$$

де 106 – молекулярна маса Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>;

– для переведення в CaCO<sub>3</sub> кальцію хлориду, який міститься у вихідному розсолі:

$$\frac{0,33 \cdot 106}{111} = 0,32 \text{ кг},$$

де 111 – молекулярна маса CaCl<sub>2</sub>;

– для переведення в CaCO<sub>3</sub> кальцію сульфату, який міститься у вихідному розсолі:

$$\frac{6,71 \cdot 106}{136} = 5,23 \text{ кг},$$

де 136 – молекулярна маса CaSO<sub>4</sub>;

– для зв'язування надлишкового Ca(OH)<sub>2</sub>, що введений для осадження Mg(OH)<sub>2</sub>:

$$\frac{(0,54 - 0,49) \cdot 106}{74} = 0,07 \text{ кг},$$

Загальна витрата соди становить:

$$0,7 + 0,32 + 5,23 + 0,07 = 6,32 \text{ кг}.$$

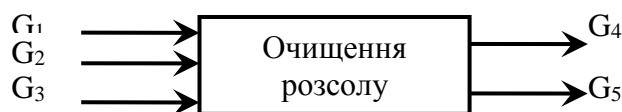
В перерахунку на стандартну 95 % соду її витрата на очищення 1 м<sup>3</sup> розсолу становитиме:

$$6,32/0,95 = 6,65 \text{ кг}.$$



**Приклад 2.3.** Скласти матеріальний баланс очищення 1000 л сирого розсолу такого складу, н.д.: NaCl – 106, CaCl<sub>2</sub> – 1, CaSO<sub>4</sub> – 0,5, MgSO<sub>4</sub> – 0,5. Густина розсолу 1,2 кг/м<sup>3</sup>, концентрація вапняної суспензії 33,5 %, концентрація розчину соди 24 %.

*Розв'язок.* Складаємо схему матеріальних потоків і визначаємо їхній якісний склад.



$G_1$  – маса вихідного розсолу;

$$G_1 = G_{\text{NaCl}} + G_{\text{CaCl}_2} + G_{\text{CaSO}_4} + G_{\text{MgSO}_4} + G_{\text{H}_2\text{O}}^1 \cdot$$

$G_2$  – маса вапняної суспензії;

$$G_2 = G_{\text{Ca(OH)}_2} + G_{\text{H}_2\text{O}}^2 \cdot$$

$G_3$  – маса розчину соди;

$$G_3 = G_{\text{Na}_2\text{CO}_3} + G_{\text{H}_2\text{O}}^3 \cdot$$

$G_4$  – маса очищеного розсолу;

$$G_4 = G_{\text{NaCl}} + G_{\text{H}_2\text{O}}^1 + G_{\text{H}_2\text{O}}^2 + G_{\text{H}_2\text{O}}^3 + G_{\text{NaCl}}^p + G_{\text{Na}_2\text{SO}_4},$$

де  $G_{\text{NaCl}}^p$  – кількість натрію хлориду, що утворився за реакцією 2.2;

$G_{\text{Na}_2\text{SO}_4}$  – кількість натрію сульфату, що утворився за реакцією 2.3.

$G_5$  – осад;

$$G_5 = G_{\text{CaCO}_3}^1 + G_{\text{CaCO}_3}^2 + G_{\text{Mg(OH)}_2},$$

де  $G_{\text{CaCO}_3}^1$  – кількість кальцію карбонату, що утворився за реакцією 2.2;

$G_{\text{CaCO}_3}^2$  – кількість кальцію карбонату, що утворився за реакцією 2.3;

$G_{\text{Mg(OH)}_2}$  – кількість утвореного магнію гідроксиду

#### ***Перший потік.***

Маса потоку:  $G_1 = 1000 \cdot 1,2 = 1200$  кг.

Розраховуємо концентрацію солей в першому потоці та їхню кількість:

$$C_{\text{NaCl}} = \frac{106 \cdot 58,5}{20} = 310,05 \text{ г/л}; \quad G_{\text{NaCl}} = 310,05 \cdot 1,2 = 372,06 \text{ кг};$$

$$C_{\text{CaCl}_2} = \frac{1 \cdot (111/2)}{20} = 2,775 \text{ г/л}; \quad G_{\text{CaCl}_2} = 2,775 \cdot 1,2 = 3,33 \text{ кг};$$

$$C_{\text{CaSO}_4} = \frac{0,5 \cdot (136/2)}{20} = 1,7 \text{ г/л}; \quad G_{\text{CaSO}_4} = 1,7 \cdot 1,2 = 2,04 \text{ кг};$$

$$C_{\text{MgSO}_4} = \frac{0,5 \cdot (120/2)}{20} = 1,5 \text{ г/л}; \quad G_{\text{MgSO}_4} = 1,5 \cdot 1,2 = 1,8 \text{ кг};$$

$$G_{\text{H}_2\text{O}}^1 = 1200 - 372,06 - 3,33 - 2,04 - 1,8 = 820,77 \text{ кг}.$$

#### ***Другий потік.***

Розраховуємо необхідну кількість кальцію гідроксиду для осадження магнію гідроксиду за реакцією:



$$G_{\text{Ca(OH)}_2} = \frac{G_{\text{MgSO}_4} \cdot M_{\text{Ca(OH)}_2}}{M_{\text{MgSO}_4}} = \frac{1,8 \cdot 74}{120} = 1,11 \text{ кг}.$$

Розраховуємо кількість води у вапняній суспензії:

$$G_{\text{H}_2\text{O}}^2 = \frac{1,11 \cdot 0,665}{0,335} = 2,2 \text{ кг.}$$

Маса другого потоку:

$$G_2 = 1,11 + 2,2 = 3,31 \text{ кг.}$$

### **Третій потік.**

Сода необхідна для осадження  $\text{CaCO}_3$  за реакціями (2.3) та (2.2). Крім того, що кальцій сульфат присутній у вихідному розсолі, він ще утворюється за реакцією (2.5).

Розраховуємо кількість  $\text{CaSO}_4$ , що утворюється за реакцією (2.5):

$$G_{\text{CaSO}_4(\text{утв})} = \frac{G_{\text{MgSO}_4} \cdot M_{\text{CaSO}_4}}{M_{\text{MgSO}_4}} = \frac{1,8 \cdot 136}{120} = 2,04 \text{ кг.}$$

Загальна кількість кальцію сульфату:

$$G_{\text{CaSO}_4(\text{зар})} = G_{\text{CaSO}_4} + G_{\text{CaSO}_4(\text{утв})} = 2,04 + 2,04 = 4,08 \text{ кг.}$$

Розраховуємо необхідну кількість соди для осадження кальцію карбонату з  $\text{CaSO}_4$ :

$$G_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^1 = \frac{G_{\text{CaSO}_4(\text{зар})} \cdot M_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{M_{\text{CaSO}_4}} = \frac{4,08 \cdot 106}{136} = 3,18 \text{ кг.}$$

Розраховуємо необхідну кількість соди для осадження кальцію карбонату з  $\text{CaCl}_2$ :

$$G_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^2 = \frac{G_{\text{CaCl}_2} \cdot M_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{M_{\text{CaCl}_2}} = \frac{3,33 \cdot 106}{111} = 3,18 \text{ кг.}$$

Загальна кількість соди:

$$G_{\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{зар})} = G_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^1 + G_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^2 = 3,18 + 3,18 = 6,36 \text{ кг.}$$

Розраховуємо кількість води у розчині соди:

$$G_{\text{H}_2\text{O}}^3 = \frac{6,36 \cdot 0,76}{0,24} = 20,14 \text{ кг.}$$

Маса третього потоку:

$$G_3 = 6,36 + 20,14 = 26,5 \text{ кг.}$$

### **Четвертий потік.**

Розраховуємо кількість натрій хлориду, що утворюється за реакцією (2.2):

$$G_{\text{NaCl}}^p = \frac{G_{\text{CaCl}_2} \cdot 2 \cdot M_{\text{NaCl}}}{M_{\text{CaCl}_2}} = \frac{3,33 \cdot 2 \cdot 58,5}{111} = 3,51 \text{ кг.}$$

Розраховуємо кількість натрій сульфату, що утворюється за реакцією (2.3):

$$G_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = \frac{G_{\text{CaSO}_4(\text{зар})} \cdot M_{\text{Na}_2\text{SO}_4}}{M_{\text{CaSO}_4}} = \frac{4,08 \cdot 142}{136} = 4,26 \text{ кг.}$$

Маса четвертого потоку:

$$G_4 = 372,06 + 820,77 + 2,2 + 20,14 + 3,51 + 4,26 = 1222,94 \text{ кг.}$$

### **П'ятий потік.**

Розраховуємо кількість кальцій карбонату, що утворюється за реакцією (2.2):

$$G_{\text{CaCO}_3}^1 = \frac{G_{\text{CaCl}_2} \cdot M_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{CaCl}_2}} = \frac{3,33 \cdot 100}{111} = 3 \text{ кг.}$$

Розраховуємо кількість кальцій карбонату, що утворюється за реакцією (2.3):

$$G_{\text{CaCO}_3}^2 = \frac{G_{\text{CaSO}_4(\text{зар})} \cdot M_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{CaSO}_4}} = \frac{4,08 \cdot 100}{136} = 3 \text{ кг.}$$

Розраховуємо кількість осадженого магній гідроксиду за реакцією (2.5):

$$G_{\text{Mg}(\text{OH})_2} = \frac{G_{\text{MgSO}_4} \cdot M_{\text{Mg}(\text{OH})_2}}{M_{\text{MgSO}_4}} = \frac{1,8 \cdot 58}{120} = 0,87 \text{ кг.}$$

Маса п'ятого потоку:

$$G_5 = 3 + 3 + 0,87 = 6,87 \text{ кг.}$$

Результати розрахунків заносимо до зведеної таблиці матеріального балансу.

Таблиця 2.1 – Зведений баланс стадії очищення сирого розсолу

Прихід			Витрата		
Стаття	кг	%	Стаття	кг	%
1.Сирий розсіл, в т.ч.	1200	100	4. Очищений розсіл, в т.ч.	1222,94	100
NaCl	372,06	31,01	NaCl	375,57	30,71
CaCl <sub>2</sub>	3,33	0,28	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,26	0,35
CaSO <sub>4</sub>	2,04	0,17	H <sub>2</sub> O	843,11	68,94
MgSO <sub>4</sub>	1,8	0,15	5. Осад, в т.ч.	6,87	100
H <sub>2</sub> O	820,77	68,39	CaCO <sub>3</sub>	6	87,34
2.Вапняна суспензія, в т.ч.	3,31	100	Mg(OH) <sub>2</sub>	0,87	12,66
Ca(OH) <sub>2</sub>	1,11	33,5			
H <sub>2</sub> O	2,2	66,5			
3.Розчин соди, в т.ч.	26,5	100			
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	6,36	24			
H <sub>2</sub> O	20,14	76			
Всього	1229,81		Всього	1229,81	

## 2.2 Завдання для самостійної роботи

Відповідно до варіанту (табл. 2.2) скласти матеріальний баланс очищення сирого розсолу. Густина розсолу 1,2 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 2.2 – Варіанти контрольного завдання № 2.

№	Об'єм сирого розсолу, м <sup>3</sup>	Склад сирого розсолу, н.д.				C <sub>Ca(OH)<sub>2</sub></sub> , %	C <sub>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></sub> , %
		NaCl	CaCl <sub>2</sub>	CaSO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>		
1	1200	106,0	1,05	0,41	0,55	33,0	25,0
2	1250	106,1	1,02	0,55	0,42	33,1	24,9
3	1300	105,9	1,03	0,42	0,54	33,2	24,8
4	1400	105,8	1,04	0,54	0,43	33,3	24,7
5	1100	106,2	1,06	0,43	0,53	33,4	24,6
6	1500	106,3	1,07	0,53	0,44	33,5	24,5
7	1550	105,7	1,08	0,44	0,52	33,6	24,4
8	1600	106,4	1,09	0,52	0,45	33,7	24,3
9	1300	106,5	1,10	0,45	0,51	33,8	24,2
10	1700	105,6	1,04	0,51	0,50	33,9	24,1
11	1250	105,5	1,05	0,50	0,41	33,0	23,9
12	2000	106,1	1,02	0,41	0,55	33,1	23,8
13	2100	105,9	1,03	0,55	0,42	33,2	23,7
14	1900	105,8	1,04	0,42	0,54	33,3	23,6
15	1800	106,2	1,06	0,54	0,43	33,4	23,5
16	1650	106,3	1,07	0,43	0,53	33,5	23,4
17	1750	105,7	1,08	0,53	0,44	33,6	23,3
18	1360	106,4	1,09	0,44	0,52	33,7	23,2
19	1450	106,5	1,10	0,52	0,45	33,8	23,8
20	1050	105,6	1,04	0,45	0,55	33,9	23,7

## 2.3 Контрольні запитання

1. Що розуміють під концентрацією вапняного молока?
2. Яке значення має концентрація вапняного молока в содовому виробництві?
3. Чому прагнуть отримувати вапняне молоко з високою температурою?
4. Від чого залежить ступінь дисперсності вапняного молока і яке це має значення?
5. Вкажіть склад вапняного молока.
6. Як і для чого очищають вапняне молоко від домішок?
7. Які основні показники визначають нормальну роботу відділення гасіння вапна.
8. Поясніть необхідність попереднього очищення розсолу.
9. Які хімічні реакції відбуваються в процесі очищення розсолу?
10. Яку роль відіграє порядок змішування реагентів в процесі очищення розсолу?
11. Поясніть необхідність надлишку осаджувальних реагентів.
12. Чому для очищення розсолу розбавляють содовий розчин і вапняне молоко очищеним розсолу?

## 3 СТАДІЯ АМОНІЗАЦІЇ ОЧИЩЕНОГО РОЗСОЛУ

### 3.1 Приклади розв'язування задач

**Приклад 3.1.** Скласти матеріальний баланс першого абсорбера (АБ-1). Склад рідини, що надходить, н. д.:  $\text{Cl}^-$  – 102,5;  $\text{NH}_3$  – 19,2;  $\text{CO}_2$  – 7,9; густина розсолу –  $1197 \text{ кг/м}^3$ . Кількість рідини, що орошає АБ-1, становить  $5,19 \text{ м}^3$  на 1000 кг соди. В цій кількості рідини міститься, кг:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 36,2; домішки – 4,7. Склад рідини, що виходить, н. д.:  $\text{Cl}^-$  – 95,4;  $\text{NH}_3$  – 61,2;  $\text{CO}_2$  – 27,1; густина розсолу –  $1179 \text{ кг/м}^3$ . Кількість і склад газової суміші, що надходить з АБ-2 в АБ-1, кг на 1000 кг соди:  $\text{NH}_3$  – 206,09;  $\text{CO}_2$  – 122,2;  $\text{H}_2\text{O}$  – 42,2; повітря – 10. Розрахунок вести на 1000 кг соди.

*Розв'язок.* Розраховуємо сольовий склад рідини, яка надходить в АБ-1:

$\text{NaCl}$ :  $102,5 \cdot 58,5 / 20 = 300 \text{ кг/м}^3$ ;  $300 \cdot 5,19 = 1557 \text{ кг}$ ;

$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ :  $7,9 \cdot (96 / 2) / 20 = 18,97 \text{ кг/м}^3$ ;  $18,97 \cdot 5,19 = 98,4 \text{ кг}$ ;

$\text{NH}_4\text{OH}$ :  $(19,2 - 7,9) \cdot 35 / 20 = 19,8 \text{ кг/м}^3$ ;  $19,8 \cdot 5,19 = 102,8 \text{ кг}$ ;

$\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 36,2 кг;

домішки – 4,7 кг.

Всього – 1799,1 кг.

Кількість води у рідині, що надходить становить:  $5,19 \cdot 1197 - 1799,1 = 4413,32 \text{ кг}$ .

Розраховуємо об'єм рідини, що виходить з АБ-1:

$$V_{\text{АБ-1}} = V_{\text{вих}} \cdot \frac{[\text{Cl}^-]_{\text{вих}}}{[\text{Cl}^-]_{\text{АБ-1}}} = 5,19 \cdot \frac{102,5}{95,4} = 5,58 \text{ м}^3.$$

Кількість  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , що виходить з рідиною з АБ-1:

$$27,1 \cdot (96 / 2) / 20 \cdot 5,58 = 363,7 \text{ кг}.$$

Утворилося  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  в АБ-1:

$$363,7 - 98,4 = 265,3 \text{ кг}.$$

Кількість  $\text{NH}_4\text{OH}$ , що виходить з рідиною з АБ-1:

$$(61,2 - 27,1) \cdot 35 / 20 \cdot 5,58 = 333,7 \text{ кг}.$$

Розраховуємо кількість  $\text{NH}_4\text{OH}$ , що утворилася в АБ-1:

$$333,7 - 102,8 = 230,9 \text{ кг}.$$

Для утворення 265,3 кг  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  необхідно:

$\text{NH}_3$ :  $265,3 \cdot 34 / 96 = 94,1 \text{ кг}$ ;

$\text{CO}_2$ :  $265,3 \cdot 44 / 96 = 121,5 \text{ кг}$ ;

$\text{H}_2\text{O}$ :  $265,3 \cdot 18 / 96 = 49,7 \text{ кг}$ ,

де 34, 44, 18 – кількість  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$ , що необхідні для утворення 1 кмоль  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , кг; 96 – молекулярна маса  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ .

Для утворення 230,9 кг  $\text{NH}_4\text{OH}$  необхідно:

$$\text{NH}_3: 230,9 \cdot 17 / 35 = 111,9 \text{ кг};$$

$$\text{H}_2\text{O}: 230,9 \cdot 18 / 35 = 119 \text{ кг},$$

де 17, 18, 35 – молекулярні маси  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  та  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

Всього на утворення  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  і  $\text{NH}_4\text{OH}$  пішло:

$$- \text{NH}_3: 94,1 + 111,9 = 206 \text{ кг};$$

$$- \text{CO}_2: 121,5 \text{ кг};$$

$$- \text{H}_2\text{O}: 49,7 + 119 = 168,7 \text{ кг}.$$

Склад рідини, що виходить з АБ-1, кг:  $\text{NaCl}$  – 1557;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 36,2; домішки – 4,7;  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  – 363,7;  $\text{NH}_4\text{OH}$  – 333,7. Всього – 2295,3 кг.

$$\text{Кількість води в рідині, що виходить з АБ-1: } 1179 \cdot 5,58 - 2295,3 = 4286,39 \text{ кг}.$$

Визначаємо кількість води, що відходить з газом. В АБ-1 вода надходить з вихідним розчином (4413,32 кг) і з газом з АБ-2 (41,98 кг). Частина води (4286,39 кг) подається разом з розчином в АБ-2 і частина витрачається на утворення  $\text{NH}_4\text{OH}$  і  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  (168,7 кг). Вода, що залишилася уноситься з газом, що виходить з АБ-1. Її кількість:

$$(4413,32 + 41,98) - (4286,39 + 168,7) = 0,21 \text{ кг}.$$

Складаємо таблицю матеріального балансу газової суміші в АБ-1 на 1000 кг соди.

Таблиця 3.1 – Матеріальний баланс газової суміші в АБ-1 на 1000 кг соди

Речовина	Прихід, кг	Витрата на реакції, кг	Відходить з газом, кг
$\text{NH}_3$	206,9	206,0	0,9
$\text{CO}_2$	122,3	121,5	0,8
$\text{H}_2\text{O}$	41,98	168,7	0,21
Повітря	10,0	–	10,0

Матеріальний баланс абсорбера АБ-1 на 1000 кг соди наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Матеріальний баланс абсорбера АБ-1 на 1000 кг соди

Прихід			Витрата		
Стаття	кг	%	Стаття	кг	%
1.Рідина з ПГКЛ-2, в т.ч.	6212,42	100	3. Рідина в АБ-2, в т.ч.	6581,69	100
$\text{NaCl}$	1557,0	25,06	$\text{NaCl}$	1557,0	23,66
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	98,4	1,58	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	363,7	5,53
$\text{NH}_4\text{OH}$	102,8	1,65	$\text{NH}_4\text{OH}$	333,7	5,12
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	36,2	0,58	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	36,2	0,55
$\text{H}_2\text{O}$	4413,32	71,05	$\text{H}_2\text{O}$	4286,39	65,07
домішки	4,7	0,08	домішки	4,7	0,07
2.Газ з АБ-2, в т.ч.	381,18	100	4. Газ в ПГАБ, в т.ч.	11,91	100
$\text{CO}_2$	122,3	32,08	$\text{CO}_2$	0,8	6,72
$\text{NH}_3$	206,9	54,28	$\text{NH}_3$	0,9	7,56
повітря	10,0	2,62	повітря	10,0	83,96
$\text{H}_2\text{O}$	41,98	11,02	$\text{H}_2\text{O}$	0,21	1,76
Всього	6593,6		Всього	6593,6	

**Приклад 3.2.** Скласти матеріальний баланс другого абсорберу (АБ-2), використовуючи умови прикладу 3.1. Склад рідини, що надходить, н. д.:  $\text{NH}_3$  – 98,3;  $\text{Cl}^-$  – 88,0;  $\text{CO}_2$  – 39,8; густина рідини – 1168 кг/м<sup>3</sup>. Склад газу, що надходить в АБ-2, кг на 1000 кг соди:  $\text{NH}_3$  – 422,1;  $\text{CO}_2$  – 220,8;  $\text{H}_2\text{O}$  – 212,98; повітря – 10,0.

*Розв'язок.* Розраховуємо об'єм рідини, що виходить з АБ-2:

$$V_{\text{АБ-2}} = V_{\text{АБ-1}} \cdot \frac{[\text{Cl}^-_{\text{АБ-1}}]}{[\text{Cl}^-_{\text{АБ-2}}]} = 5,58 \cdot \frac{95,4}{88} = 6,05 \text{ м}^3.$$

Кількість  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , що виходить з рідиною з АБ-2:

$$39,8 \cdot (96 / 2) / 20 \cdot 6,05 = 578,4 \text{ кг}.$$

Утворилося  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  в АБ-2:

$$578,4 - 363,7 = 214,7 \text{ кг.}$$

Кількість  $\text{NH}_4\text{OH}$ , що виходить з рідиною з АБ-2:

$$(98,3 - 39,8) \cdot 35 / 20 \cdot 6,05 = 620,0 \text{ кг.}$$

Розраховуємо кількість  $\text{NH}_4\text{OH}$ , що утворилася в АБ-2:

$$620,0 - 333,7 = 286,3 \text{ кг.}$$

Для утворення 214,7 кг  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  необхідно:

$$\text{NH}_3: 214,7 \cdot 34 / 96 = 76,1 \text{ кг;}$$

$$\text{CO}_2: 214,7 \cdot 44 / 96 = 98,5 \text{ кг;}$$

$$\text{H}_2\text{O}: 214,7 \cdot 18 / 96 = 40,1 \text{ кг,}$$

де 34, 44, 18 – кількість  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$ , що необхідні для утворення 1 кмоль  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , кг; 96 – молекулярна маса  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ .

Для утворення 286,3 кг  $\text{NH}_4\text{OH}$  необхідно:

$$\text{NH}_3: 286,3 \cdot 17 / 35 = 139,1 \text{ кг;}$$

$$\text{H}_2\text{O}: 286,3 \cdot 18 / 35 = 147,2 \text{ кг,}$$

де 17, 18, 35 – молекулярні маси  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  та  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

Всього на утворення  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  і  $\text{NH}_4\text{OH}$  пішло:

$$- \text{NH}_3: 76,1 + 139,1 = 215,2 \text{ кг;}$$

$$- \text{CO}_2: 98,5 \text{ кг;}$$

$$- \text{H}_2\text{O}: 40,1 + 147,2 = 187,3 \text{ кг.}$$

Склад рідини, що виходить з АБ-2, кг:  $\text{NaCl}$  – 1557;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 36,2; домішки – 4,7;  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  – 578,4;  $\text{NH}_4\text{OH}$  – 620. Всього – 2796,3 кг.

Кількість води в рідині, що виходить з АБ-2:  $1168 \cdot 6,05 - 2796,3 = 4270,09 \text{ кг.}$

Кількість води в газі, що виходить з АБ-2:  $4286,39 + 212,98 - 4270,09 - 187,3 = 41,98 \text{ кг.}$

Складаємо таблицю матеріального балансу газової суміші в АБ-2 на 1000 кг соди.

Таблиця 3.3 – Матеріальний баланс газової суміші в АБ-2 на 1000 кг соди

Речовина	Прихід, кг	Витрата на реакції, кг	Відходить з газом, кг
$\text{NH}_3$	422,1	215,2	206,9
$\text{CO}_2$	220,8	98,5	122,3
$\text{H}_2\text{O}$	212,98	187,3	41,98
Повітря	10,0	–	10,0

Складаємо таблицю матеріального балансу АБ-2 на 1000 кг соди.

Таблиця 3.4 – Матеріальний баланс абсорбера АБ-2 на 1000 кг соди

Прихід			Витрата		
Стаття	кг	%	Стаття	кг	%
1. Рідина з АБ-1, в т.ч.	6581,69	100	3. Рідина в ЗАР, в т.ч.	7066,39	100
$\text{NaCl}$	1557,0	23,66	$\text{NaCl}$	1557,0	22,03
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	363,7	5,53	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	578,4	8,19
$\text{NH}_4\text{OH}$	333,7	5,12	$\text{NH}_4\text{OH}$	620,0	8,77
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	36,2	0,55	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	36,2	0,51
$\text{H}_2\text{O}$	4286,39	65,07	$\text{H}_2\text{O}$	4270,09	60,43
домішки	4,7	0,07	домішки	4,7	0,07
2. Газ з ХГДС, в т.ч.	865,88	100	4. Газ в ПГАБ, в т.ч.	381,18	100
$\text{CO}_2$	220,8	25,50	$\text{CO}_2$	122,3	32,08
$\text{NH}_3$	422,1	48,75	$\text{NH}_3$	206,9	54,28
повітря	10,0	1,15	повітря	10,0	2,62
$\text{H}_2\text{O}$	212,98	24,60	$\text{H}_2\text{O}$	41,98	11,02
Всього	7447,57		Всього	7447,57	

### 3.2 Завдання для самостійної роботи

Відповідно до варіанту (табл. 3.5) скласти матеріальний баланс першого абсорбера (АБ-1). Густина розсолу, що надходить – 1197 кг/м<sup>3</sup>. Густина розсолу, що виходить – 1179 кг/м<sup>3</sup>. Розрахунок вести на 1000 кг соди.

Таблиця 3.5 – Варіанти контрольного завдання № 3.

№	Вихідна рідина						Склад рідини, що виходить, н. д.			Склад газів, що надходять, кг/ 1000 кг соди			
	Склад, н.д.			Склад, кг		V <sub>вих.</sub> , м <sup>3</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	пов
	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	дом								
1	102,51	19,15	7,91	36,23	4,71	5,192	95,41	61,24	27,12	206,09	122,21	42,12	10,0
2	102,41	19,16	7,95	36,05	4,60	5,180	95,38	61,18	27,08	206,03	122,18	42,24	10,5
3	102,45	19,25	7,85	36,10	4,65	5,182	95,37	61,22	27,14	206,05	122,22	42,22	10,2
4	102,54	19,24	7,86	36,15	4,80	5,194	95,42	61,16	27,06	206,07	122,19	42,16	10,1
5	102,42	19,17	7,94	36,20	4,75	5,184	95,39	61,26	27,18	206,11	122,24	42,15	10,3
6	102,53	19,23	7,87	36,25	4,62	5,195	95,6	61,17	27,05	206,13	122,16	42,25	10,5
7	102,52	19,18	7,93	36,30	4,67	5,186	95,43	61,25	27,16	206,04	122,25	42,18	9,8
8	102,44	19,22	7,88	36,35	4,78	5,193	95,35	61,19	27,09	206,06	122,15	42,26	10,2
9	102,43	19,19	7,92	36,18	4,73	5,191	95,37	61,23	27,15	206,08	122,23	42,17	10,0
10	102,50	19,18	7,89	36,22	4,74	5,188	95,44	61,15	27,07	206,12	122,17	42,28	10,1
11	102,55	19,22	7,94	36,22	4,80	5,195	95,3	61,24	27,05	206,14	122,21	42,28	10,0
12	102,41	19,19	7,87	36,23	4,75	5,186	95,45	61,18	27,16	206,15	122,18	42,12	10,5
13	102,45	19,16	7,93	36,05	4,62	5,193	95,34	61,22	27,09	206,11	122,22	42,24	10,2
14	102,54	19,21	7,88	36,10	4,67	5,191	95,46	61,16	27,15	206,13	122,19	42,22	10,1
15	102,42	19,15	7,92	36,15	4,78	5,188	95,32	61,26	27,07	206,04	122,24	42,16	10,3
16	102,53	19,16	7,89	36,20	4,73	5,192	95,48	61,17	27,12	206,06	122,16	42,15	10,5
17	102,52	19,25	7,91	36,25	4,74	5,180	95,31	61,25	27,08	206,08	122,25	42,25	9,8
18	102,44	19,24	7,95	36,30	4,71	5,182	95,47	61,19	27,14	206,09	122,15	42,18	10,2
19	102,43	19,17	7,85	36,35	4,60	5,194	95,33	61,23	27,06	206,03	122,23	42,26	10,0
20	102,50	19,23	7,86	36,18	4,65	5,184	95,45	61,15	27,18	206,05	122,17	42,17	10,1

### 3.3 Контрольні запитання

1. Яку роль грає амоніак у виробництві соди?
2. Від чого залежить розчинність амоніаку в розсолі?
3. Чи змінюється концентрація натрію хлориду в процесі амонізації розсолу?
4. Навіщо в процесі амонізації слід охолодити розсіл?
5. Чому не можна охолоджувати газу дистиляції нижче 55 °С?
6. Накресліть і поясніть типову технологічну схему відділення абсорбції
7. Поясніть призначення і пристрій апаратів у відділенні абсорбції.
8. Які типові норми технологічного режиму апаратів відділення абсорбції?

## 4 СТАДІЯ КАРБОНІЗАЦІЇ АМОНІЗОВАНОГО РОЗСОЛУ

### 4.1 Приклади розв'язування задач

**Приклад 4.1. Матеріальний баланс КЛПК.** У колону попередньої карбонізації надходить амонізований розсіл зі збірника амонізованого розсолу САР-2 і газ вапняних печей. Після КЛПК газ направляєтся в ПГКЛ-1, а рідина – у проміжний холодильник чи безпосередньо на зрошення ПГКЛ-1. Склад розсолу на вході в колону (у н.д.): NaCl – 89,6, домішки: NH<sub>3</sub> – 0,25; CO<sub>2</sub> – 0,25; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 41,0; NH<sub>4</sub>OH – 63; NH<sub>3</sub> заг. – 104; CO<sub>2</sub> заг. – 41. Вміст CO<sub>2</sub> у газі вапняних печей, що

подається в КЛПК, дорівнює 35 % (об) у розрахунку на сухий газ. Концентрація сухого газу вапняних печей на вході – 35 % (об), ступінь поглинання CO<sub>2</sub> – 97 %.

Амонізований розсіл на виході з КЛПК містить (у н.д.): NaCl – 89,6; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 60; NH<sub>4</sub>OH – 41,5; CO<sub>2</sub> – 60; NH<sub>3</sub> заг. – 101,5, обсяг рідини 5,9 м<sup>3</sup>/т соди; ρ = 1193 кг/м<sup>3</sup> (домішки не враховуються).

Аналіз даних матеріального балансу показує, що крім процесів розчинення NaHCO<sub>3</sub> і поглинання CO<sub>2</sub> (поглинається 60 – 41 = 19 н.д.) у КЛПК відбувається небажаний процес видудання аміаку з рідини в газову фазу. Кількість аміаку, що видалився, складає 12,53 кг/т соди, або 2,4 % від загального вмісту NH<sub>3</sub> у розсолі:

$$(104 - 101,5) / (17/20) \cdot 5,9 = 12,53 \text{ кг/т соди або } \frac{12,53}{\frac{104}{20} \cdot 17 \cdot 5,9} \cdot 100 \approx 2,4\%$$

Вміст CO<sub>2</sub> у газі 1,33 % (об), NH<sub>3</sub> – 11,64 % (об).

Результати розрахунку наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Матеріальний баланс КЛПК, кг/т соди

Компонент	Прихід				Витрата			
	з рідиною	з газом	за реакцією	Всього	з розсолем	з газом	на реакцію	Всього
NaCl	1550,00	–	–	1550,00	1550,00	–	–	1550,00
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	580,60	–	269,00	849,60	849,60	–	–	849,60
NH <sub>4</sub> OH	650,60	–	–	650,50	428,50	–	222,00	650,50
H <sub>2</sub> O	4129,30	2,25	63,77	4195,32	4190,32	5,00	–	4195,32
CO <sub>2</sub>	–	127,0	–	127,00	–	3,70	123,30	127,00
NH <sub>3</sub>	–	–	12,53	12,53	–	12,53	–	12,53
Ін.газ	–	149,00	–	149,00	–	149,00	–	149,00
Всього	6932,00	278,25	344,90	7555,15	7040,02	170,23	345,30	7555,55

**Приклад 4.2.** Визначити ступінь використання натрію в процесі карбонізації, якщо концентрація амоній хлориду в матковій рідині – 187 кг/м<sup>3</sup>, а концентрація іону хлору – 177,5 кг/м<sup>3</sup>.

*Розв'язок.* Розраховуємо концентрації в н.д.:

$$C_{\text{NH}_4\text{Cl}} = \frac{187 \cdot 20}{53,5} = 70 \text{ н.д.};$$

$$C_{\text{Cl}^-} = \frac{177,5 \cdot 20}{35,5} = 100 \text{ н.д.}$$

Ступінь використання натрію:

$$U_{\text{Na}} = \frac{C_{\text{NH}_4\text{Cl}}}{C_{\text{Cl}^-}} \cdot 100 = \frac{70}{100} \cdot 100 = 70 \%$$

**Приклад 4.3.** Розрахувати коефіцієнти використання натрію та аміаку, кількість поглиненого діоксиду вуглецю та кількість аміаку, що видудується, в карбонізаційній колоні. Кількість речовин, що надходять в колонну з рідиною, кг на 1000 кг Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>: NaCl – 1550,1; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 923,0; NH<sub>4</sub>OH – 337,4; H<sub>2</sub>O – 4230,2; домішки – 21,6. Всього – 7062,3. Склад рідини, що виходить з колони, н. д.: Cl<sup>-</sup> – 96; пряий титр – 24; загальний титр – 95; зв'язаний NH<sub>3</sub><sup>+</sup> – 71; CO<sub>2</sub> – 37. Кількість рідини на 1000 кг соди становить 5,54 м<sup>3</sup>, її густина – 1108 кг/м<sup>3</sup>.

*Розв'язок.* Розраховуємо кількість речовин в рідині, що виходить з колони, на 1000 кг соди:

$$\text{NH}_4\text{Cl}: 71 \cdot 53,5 / 20 \cdot 5,54 = 1050 \text{ кг};$$

$$\text{NaCl}: (96 - 71) \cdot 58,5 / 20 \cdot 5,54 = 405 \text{ кг};$$

$$\text{NH}_4\text{HCO}_3: (37 - 24) \cdot 79 / 20 \cdot 5,54 = 285 \text{ кг};$$

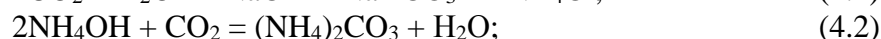


$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3: (24 - 13) \cdot 48 / 20 \cdot 5,54 = 146 \text{ кг};$

Всього – 1907,6 кг.

Кількість води у рідині, що витікає з колони становить:  $1108 \cdot 5,54 - 1907,6 = 4222,4 \text{ кг}.$

В колонні перебігають такі реакції:



Кількість  $\text{NaHCO}_3$ , що утворюється за реакцією (4.1), еквівалентне вмісту  $\text{NH}_4\text{Cl}$  в рідині, що виходить з колони, і становить:

$$1050 \cdot 84 / 53,5 = 1650 \text{ кг}.$$

Загальна кількість суспензії, що витікає з колони:

$$1108 \cdot 5,54 + 1650 = 7780 \text{ кг}.$$

У процесі карбонізації рідина в колоні поглинає діоксид вуглецю, який реагує за реакціями (4.1)...(4.3). Кількість поглиненого  $\text{CO}_2$  може бути розрахована за різниці між її кількістю: тим, що йде з колони з розчином та осадом і ти, що поступив у колону з вихідним розчином.

Прихід  $\text{CO}_2$  з  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ :

$$923 \cdot 44 / 96 = 423 \text{ кг}.$$

Витрата  $\text{CO}_2$ :

$$\text{з } \text{NH}_4\text{HCO}_3: 285 \cdot 44 / 79 = 159 \text{ кг};$$

$$\text{з } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3: 146 \cdot 44 / 96 = 67 \text{ кг};$$

$$\text{з } \text{NaHCO}_3: 1650 \cdot 44 / 84 = 865 \text{ кг};$$

всього – 1091 кг.

Поглинено  $\text{CO}_2$ :

$$1091 - 423 = 668 \text{ кг}.$$

Кількість аміаку, що видувається з колони в процесі карбонізації, розраховуємо аналогічним чином.

Прихід  $\text{NH}_3$ :

з  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ :

$$923 \cdot 34 / 96 = 327 \text{ кг};$$

з  $\text{NH}_4\text{OH}$ :

$$337,4 \cdot 17 / 35 = 164 \text{ кг};$$

всього – 491 кг.

Витрата  $\text{NH}_3$ : з рідиною з колони:

$$\text{з } \text{NH}_4\text{Cl}: 1050 \cdot 17 / 53,5 = 334 \text{ кг};$$

$$\text{з } \text{NH}_4\text{HCO}_3: 285 \cdot 17 / 79 = 61,4 \text{ кг};$$

$$\text{з } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3: 146 \cdot 34 / 96 = 51,6 \text{ кг};$$

всього – 447 кг.

Уходить аміаку з газом:

$$491 - 447 = 44 \text{ кг}.$$

Розраховуємо ступінь використання:

– аміаку:

$$U_{\text{NH}_3} = \frac{[\text{NH}_3]_{\text{зв'яз}}}{[\text{NH}_3]_{\text{зар}}} \cdot 100 = \frac{334}{447} \cdot 100 = 74,8 \text{ \%}.$$

–  $\text{NaCl}$ :

$$U_{\text{NaCl}} = \frac{[\text{NaCl}]_{\text{вик}}}{[\text{NaCl}]_{\text{зар}}} \cdot 100 = \frac{1150}{1550} \cdot 100 = 74,2 \text{ \%},$$

де  $1150 = 1650 \cdot 58,5 / 84$  – кількість натрій хлориду, що пішло на утворення 1650 кг  $\text{NaHCO}_3$ .

## 4.2 Завдання для самостійної роботи

Матеріальний баланс колони попередньої карбонізації (КЛПК). В КЛПК надходить амонізований розсіл і газ вапняних печей, після КЛПК газ прямує в ПГКЛ-1, а рідина – в холодильник після ПГКЛ-1 на зрошення ПГКЛ-1.

Склад розсолу на вході в КЛПК: NaCl – 89,6 н. д.; домішки, н. д.: NH<sub>3</sub> – 0,25; CO<sub>2</sub> – 0,25; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 41,0; NH<sub>4</sub>OH – 63,0;

NH<sub>4</sub> заг – 104; CO<sub>2</sub> заг – 41,0. V = 5,9 м<sup>3</sup>/т соди; густина – 1175 кг/м<sup>3</sup>; t = 30°C.

Склад газу вапняних печей на вході в КЛПК: CO<sub>2</sub> – 35 об. % (на сухий газ). Ступінь поглинання CO<sub>2</sub> – 97 %.

Склад розсолу на виході КЛПК, н. д.: NaCl – 89,6; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 60; NH<sub>4</sub>OH – 41,5; CO<sub>2</sub> – 60; NH<sub>3</sub> заг – 101,5. V<sub>p</sub> = 5,9 м<sup>3</sup>/т соди; густина – 1193 кг/м<sup>3</sup>.

В КЛПК відбувається процес розчинення NaHCO<sub>3</sub>, поглинання CO<sub>2</sub> і віддування NH<sub>3</sub> з рідкої фази в газу (12,53 кг/т соди або 2,4 % від загального вмісту NH<sub>3</sub> в розсолі).

Розрахувати витрату газу вапняних печей в КЛПК на 1 т соди за витрати розсолу 5,9 т розсолу/т соди. Скласти таблицю матеріального балансу процесу.

## 4.3 Контрольні запитання

1. Напишіть хімічні реакції, що відбуваються в процесі карбонізації амонізованого розсолу.
2. Що розуміють під ступенем карбонізації розчину і системи і як їх розраховують?
3. Від чого залежить величина ступеня використання натрію.
4. Чому необхідно прагнути до високого ступеня використання карбону (IV) оксиду в процесі карбонізації?
5. Від чого залежить якість кристалів натрію гідрогенкарбонату?
6. Чим визначається температурний режим в осаджувальній колоні?
7. Вкажіть норми технологічного режиму відділення карбонізації.
8. Для чого потрібне промивання натрію гідрогенкарбонату?
9. Розкажіть про принципи роботи барабанного вакуум-фільтра.
10. Як можна регулювати продуктивність фільтру?
11. Як відображається якість кристалів натрію гідрогенкарбонату на роботі фільтра?
12. Від чого залежить вологість натрію гідрогенкарбонату?
13. Виходячи з чого встановлюють норму температури промивної води?
14. Як усунути підвищений вміст натрію хлориду в сирому натрію гідрогенкарбонату?
15. Що впливає на зниження вмісту іонів хлору в фільтрової рідині?

## 5 СТАДІЯ КАЛЬЦИНАЦІЇ

### 5.1 Приклади розв'язування задач

**Приклад 5.1.** Скласти матеріальний баланс печі кальцинації натрій гідрогенкарбонату. Склад сирого натрій гідрогенкарбонату, %: NaHCO<sub>3</sub> – 81; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 1,5; NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub> – 0,7; NH<sub>4</sub>Cl – 0,1; NaCl – 0,35; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 0,06; H<sub>2</sub>O – 16,29. Склад кальцинованої соди, %: Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 93,58; NaHCO<sub>3</sub> – 5,42. Втрати соди 0,15 % від готового продукту. Технологічна схема кальцинації з безретурним живленням содових печей.

*Розв'язок.*

Розраховуємо кількість технічної соди, що утворюється в печі з урахуванням втрат:

$$1000 \cdot (1 + 0,0015) = 1001,5 \text{ кг;}$$

В цій кількості міститься Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:

$$1001,5 \cdot 0,9358 = 937,2 \text{ кг.}$$

Розраховуємо кількість NaHCO<sub>3</sub>, необхідного для одержання 937,2 кг Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:

$$\frac{937,2 \cdot 2 \cdot 84}{106} = 1485,4 \text{ кг.}$$

В готовій кальцинованій соді міститься 5,42 %  $\text{NaHCO}_3$ , що не розклався, тобто на 1001,5 кг соди – 54,3 кг. З урахуванням цих втрат необхідно  $\text{NaHCO}_3$ :

$$1485,4 + 54,3 = 1539,7 \text{ кг.}$$

За реакцією  $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaHCO}_3 = \text{NaCl} + \text{NH}_4\text{HCO}_3$  на 1 кг  $\text{NH}_4\text{Cl}$  витрачається  $\text{NaHCO}_3$ :

$$\frac{1 \cdot 84}{53,5} = 1,57 \text{ кг.}$$

Позначимо масу  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , що міститься в  $\text{NaHCO}_3$  через  $x$ . З цією кількістю  $\text{NH}_4\text{Cl}$  реагує  $1,57x$  кг  $\text{NaHCO}_3$ . Всього необхідно завантажити в піч  $1539,7 + 1,57x$  кг  $\text{NaHCO}_3$ , що становить 81 % від маси сирого  $\text{NaHCO}_3$ . За умовами  $x$  дорівнює 0,1 % від цієї маси. Отже:

$$\begin{array}{r} (1539,7 + 1,57x) \text{ -----} 81 \% \\ x \text{ -----} 0,1 \% \\ x = 1,9 \text{ кг } \text{NH}_4\text{Cl}. \end{array}$$

З цією кількістю  $\text{NH}_4\text{Cl}$  реагує:

$$1,57 \cdot 1,9 = 3 \text{ кг } \text{NaHCO}_3.$$

На 1000 кг готової соди необхідно завантажити  $\text{NaHCO}_3$  в піч для кальцинації:

$$1539,7 + 3 = 1542,7 \text{ кг.}$$

Кількість сирого натрій гідрогенкарбоната, що завантажують у піч:

$$\frac{1542,7}{0,81} = 1904,6 \text{ кг.}$$

Склад сирого натрій гідрогенкарбоната, що надходить в піч для кальцинації наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Склад сирого натрій гідрогенкарбоната

Речовина	кг	%
$\text{NaHCO}_3$	1542,7	81
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	28,6	1,5
$\text{NH}_4\text{HCO}_3$	13,3	0,7
$\text{NH}_4\text{Cl}$	1,9	0,1
$\text{NaCl}$	6,7	0,35
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	1,2	0,06
$\text{H}_2\text{O}$	310,2	16,29
Всього	1904,6	100

**Реакції, що відбуваються в процесі кальцинації.**



Витрачається 1,9 кг  $\text{NH}_4\text{Cl}$  та 3 кг  $\text{NaHCO}_3$ . Утворюється:

$$\frac{1,9 \cdot 58,5}{53,5} = 2,1 \text{ кг } \text{NaCl};$$

$$\frac{1,9 \cdot 17}{53,5} = 0,6 \text{ кг } \text{NH}_3;$$

$$\frac{1,9 \cdot 44}{53,5} = 1,6 \text{ кг } \text{CO}_2;$$

$$\frac{1,9 \cdot 18}{53,5} = 0,6 \text{ кг } \text{H}_2\text{O}.$$

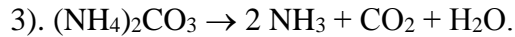


Витрачається 13,3 кг  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ . Утворюється:

$$\frac{13,3 \cdot 17}{79} = 2,9 \text{ кг NH}_3;$$

$$\frac{13,3 \cdot 44}{79} = 7,4 \text{ кг CO}_2;$$

$$\frac{13,3 \cdot 18}{79} = 3,0 \text{ кг H}_2\text{O}.$$

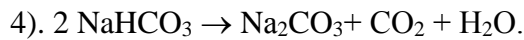


Витрачається 28,6 кг  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ . Утворюється:

$$\frac{28,6 \cdot 2 \cdot 17}{96} = 10,1 \text{ кг NH}_3;$$

$$\frac{28,6 \cdot 44}{96} = 13,1 \text{ кг CO}_2;$$

$$\frac{28,6 \cdot 18}{96} = 5,4 \text{ кг H}_2\text{O}.$$



Витрачається

$$1542,7 - 54,3 - 3 = 1485,4 \text{ кг NaHCO}_3.$$

Утворюється:

$$937,2 \text{ кг Na}_2\text{CO}_3;$$

$$\frac{1485,4 \cdot 44}{2 \cdot 84} = 389,0 \text{ кг CO}_2;$$

$$\frac{1485,4 \cdot 18}{2 \cdot 84} = 159,2 \text{ кг H}_2\text{O}.$$

Всього утворюється:

$$0,6 + 2,9 + 10,1 = 13,6 \text{ кг NH}_3;$$

$$1,6 + 7,4 + 13,1 + 389 = 411,1 \text{ кг CO}_2;$$

$$0,6 + 3,0 + 5,4 + 159,2 = 168,2 \text{ кг H}_2\text{O}.$$

Складаємо зведену таблицю матеріального балансу (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Зведений матеріальний баланс печі для кальцинації (в кг на 1000 кг соди)

Прихід			Витрата		
Стаття	кг	%	Стаття	кг	%
1. Сирий $\text{NaHCO}_3$ , в т.ч.	1904,6	100	2. Готова сода, в т.ч.	1000	100
$\text{NaHCO}_3$	1542,7	81,0	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	935,8	93,58
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	28,6	1,5	$\text{NaHCO}_3$	54,2	5,42
$\text{NH}_4\text{HCO}_3$	13,3	0,7	$\text{NaCl}$	8,8	0,88
$\text{NH}_4\text{Cl}$	1,9	0,1	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	1,2	0,12
$\text{NaCl}$	6,7	0,35	3. Газова фаза, в т.ч.	904,6	100
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	1,2	0,06	$\text{NH}_3$	13,6	1,50
$\text{H}_2\text{O}$	310,2	16,29	$\text{CO}_2$	411,1	45,45
			$\text{H}_2\text{O}$	478,4	52,89
			$\text{NaHCO}_3$	0,1	0,01
			$\text{Na}_2\text{CO}_3$	1,4	0,15
Всього	1904,6		Всього	1904,6	

**Приклад 5.2.** За умовами прикладу 5.1 провести енергетичний розрахунок печі кальцинації.

*Розв'язок.*

**Прихід теплоти.**

1) Теплота, що вноситься в піч паливом, яке згорає в топці під барабаном печі. Розрахунок проводимо на умовне паливо з теплотворною здатністю 29300 кДж/кг. Кількість палива (в кг),

необхідне для одержання 1000 кг кальцинованої соди, приймаємо за  $x$  та визначаємо його з енергетичного балансу.

$$Q_1 = 29300 x \text{ кДж.}$$

2) Теплота, що надходить в барабан з натрій гідрогенкарбонатом:

$$Q_2 = (1904,6 - 310,2) \cdot 1,17 \cdot 25 + 310,2 \cdot 104,8 = 79150 \text{ кДж,}$$

де 1,17 – теплоємність  $\text{NaHCO}_3$ , кДж/(кг · град); 104,8 – ентальпія води, кДж/кг.

$$Q_{\text{прих}} = 29300 x + 79150 \text{ кДж.}$$

**Витрати теплоти:**

1) Теплота, що виноситься з кальцинованою содою:

$$Q_1 = 1000 \cdot 1,13 \cdot 160 = 181000 \text{ кДж,}$$

де 1,13 – теплоємність соди.

2) Теплота, що витрачається на ендотермічні реакції:

а)  $\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{тв})} + \text{NaHCO}_3_{(\text{тв})} = \text{NaCl}_{(\text{тв})} + \text{NH}_3_{(\text{г})} + \text{CO}_2_{(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} - 170,35 \text{ кДж/моль}$

$$Q_p = (410,90 + 46,19 + 393,51 = 241,84) - (315,39 + 947,40) = -170,35 \text{ кДж на 1 моль NH}_4\text{Cl;}$$

$$Q_a = \frac{170,35 \cdot 1000 \cdot 1,9}{53,5} = 6050 \text{ кДж.}$$

б)  $2 \text{ NaHCO}_3_{(\text{тв})} = \text{Na}_2\text{CO}_3_{(\text{тв})} + \text{CO}_2_{(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} - 130,45 \text{ кДж/ на 1 моль Na}_2\text{CO}_3$

$$Q_b = \frac{130,45 \cdot 1000 \cdot 937,2}{106} = 1153000 \text{ кДж.}$$

в)  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3_{(\text{тв})} = 2 \text{ NH}_3_{(\text{г})} + \text{CO}_2_{(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} - 199,44 \text{ кДж/ на 1 моль (NH}_4)_2\text{CO}_3;$

$$Q_v = \frac{199,44 \cdot 1000 \cdot 28,9}{96} = 60000 \text{ кДж.}$$

г)  $\text{NH}_4\text{HCO}_3_{(\text{тв})} = \text{NH}_3_{(\text{г})} + \text{CO}_2_{(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} - 171,33 \text{ кДж/ на 1 моль NH}_4\text{HCO}_3$

$$Q_r = \frac{171,33 \cdot 1000 \cdot 13,3}{84} = 27100 \text{ кДж.}$$

$$Q_2 = 6050 + 1153000 + 60000 + 27100 = 1246150 \text{ кДж.}$$

3) Теплота, що виноситься з газовою фазою:

$$Q_3 = (411,1 \cdot 0,885 + 13,6 \cdot 2,218 + 168,2 \cdot 1,876) \cdot 130 + 310,2 \cdot 2741 = 942500 \text{ кДж,}$$

де 0,885, 2,218, 1,876 – теплоємності  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  та  $\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$ , кДж/(кг · град); 2741 – ентальпія пари води, кДж/кг.

Теплота випарювання води, що утворюється внаслідок реакцій, врахована в розрахунку теплоти реакцій.

4) Теплота содового пилу, що виноситься з газами:

$$Q_4 = 1,5 \cdot 1,13 \cdot 130 = 220 \text{ кДж.}$$

$$Q_{\text{витр}} = 181000 + 1246150 + 942500 + 220 = 2369870 \text{ кДж.}$$

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{витр}};$$

$$29300 x + 79150 = 2369870$$

$$x = 78,18 \text{ кг умовного палива на 1000 кг соди.}$$

Практична витрата палива з урахуванням КПД топки буде значно вища.

Результати розрахунків заносимо до табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Зведений енергетичний баланс печі для кальцинації натрій гідрогенкарбонату (на 1000 кг соди)

Прихід			Витрата		
Стаття	кДж	%	Стаття	кДж	%
1. Від згорання палива	$29300 \cdot 78,18 = 2290720$	96,7	1. З содою	181000	7,7
2. З $\text{NaHCO}_3$	79150	3,3	2. На реакції	1246150	52,4
			3. З газами та пилом	942720	39,9
Всього	2369870	100	Всього	2369870	100

## 5.2 Завдання для самостійної роботи

Відповідно до варіанту (табл. 5.4) скласти матеріальний та енергетичний баланс печі для кальцинації натрій гідрокарбонату.

Таблиця 5.4 – Варіанти контрольного завдання № 4.

№	Склад сирого натрій гідрокарбонату, %:						Склад соди, %		втрати соди, %
	NaHCO <sub>3</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> Cl	NaCl	H <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	
1	80,5	1,85	0,65	0,11	0,30	16,59	93,52	5,48	0,15
2	80,6	1,80	0,75	0,09	0,40	16,36	93,59	5,41	0,14
3	80,7	1,75	0,66	0,12	0,39	16,38	93,62	5,38	0,13
4	80,8	1,70	0,74	0,08	0,31	16,37	93,57	5,43	0,16
5	80,9	1,65	0,67	0,13	0,38	16,27	93,65	5,35	0,17
6	81,0	1,60	0,73	0,07	0,32	16,28	93,53	5,47	0,12
7	81,5	1,55	0,68	0,10	0,33	15,84	93,54	5,46	0,11
8	81,2	1,50	0,72	0,08	0,37	16,13	93,55	5,45	0,18
9	81,3	1,45	0,60	0,13	0,36	16,16	93,63	5,37	0,19
10	81,4	1,40	0,71	0,07	0,34	16,08	93,59	5,41	0,20
11	80,5	1,80	0,66	0,10	0,32	16,62	93,52	5,48	0,15
12	80,6	1,75	0,74	0,11	0,33	16,47	93,59	5,41	0,14
13	80,7	1,70	0,67	0,09	0,37	16,47	93,62	5,38	0,13
14	80,8	1,65	0,73	0,12	0,36	16,34	93,57	5,43	0,16
15	80,9	1,60	0,68	0,11	0,34	16,37	93,65	5,35	0,17
16	81,0	1,55	0,72	0,09	0,30	16,34	93,53	5,47	0,12
17	81,5	1,50	0,60	0,12	0,40	15,88	93,54	5,46	0,11
18	81,2	1,45	0,71	0,08	0,39	16,17	93,55	5,45	0,18
19	81,3	1,40	0,65	0,13	0,31	16,21	93,63	5,37	0,19
20	81,4	1,85	0,75	0,07	0,38	15,55	93,59	5,41	0,20

## 5.3 Контрольні запитання

1. Які втрати в процесі прожарювання?
2. Як очищують і охолоджують газ содових печей?
3. Пояснити фізико-хімічні основи процесу кальцинації.
4. Навести функціональну схему відділення кальцинації.
5. Охарактеризувати основне устаткування відділення кальцинації.
6. Навести технологічний режим відділення кальцинації.

## 6 СТАДІЯ ДИСТИЛЯЦІЇ

### 6.1 Приклади розв'язування задач

**Приклад 6.1.** Скласти матеріальний баланс дистилера, якщо рідина, яка надходить до нього із змішувача, містить, %: NaCl – 4,51; NH<sub>3</sub> – 4,08; CaCl<sub>2</sub> – 10,9; CaSO<sub>4</sub> – 0,09; Ca(OH)<sub>2</sub> – 0,05; H<sub>2</sub>O – 80,37. Густина розчину 1104 кг/м<sup>3</sup>; кількість розчину, що надходить в дистилер на 1000 кг соди, 8,84 м<sup>3</sup>. Разом з рідиною з змішувача надходять завислі частинки, % від маси рідини: Ca(OH)<sub>2</sub> – 1,180; CaCO<sub>3</sub> – 1,525. В нижню частину дистилеру подають водяну пару в кількості 159,5 кг на 1 т розчину. Рідина, що виходить з дистилеру, уносить аміак в кількості 1 кг на 1000 кг соди. Вміст аміаку у газі, що виходить з дистилеру, становить 29,4 мас. %. Розрахунок проводити на 1000 кг соди.

*Розв'язок.*

Кількість розчину, що надходить в дистилер із змішувача:

$$8,84 \cdot 1104 = 9759 \text{ кг.}$$

Вміст в розчині солей, кг:

$$\text{NaCl: } 9759 \cdot 0,0451 = 440;$$

$$\text{CaCl}_2: 9759 \cdot 0,109 = 1065;$$

$$\text{CaSO}_4: 9759 \cdot 0,0009 = 9;$$

$$\text{Ca(OH)}_2: 9759 \cdot 0,0005 = 5;$$

$$\text{NH}_3: 9759 \cdot 0,0408 = 398;$$

Всього – 1917 кг.

Кількість води в розчині, кг:

$$9759 - 1917 = 7842.$$

Кількість осаду, що надходить з розчином, кг:

$$\text{Ca(OH)}_2: 9759 \cdot 0,0118 = 115;$$

$$\text{CaCO}_3: 9759 \cdot 0,01525 = 149;$$

Всього – 264 кг.

Кількість пари, що надходить в дистилер:

$$\frac{159,5 \cdot 9759}{1000} = 1557 \text{ кг.}$$

Кількість аміаку, що виходить з дистилеру:

$$398 - 1 = 397 \text{ кг.}$$

З аміаком відходить пари:

$$397 \cdot \frac{100 - 29,4}{29,4} = 951 \text{ кг.}$$

Кількість рідини, що виходить з дистилеру у випарник:

$$9759 + 1557 - 397 - 951 = 9968 \text{ кг.}$$

Ця рідина містить води:

$$7842 + (1557 - 951) = 8448 \text{ кг}$$

та розчинених речовин, кг: NaCl – 440; CaCl<sub>2</sub> – 1065; CaSO<sub>4</sub> – 9; Ca(OH)<sub>2</sub> – 5; NH<sub>3</sub> – 1.

Результати розрахунків заносимо в таблицю матеріального балансу (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Зведений матеріальний баланс дистилеру

Прихід			Витрата		
Стаття	кг	%	Стаття	кг	%
1.Рідина із змішувача, в т.ч.	9759	100	4. Рідина у випарник, в т.ч.	9968	100
NaCl	440	4,51	NaCl	440	4,41
CaCl <sub>2</sub>	1065	10,90	CaCl <sub>2</sub>	1065	10,68
CaSO <sub>4</sub>	9	0,09	CaSO <sub>4</sub>	9	0,09
Ca(OH) <sub>2</sub>	5	0,05	Ca(OH) <sub>2</sub>	5	0,05
NH <sub>3</sub>	398	4,08	NH <sub>3</sub>	1	0,01
H <sub>2</sub> O	7842	80,37	H <sub>2</sub> O	8448	84,76
2.Осад у рідині змішувача, в т.ч.	264	100	5. Осад у рідині дистилера, в т.ч.	264	100
Ca(OH) <sub>2</sub>	115	43,56	Ca(OH) <sub>2</sub>	115	43,56
CaCO <sub>3</sub>	149	56,44	CaCO <sub>3</sub>	149	56,44
3. Пара	1557	100	6. Газ у теплообмінниках, в т.ч.	1348	100
			NH <sub>3</sub>	397	29,45
			H <sub>2</sub> O	951	70,55
Всього	11580		Всього	11580	

**Приклад 6.2.** За умов прикладу 6.1, скласти тепловий баланс дистилюєру на 1000 кг соди. Температура рідини, що надходить із змішувача, становить 89 °С; теплоємність – 3,41 кДж/(кг·К). Теплоємність осаду – 1,05 кДж/(кг·К). Температура газу, що виходить із дистилюєру, становить 97 °С. Теплоємність аміаку – 2,18 кДж/(кг·К). Тепловтрати – 0,4 %.

*Розв'язок.*

**Прихід теплоти:**

З рідиною із змішувача:

$$Q_1 = 9759 \cdot 89 \cdot 3,41 = 2961760 \text{ кДж};$$

З осадом в рідині із змішувача:

$$Q_2 = 264 \cdot 89 \cdot 1,05 = 24670 \text{ кДж};$$

З парою:

$$Q_3 = 1557 \cdot 2700 = 4203900 \text{ кДж},$$

де 2700 – ентальпія пари за  $P = 172,2$  кПа, кДж/кг.

**Витрата теплоти:**

З рідиною:

$$Q_4 = 9968 \cdot 3,41 \cdot t_p = 33990 \cdot t_p \text{ кДж};$$

З осадом:

$$Q_5 = 264 \cdot 1,05 \cdot t_p = 277,2 \cdot t_p \text{ кДж};$$

З газами у теплообмінник:

$$\text{з аміаком: } 397 \cdot 97 \cdot 2,18 = 83950 \text{ кДж};$$

$$\text{з парою: } Q_6 = 951 \cdot 2670 = 2539170 \text{ кДж, де } 2670 \text{ – ентальпія пари за } 97 \text{ }^\circ\text{С, кДж/кг};$$

$$Q_6 = 83950 + 2539170 = 2623120 \text{ кДж}.$$

Витрата теплоти на відгонку аміаку:

$$Q_7 = \frac{397}{17} \cdot 35,3 \cdot 1000 = 824820 \text{ кДж}.$$

де 35,3 – теплота випару аміаку, кДж/моль.

Тепловтрати становлять:

$$Q_8 = (Q_1 + Q_2 + Q_3) \cdot 0,004 = (2961760 + 24670 + 4203900) \cdot 0,004 = 28760 \text{ кДж}.$$

Температура рідини, що виходить з дистилюєру, °С:

$$t_p = \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3) - (Q_6 + Q_7 + Q_8)}{33990 + 277,2} = \frac{(2961760 + 24670 + 4203900) - (2623120 + 824820 + 28760)}{34267,2} = 108$$

Результати розрахунків заносимо в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Зведений тепловий баланс дистилюєру на 1000 кг соди

Прихід			Витрата		
Стаття	кДж	%	Стаття	кДж	%
1. З рідиною із змішувача	2961760	41,19	1. З рідиною у випарник	3683690	51,23
2. З осадом	24670	0,34	2. З осадом	29940	0,42
3. З парою	4203900	58,47	3. З газами	2623120	36,48
			4. На відгонку аміаку	824820	11,47
			5. Тепловтрати	28760	0,40
Всього	7190330	100	Всього	7190330	100

**6.2 Завдання для самостійної роботи**

1. Розрахувати матеріальний і тепловий баланси пінного дистилюєру слабкої рідини заводу кальцинованої соди. Кількість слабкої рідини – 44 м<sup>3</sup>/год. Склад рідини, н. д.: загальний титр NH<sub>3</sub> – 41; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 5; CO<sub>2(зар)</sub> – 47. Густина рідини – 1050 кг/м<sup>3</sup>, флегми – 1040 кг/м<sup>3</sup>. Температура, °С:



рідини – 61; флегми – 88 (на ДСР); скидної рідини – 104; газу, що виходить з ДСР в ХГДСР – 90; газу, що виходить з ХГДСР – 60. Теплоємність, кДж/(кг·К): слабкої рідини і флегми – 3,82; скидної рідини – 3,9. Параметри пари: P = 122 кПа; t = 105 °С; витрати пари – 275 кг/м<sup>3</sup> рідини. Тиск, кПа: зверху ДСР – 97,2; зверху ХГДСР – 95,2. Дистилер слабкої рідини зв'язаний безпосередньо з холодильником газів, що відходять від нього. Водяні пари, що містяться в газах, конденсуються з утворенням слабого розчину аміачних сполук. Останній стікає назад у ДСР як флегма.

2. На стадію дистиляції надходить в КДС суміш фільтрової рідини і слабкої промивної рідини такого складу:

	NH <sub>4</sub> OH	NaCl	домішки	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
кг/т	7,7; в т. ч. 3,7 H <sub>2</sub> O	462,0	3,6	18,0	11,6
н. д.	0,8	27,7	–	0,89	0,76
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> Cl	H <sub>2</sub> O	
кг/т	177,8	254,5	992,0	4290,14	
н. д.	12,99	11,3	65,0	–	

Об'єм рідини – 5,68 м<sup>3</sup>/т соди, ρ = 1092 кг/м<sup>3</sup>, t = 30 °С. Склад рідини на виході КДС, н. д.: NH<sub>3</sub> – 90,1; Cl – 92,7; CO<sub>2</sub> заг – 24,3; прямий титр – 25,96; t = 75 °С.

Розрахувати кількість компонентів, що перейшли в газову фазу. Скласти таблицю матеріального балансу на 1 т соди.

3. Змішувач дистиляції (ЗМ). Вихідний склад фільтрової рідини на вході в ЗМ (після ТДС), кг/т соди: NaCl – 474,8; домішки – 3,6; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 18,0; NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub> – 11,0; NH<sub>3</sub>(р) – 121,34; NH<sub>4</sub>Cl – 980,5; H<sub>2</sub>O – 4651,0. В ЗМ подається вапняне молоко з концентрацією Ca(OH)<sub>2</sub>, рівної 230 н. д. або 427 кг/м<sup>3</sup>, ρ = 1250 кг/м<sup>3</sup>, t = 96° С. Склад вапняного молока, кг/т: Ca(OH)<sub>2</sub> – 721,0; CaCO<sub>3</sub> – 42,5; інертні домішки – 102,0; всього твердих речовин – 865,5.

Розрахувати витрату вапняного молока, якщо одержана кінцева дистилерна рідина містить в рідкій фазі, кг/т: NaCl – 489,6; CaCl<sub>2</sub> – 1002,0; H<sub>2</sub>O – 6999,6; в твердій фазі, кг/т: Ca(OH)<sub>2</sub> – 34,5; CaSO<sub>4</sub> – 17,3; CaSO<sub>3</sub> – 53,9; інертні домішки – 102,0. Скласти матеріальний баланс на 1 т соди.

### 6.3 Контрольні запитання

1. Який склад слабкої рідини і де її використовують?
2. Як відділення дистиляції пов'язане з іншими відділеннями?
3. Які основні реакції відбуваються у відділенні дистиляції?
4. Накресліть і поясніть типову технологічну схему регенерації амоніаку з фільтрової рідини.
5. Від яких чинників залежить десорбція газів з фільтрової рідини?
6. Які призначення і пристрій КДС, ТДС, ЗМ?
7. Від чого залежить витрата вапняного молока у відділенні дистиляції?
8. Які призначення пристрій дистилера?
9. Що є причиною забруднення змішувача і дистилера кальцію сульфатом?
10. Яке призначення випарників?
11. В яких умовах повинні працювати змішувач і дистилер, щоб забруднення їх було мінімальним?

### ЛІТЕРАТУРА

1. Сода. Навчальний посібник (з грифом МОН). / В.Я. Кожухар, В.Г. Рябих, В.В. Брем, Л.В. Іванченко. – Одеса: "Сілекс-прінт", 2012 – 208 с.
2. Іванченко Л.В. Технологія соди та лугів : навчальний посібник / Л.В. Іванченко, В.Я. Кожухар, В.В. Брем, І.В. Шаповал. Одеса: ОП, 2021. 207 с. Режим доступу: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/11626>

3. Конспект лекцій з дисципліни "Технологія соди та лугів" для студентів спеціальності 161 – Хімічна технологія та інженерія / Л.В. Іванченко, В.Я. Кожухар, В.В. Брем, В.Г. Рябих. – Одеса: ОНПУ, 2017. – 124 с. (КЛ07711 від 31.01.2017; № 4096 – РС – 2017).

4. Конспект лекцій з курсу " Технологія соди та лугів" для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія / Уклад.: Л.В. Іванченко, В.Я. Кожухар, В.В. Брем, Шаповал І.В., Національний ун-т "Одеська політехніка". – Одеса, 2022. – 87 с.

5. Крашенинников С.А. Технология соды. / С.А. Крашенинников – М.: Химия, 1988. – 304 с.

5. Зайцев И.Д. Производство соды / И.Д. Зайцев, Г.А. Ткач. Н.Д. Стоев – М.: Химия, 1986. – 312 с. Режим доступу: <https://www.twirpx.com/file/529176/>

6. Варламов М. Л. Производство кальцинированной соды и поташа при комплексной переработке нефелинового сырья / М. Л. Варламов, С.В. Беньковский, Е.Л. Кричевская и др. – М.: Химия, 1977. – 176 с.