

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к выполнению практических работ по дисциплине
«Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых выбросов»**

Донецк
2021

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к выполнению практических работ по дисциплине
«Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых выбросов»**

для обучающихся по направлению подготовки
20.03.01 «Техносферная безопасность»
профиль «Инженерная защита окружающей среды»
всех форм обучения

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры
прикладной экологии и охраны
окружающей среды
Протокол № 6 от 21.01.2021 г.

Утверждено
на заседании учебно-издательского
совета ДОННТУ
Протокол № 2 от 24.02.2021 г.

Донецк
2021

УДК 504.7(076)+66.074(076)
М54

Составитель:

Ганнова Юлия Николаевна - кандидат химических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ»;
Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ».

М54 **Методические рекомендации к выполнению практических работ по дисциплине «Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых выбросов»** : для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» профиль «Инженерная защита окружающей среды» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», каф. прикладной экологии и охраны окружающей среды; сост.: Ю.Н. Ганнова, С.В. Горбатко. — Донецк : ДОННТУ, 2021. – Систем. требования: Acrobat Reader. – Загл. с титул. экрана.

Методические рекомендации разработаны с целью оказания помощи обучающимся в усвоении теоретического материала и получении практических навыков по дисциплине «Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых выбросов», которые содержат задания для решения практических задач по курсу.

УДК 504.7(076)+66.074(076)

Содержание

Введение.....	5
Практическое занятие 1.....	6
Практическое занятие 2.....	9
Практическое занятие 3.....	12
Практическое занятие 4.....	21
Практическое занятие 5.....	24
Практическое занятие 6.....	26
Практическое занятие 7.....	28
Практическое занятие 8.....	29
Практическое занятие 9.....	31
Практическое занятие 10.....	32
Практическое занятие 11.....	34
Перечень рекомендованной литературы.....	35

ВВЕДЕНИЕ

Изучение дисциплины «Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых выбросов» базируется на знаниях, полученных при изучении неорганической и органической химии, физической химии, процессов и аппаратов химических производств, техники экологически чистых производств и др.

В свою очередь дисциплина «Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых выбросов» является основой для изучения ряда дисциплин процесса подготовки, закладывает основы для выполнения курсового проектирования и выполнения квалификационной работы.

Целью изучения дисциплины «Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых выбросов» является изучение основных теоретических и практических аспектов защиты атмосферы от промышленных загрязнений.

Основные задачи изучения дисциплины:

- систематизация и обобщение существующих сведений по защите воздушного бассейна от вредных выбросов;
- изучение физико-химических основ, технологических схем и оборудования для инженерных средств защиты атмосферы от загрязнения вредными веществами на примере самых важных промышленных процессов химических производств.

Практическое занятие 1

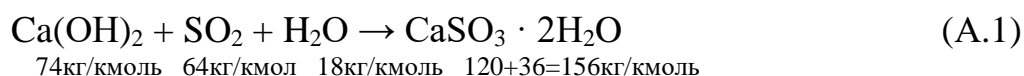
Очистке подвергается 1000 м³/ч дымовых газов, содержащих 0,5% об. SO₂. Очистка ведется суспензией известкового молока, содержащего 20% масс. Ca(OH)₂. Сульфит кальция CaSO₃·2H₂O в процессе очистки окисляется кислородом воздуха (21% об. O₂, 79% об. N₂) до сульфата CaSO₄·2H₂O (двухводный гипс) для получения в гипсоварочных котлах гипсового вяжущего CaSO₄·0,5H₂O. Произвести необходимые расчеты для составления материального баланса процессов и балансовой схемы материальных потоков.

Решение:

Определим количество SO₂ в дымовых газах:

$$\begin{aligned}V_{\text{SO}_2} &= V_{\text{дым.г}} \cdot C_{\text{SO}_2}; \\V_{\text{SO}_2} &= 1000 \cdot 0,005 = 5 \text{ м}^3/\text{ч}; \\m_{\text{SO}_2} &= V_{\text{SO}_2} \cdot \frac{M_{\text{SO}_2}}{V_0}; \\m_{\text{SO}_2} &= 5 \cdot \frac{64}{22,4} = 14,3 \text{ кг/ч}.\end{aligned}$$

Определим массу Ca(OH)₂ для химического поглощения SO₂:



74кг/кмоль 64кг/кмоль 18кг/кмоль 120+36=156кг/кмоль

$$\begin{aligned}m_{\text{Ca(OH)}_2} &= m_{\text{SO}_2} \cdot \frac{M_{\text{Ca(OH)}_2}}{M_{\text{SO}_2}}; \\m_{\text{Ca(OH)}_2} &= 14,3 \cdot \frac{74}{64} = 16,53 \text{ кг/год}.\end{aligned}$$

Рассчитаем количество 20%-й суспензии известкового молока:

$$\begin{aligned}m_{\text{сусп}} &= \left(\frac{m_{\text{Ca(OH)}_2}}{20} \right) \cdot 100; \\m_{\text{сусп}} &= \left(\frac{16,53}{20} \right) \cdot 100 = 82,65 \text{ кг/ч}.\end{aligned}$$

Состав суспензии: 16,53 кг/ч Ca(OH)₂ и 66,12 кг/ч H₂O.

По уравнению (A.1) рассчитаем массу образовавшегося сульфита кальция:

$$\begin{aligned}m_{\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} &= m_{\text{SO}_2} \cdot \frac{M_{\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SO}_2}}; \\m_{\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} &= 14,3 \cdot \frac{156}{64} = 34,86 \text{ кг/ч}.\end{aligned}$$

Определим расход воды на образование этой соли. Из уравнения (А.1) имеем:

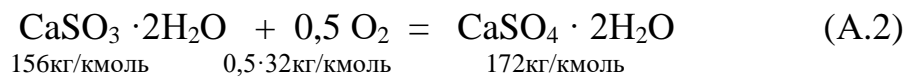
$$m_{H_2O} = m_{SO_2} \cdot \frac{M_{H_2O}}{M_{SO_2}};$$

$$m_{H_2O} = 14,3 \cdot \frac{18}{64} = 4,02 \text{ кг/ч}$$

Итак, в суспензии остается вода (возврат в абсорбцию):

$$m_{H_2O}^{\text{суп}} = 62,12 - 4,02 = 62,10 \text{ кг/ч}$$

Определим расход кислорода на окисление сульфита кальция в сульфат по уравнению реакции:



$$m_{O_2} = m_{\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \cdot \frac{0,5M_{O_2}}{M_{\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}};$$

$$m_{O_2} = 34,86 \cdot \frac{0,5 \cdot 32}{156} = 3,57 \text{ кг/ч}$$

$$V_{O_2} = m_{O_2} \cdot \frac{V_0}{M_{O_2}};$$

$$V_{O_2} = 3,57 \cdot \frac{22,4}{32} = 2,50 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Определим количество воздуха, подаваемого на окисление, исходя из состава воздуха:

Воздуха: O₂ – 21% мас., N₂ – 79% мас.

$$V_{N_2} = V_{O_2} \cdot \frac{79}{21};$$

$$V_{N_2} = 2,50 \cdot \frac{79}{21} = 9,40 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$m_{N_2} = V_{N_2} \cdot \frac{M_{N_2}}{V_0};$$

$$m_{N_2} = 9,40 \cdot \frac{28}{22,4} = 11,75 \text{ кг/ч}.$$

Определим массу сульфата кальция CaSO₄·2H₂O, образовавшегося по уравнению (А.2):

$$m_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \cdot \frac{M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}};$$

$$m_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 34,86 \cdot \frac{172}{156} = 38,44 \text{ кг/год.}$$

Рассчитаем количество гипсового вяжущего $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, которое можно получить в гипсоварочном котле согласно уравнению реакции:



$$m_{\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \cdot \frac{M_{\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}};$$

$$m_{\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}} = 38,44 \cdot \frac{145}{172} = 32,41 \text{ кг/ч.}$$

При этом вода перейдет в пар (возврат в абсорбцию) в количестве:

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{пара}} = \frac{m_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \cdot 1,5 \cdot M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}};$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{пара}} = \frac{38,44 \cdot 1,5 \cdot 18}{172} = 6,03 \text{ кг/ч};$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{пара}} = \frac{6,03 \cdot 22,4}{18} = 7,50 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Рассчитаем возврат воды в процесс абсорбции:

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{возв.}} = m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{сусп.}} + m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{пара}};$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{возв.}} = 62,10 + 6,03 = 68,13 \text{ кг/ч.}$$

Составим сводную таблицу материального баланса и балансовую схему материальных потоков (таблица А.1, рисунок А.1).

Таблица А.1 – Сводная таблица материального баланса

ПРИХОД				РАСХОД		
Статьи прихода	кг/ч	% масс.	м ³ /ч	Статьи расхода	кг/ч	м ³ /ч
Дымовые газы, в частности: SO ₂ другое	14,30 ---		5 995	Очищенный газ, в частности: N ₂ другое	11,75 ---	9,40
Итого	14,3		1000	Итого	11,75	

Суспензия известкового молока, в частности: Ca(OH) ₂ H ₂ O	16,53 66,12	20 80		Гипсовое вяжущее CaSO ₄ ·0,5H ₂ O Возврат воды	32,41 68,13	
Итого	82,65	100				
Воздух, в частности: N ₂ O ₂	11,75 3,57	77 23	9,40 2,50			
Итого	15,32	100	11,90			
Всего	112,27			Всего	112,29	

Практическое занятие 2

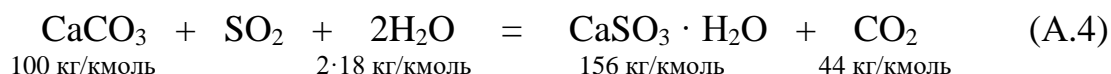
Очистке подвергается 500000 м³/ч дымовых газов, содержащих 0,4% об. SO₂. Очистка ведется суспензией известняка, содержащей 15% масс. CaCO₃. Сульфит кальция CaSO₃ в процессе очистки окисляется кислородом воздуха (21% об. O₂, 79% об. N₂) в сульфат CaSO₄·2H₂O (двухводный гипс), чтобы затем в гипсоварочных котлах получить гипсовое вяжущее CaSO₄·0,5H₂O как товарный продукт. Произвести необходимые расчеты для составления материального баланса процессов и балансовой схемы материальных потоков.

Решение:

Определим количество SO₂ в дымовых газах:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{SO}_2} &= V_{\text{дым.г}} \cdot C_{\text{SO}_2}; \\
 V_{\text{SO}_2} &= 500000 \cdot 0,004 = 2000 \text{ м}^3/\text{ч}; \\
 m_{\text{SO}_2} &= V_{\text{SO}_2} \cdot \frac{M_{\text{SO}_2}}{V_0}; \\
 m_{\text{SO}_2} &= 2000 \cdot \frac{64}{22,4} = 5714,286 \text{ кг/ч}.
 \end{aligned}$$

Определим массу CaCO₃ для химического поглощения SO₂:



$$m_{\text{CaCO}_3} = m_{\text{SO}_2} \cdot \frac{M_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{SO}_2}};$$

$$m_{\text{CaCO}_3} = 5714,286 \cdot \frac{100}{64} = 8928,572 \text{ кг/ч.}$$

Рассчитаем количество 15%-й суспензии известняка:

$$m_{\text{сусп}} = \left(\frac{m_{\text{CaCO}_3}}{15} \right) \cdot 100;$$

$$m_{\text{сусп}} = \left(\frac{8928,572}{15} \right) \cdot 100 = 59523,813 \text{ кг/ч.}$$

Состав суспензии: 8928,572 кг/ч CaCO_3 и 50595,241 кг/ч H_2O .

По уравнению (А.4) рассчитаем массу образовавшегося сульфита кальция:

$$m_{\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{SO}_2} \cdot \frac{M_{\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SO}_2}};$$

$$m_{\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 5714,286 \cdot \frac{156}{64} = 13928,572 \text{ кг/ч.}$$

Определим расход воды на образование этой соли. Из уравнения (А.4) имеем:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{SO}_2} \cdot \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SO}_2}};$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 5714,286 \cdot \frac{18}{64} = 3214,286 \text{ кг/ч.}$$

Итак, в суспензии остается воды (возврат в абсорбцию):

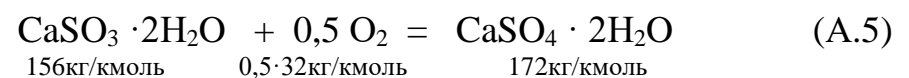
$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{сусп}} = 50595,241 - 3214,286 = 47380,955 \text{ кг/ч.}$$

Определим количество образовавшегося CO_2 по уравнению (А.4):

$$m_{\text{CO}_2} = m_{\text{SO}_2} \cdot \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{SO}_2}};$$

$$m_{\text{CO}_2} = 5714,286 \cdot \frac{44}{64} = 3928,572 \text{ кг/ч.}$$

Определим расход кислорода на окисление сульфита кальция в сульфат по уравнению реакции:



$$m_{\text{O}_2} = m_{\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \cdot \frac{0,5M_{\text{O}_2}}{M_{\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}};$$

$$m_{O_2} = 13928,572 \cdot \frac{0,5 \cdot 32}{156} = 1428,571 \text{ кг/ч};$$

$$V_{O_2} = m_{O_2} \cdot \frac{V_0}{M_{O_2}}; \quad V_{O_2} = 1428,571 \cdot \frac{22,4}{32} = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Определим количество воздуха, подаваемого на окисление, исходя из состава воздуха:

Воздуха: O_2 – 21% масс., N_2 – 79% масс.

$$V_{N_2} = V_{O_2} \cdot \frac{79}{21}; \quad V_{N_2} = 1000 \cdot \frac{79}{21} = 3761,905 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$m_{N_2} = V_{N_2} \cdot \frac{M_{N_2}}{V_0}; \quad m_{N_2} = 3761,905 \cdot \frac{28}{22,4} = 4702,381 \text{ кг/ч}.$$

Определим массу сульфата кальция $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, образовавшегося по уравнению (5):

$$m_{CaSO_4 \cdot 2H_2O} = m_{CaSO_3 \cdot 2H_2O} \cdot \frac{M_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}}{M_{CaSO_3 \cdot 2H_2O}};$$

$$m_{CaSO_4 \cdot 2H_2O} = 13928,572 \cdot \frac{172}{156} = 15357,143 \text{ кг/ч}.$$

Рассчитаем количество гипсового вяжущего $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$, которое можно получить в гипсоварочном котле по уравнению реакции:



$$m_{CaSO_4 \cdot 0,5H_2O} = m_{CaSO_4 \cdot 2H_2O} \cdot \frac{M_{CaSO_4 \cdot 0,5H_2O}}{M_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}};$$

$$m_{CaSO_4 \cdot 0,5H_2O} = 15357,143 \cdot \frac{145}{172} = 12946,429 \text{ кг/ч}.$$

При этом вода перейдет в пар (возврат в абсорбцию) в количестве:

$$m_{H_2O}^{\text{пара}} = \frac{m_{CaSO_4 \cdot 2H_2O} \cdot 1,5 \cdot M_{H_2O}}{M_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}};$$

$$m_{H_2O}^{\text{пара}} = \frac{15357,143 \cdot 1,5 \cdot 18}{172} = 2410,714 \text{ кг/ч};$$

$$V_{H_2O}^{\text{пара}} = \frac{2410,714 \cdot 22,4}{18} = 2999,999 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Рассчитаем возврат воды в процесс абсорбции:

$$m_{H_2O}^{\text{возв.}} = m_{H_2O}^{\text{сусп.}} + m_{H_2O}^{\text{пара}};$$

$$m_{H_2O}^{\text{возв.}} = 47380,955 + 2410,714 = 49791,669 \text{ кг/год}.$$

Составим сводную таблицу материального баланса и балансовую схему материальных потоков (таблица А.2, рисунок А.2).

Таблица А.2 – Сводная таблица материального баланса

ПРИХОД				РАСХОД		
Статьи прихода	кг/ч	% мас с.	м ³ /ч	Статьи расхода	кг/ч	м ³ /ч
Дымовые газы, в частности: SO ₂	5714,286		2000	Очищенный газ, в частности: CO ₂	3928,572	2000
другое	---		498000	N ₂	4702,381	3761,905
Итого	5714,286		500000	другое	---	498000
				Итого	8630,953	503761,9
Суспензия известняка, в частности: CaCO ₃	8926,572	15		Гипсовое вяжущее CaSO ₄ ·0,5H ₂ O	12946,429	
H ₂ O	50595,241	85		Возврат воды	49791,669	
Итого	59523,813	100				
Воздух, в частности: N ₂	4702,381	77	3761,905			
O ₂	1428,571	23	1000			
Итого	6130,952	100	4761,905			
Всего	71369,051			Всего	71369,051	

Практическое занятие 3

На очистку поступает 500000 м³/ч дымовых газов ТЭС, содержащих 0,4% об. SO₂. Очистка ведется водным раствором сульфита аммония (NH₄)₂SO₃ с концентрацией 20% масс. аммиачно – комбинированным методом. Степень очистки от SO₂ – 90%. В процессе сорбции происходит превращение 5 % взятого сульфита аммония в сульфат аммония за счет окисления O₂. Кроме этого, в результате побочной реакции образуется тиосульфат аммония: 2 % сульфита превращается в тиосульфат аммония (NH₄)₂S₂O₃. Регенерация насыщенного раствора осуществляется в три стадии: 4/5 насыщенного раствора следует на термическую регенерацию путем

нагрева до 900С; 1/5 часть насыщенного раствора, миновав термическую регенерацию, направляется в автоклав с целью разложения тиосульфата аммония с получением серы S; 1/4 регенерированного раствора и маточный раствор из автоклава направляются на испарение с целью выделения из раствора сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Раствор после центрифуги возвращается в цикл поглощения SO_2 . Рассчитать количество парогазовой смеси, содержащей SO_2 , твердую серу и кристаллический $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, полученный в процессе регенерации. Оценить степень повторного использования $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$. Составить сводную таблицу материального баланса и балансовую схему материальных потоков.

Решение:

Определим количество SO_2 в дымовых газах:

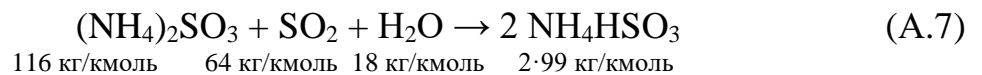
$$V_{\text{SO}_2} = V_{\text{дым.г}} \cdot \frac{C_{\text{SO}_2}}{100};$$

$$V_{\text{SO}_2} = 500000 \cdot \frac{0,4}{100} = 2000 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$m_{\text{SO}_2} = V_{\text{SO}_2} \cdot \frac{M_{\text{SO}_2}}{22,4};$$

$$m_{\text{SO}_2} = 2000 \cdot \frac{64}{22,4} = 5714,286 \text{ кг/ч.}$$

Определим теоретическое расходование $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ при 100% поглощении SO_2 в соответствии с уравнением реакции:



$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{теор}} = m_{\text{SO}_2} \cdot \frac{M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}}{M_{\text{SO}_2}};$$

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{теор}} = 5714,286 \cdot \frac{116}{64} = 10357,143 \text{ кг/ч.}$$

Рассчитаем количество воды в 20%-ном растворе сульфита натрия:

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{p-n} = m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{теор.}} \cdot \frac{80}{20};$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{p-n} = 10357,143 \cdot \frac{80}{20} = 41428,572 \text{ кг/ч.}$$

Рассчитаем практический расход $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ при 90% поглощении SO_2 :

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{практ.}} = m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{теор}} \cdot \alpha;$$

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{практ}} = 10357,143 \cdot 0,9 = 9321,4287 \text{ кг/ч.}$$

Определим количество образовавшегося NH_4HSO_3 :

$$m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}^{\text{обр.}} = \frac{0,9 \cdot V_{\text{SO}_2}}{22,4} \cdot M_{\text{NH}_4\text{HSO}_3};$$

$$m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}^{\text{обр.}} = \frac{0,9 \cdot 2000}{22,4} \cdot 2 \cdot 99 = 15910,714 \text{ кг/ч.}$$

Рассчитаем массу воды, поглотившейся в результате реакции (А.7):

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{погл}} = m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{практ}} \cdot \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}};$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{погл}} = 9321,429 \cdot \frac{18}{116} = 1446,429 \text{ кг/ч.}$$

Определим количество SO_2 в очищенном газе:

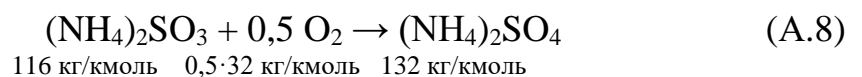
$$m_{\text{SO}_2}^{\text{непогл}} = m_{\text{SO}_2} \cdot (1 - \alpha);$$

$$m_{\text{SO}_2}^{\text{непогл}} = 5714,286 \cdot (1 - 0,9) = 571,429 \text{ кг/ч};$$

$$V_{\text{SO}_2}^{\text{непогл}} = \frac{m_{\text{SO}_2}^{\text{непогл}} \cdot 22,4}{M_{\text{SO}_2}};$$

$$V_{\text{SO}_2}^{\text{непогл}} = \frac{571,429 \cdot 22,4}{64} = 200,000 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Определим количество $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в результате окисления 5% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$:



$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = \frac{0,05 \cdot m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{теор}}}{M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}} \cdot M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4};$$

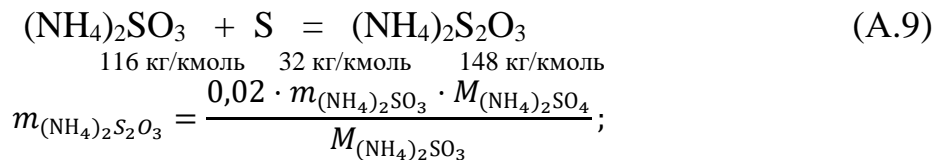
$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = \frac{0,05 \cdot 10357,143 \cdot 132}{116} = 589,286 \text{ кг/ч.}$$

Вычислим расход O_2 на окисление по реакции (8):

$$m_{\text{O}_2} = \frac{0,05 \cdot m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}}{M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}} \cdot 0,5 M_{\text{O}_2};$$

$$m_{\text{O}_2} = \frac{0,05 \cdot 10357,143 \cdot 0,5 \cdot 32}{116} = 71,429 \text{ кг/ч.}$$

Определим массу образовавшегося по реакции тиосульфата натрия:



$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3} = \frac{0,02 \cdot 10357,143 \cdot 148}{116} = 264,286 \text{ кг/ч.}$$

Рассчитаем количество $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$, оставшееся в насыщенном растворе:

$$\begin{aligned}
 m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{остат}} &= 0,03 \cdot m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{теор}}; \\
 m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{остат}} &= 0,03 \cdot 10357,143 = 310,714 \text{ кг/ч.}
 \end{aligned}$$

Определим количество серы, вступающей в реакцию (A.9):

$$\begin{aligned}
 m_{\text{S}} &= 0,02 \cdot m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{теор}} \cdot \frac{M_{\text{S}}}{M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}}; \\
 m_{\text{S}} &= 0,02 \cdot 10357,143 \cdot \frac{32}{116} = 57,143 \text{ кг/ч.}
 \end{aligned}$$

Определим количество воды в насыщенном растворе:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{нас.р-н}} &= m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{р-н}} - m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{погл}}; \\
 m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{нас.р-н}} &= 41428,572 - 1446,429 = 39982,143 \text{ кг/ч.}
 \end{aligned}$$

Результаты расчета процесса абсорбции сведем в таблицу материального баланса (таблица А.3).

На термическую регенерацию поступает 4/5 насыщенного раствора, в том числе:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}^{\text{терм}} &= 0,8 \cdot 15910,714 = 12728,571 \text{ кг/ч;} \\
 m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{терм.}} &= 0,8 \cdot 310,714 = 248,571 \text{ кг/ч;} \\
 m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}^{\text{терм.}} &= 0,8 \cdot 589,286 = 471,429 \text{ кг/ч;} \\
 m_{(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3}^{\text{терм.}} &= 0,8 \cdot 264,286 = 211,429 \text{ кг/ч;} \\
 m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{терм.}} &= 0,8 \cdot 39982,143 = 31985,714 \text{ кг/ч.}
 \end{aligned}$$

Рассчитаем количество продуктов термической регенерации согласно уравнению реакции:

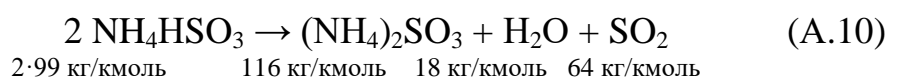


Таблица А.3 – Сводная таблица материального баланса процесса абсорбции

ПРИХОД		РАСХОД	
Статьи прихода	кг/ч	Статьи расхода	кг/ч
Дымовые газы, в частности: SO ₂	5714,286	Очищенный газ в частности: SO ₂	571,429
O ₂	71,429		
Итого	5785,715	Итого	571,429
Раствор на поглощение, в частности: (NH ₄) ₂ SO ₃	10357,143	Насыщенный раствор, в частности: NH ₄ HSO ₃	15910,714
H ₂ O	41428,572	(NH ₄) ₂ SO ₃	310,714
		(NH ₄) ₂ SO ₄	589,286
		(NH ₄) ₂ S ₂ O ₃	264,286
Итого	51785,715	H ₂ O	39982,143
Сера на окисление	57,143	Итого	57057,143
Всего	57628,573	Всего	57628,572

Исходя из 100%-ной регенерации NH₄HSO₃, определим количество образовавшихся продуктов реакции. (А.10):

$$m_{(NH_4)_2SO_3}^{пер.1} = 0,8 \cdot m_{NH_4HSO_3}^{нас.р-н} \cdot \frac{M_{(NH_4)_2SO_3}}{2M_{NH_4HSO_3}};$$

$$m_{(NH_4)_2SO_3}^{пер.1} = 0,8 \cdot 15910,714 \cdot \frac{116}{198} = 7457,143 \text{ кг/ч};$$

$$m_{H_2O}^{пер.1} = 0,8 \cdot m_{NH_4HSO_3}^{нас.р-н} \cdot \frac{M_{H_2O}}{M_{NH_4HSO_3}};$$

$$m_{H_2O}^{пер.1} = 0,8 \cdot 15910,714 \cdot \frac{18}{198} = 1157,143 \text{ кг/ч};$$

$$m_{SO_2}^{пер.1} = 0,8 \cdot m_{NH_4HSO_3}^{нас.р-н} \cdot \frac{M_{SO_2}}{M_{NH_4HSO_3}};$$

$$m_{SO_2}^{пер.1} = 0,8 \cdot 15910,714 \cdot \frac{64}{198} = 4114,286 \text{ кг/ч};$$

$$V_{H_2O} = \frac{1157,143}{18} \cdot 22,4 = 1439,999 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{SO_2} = \frac{4114,286}{64} \cdot 22,4 = 1439,999 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

С учетом содержания (NH₄)₂SO₃ в насыщенном растворе:

$$m_{(NH_4)_2SO_3} = m_{(NH_4)_2SO_3}^{терм} + m_{(NH_4)_2SO_3}^{пер.1};$$

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3} = 248,571 + 7457,143 = 7705,714 \text{ кг/ч.}$$

Результаты расчетов сведем в таблицу материального баланса процесса термической регенерации (таблица А.4).

Таблица А.4 – Материальный баланс процесса термической регенерации

ПРИХОД		РАСХОД	
Статьи прихода	кг/ч	Статьи расхода	кг/ч
4/5 (80% масс.) насыщенного раствора, в частности		Регенерированный раствор в частности:	
NH_4HSO_3	12728,571	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$	7705,714
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$	248,571	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	471,429
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	471,429	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$	211,429
$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$	211,429	H_2O	31985,714
H_2O	31985,714		
Итого	45645,714	Итого	40374,286
		Парогазовая смесь в частности:	
		SO_2	4114,286
		H_2O	1157,143
Всего	45645,714	Всего	45645,715

В автоклав на регенерацию поступает 1/5 насыщенного раствора, в том числе:

$$m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}^{\text{автокл.}} = 0,2 \cdot 15910,714 = 3182,142 \text{ кг/ч;}$$

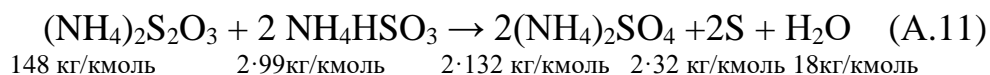
$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{автокл.}} = 0,2 \cdot 310,714 = 62,142 \text{ кг/ч;}$$

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}^{\text{автокл.}} = 0,2 \cdot 589,286 = 117,857 \text{ кг/ч;}$$

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3}^{\text{автокл.}} = 0,2 \cdot 264,286 = 52,857 \text{ кг/ч;}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{автокл.}} = 0,2 \cdot 39982,143 = 7996,428 \text{ кг/ч.}$$

Определим количество продуктов разложения $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ в автоклаве в соответствии с уравнением реакции:



$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}^{\text{рег2}} = 0,2 \cdot m_{(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3}^{\text{нас.п-н}} \cdot \frac{2M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}}{2M_{(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3}};$$

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}^{\text{рег2}} = 0,2 \cdot 264,286 \cdot \frac{2 \cdot 132}{148} = 94,286 \text{ кг/ч;}$$

$$m_S^{\text{пер}2} = 0,2 \cdot m_{(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3}^{\text{нас.р-н}} \cdot \frac{2M_S}{M_{(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3}};$$

$$m_S^{\text{пер}2} = 0,2 \cdot 264,286 \cdot \frac{2 \cdot 32}{148} = 22,857 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{пер}2} = 0,2 \cdot 264,286 \cdot \frac{18}{148} = 6,429 \text{ кг/ч}.$$

На автоклавное разложение по реакции (11) израсходовано NH_4HSO_3 :

$$m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}^{\text{пер}2} = 0,2 \cdot m_{(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3}^{\text{нас.р-н}} \cdot \frac{2 \cdot M_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}}{M_{(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3}};$$

$$m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}^{\text{пер}2} = 0,2 \cdot 264,286 \cdot \frac{2 \cdot 99}{148} = 70,714 \text{ кг/ч}.$$

Определим количество продуктов разложения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ в автоклаве согласно уравнению реакции:



$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}^{\text{пер}3} = 0,2 \cdot m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{нас.р-н}} \cdot \frac{2M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}}{2M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}};$$

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}^{\text{пер}3} = 0,2 \cdot 310,714 \cdot \frac{2 \cdot 132}{116} = 141,427 \text{ кг/ч};$$

$$m_S^{\text{пер}3} = 0,2 \cdot m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{нас.р-н}} \cdot \frac{M_S}{M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}};$$

$$m_S^{\text{пер}3} = 0,2 \cdot 310,714 \cdot \frac{32}{116} = 17,143 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{пер}3} = 0,2 \cdot 310,714 \cdot \frac{18}{116} = 9,643 \text{ кг/ч}.$$

На автоклавное разложение по реакции (A.12) израсходовано NH_4HSO_3 :

$$m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}^{\text{пер}3} = 0,2 \cdot m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{нас.р-н}} \cdot \frac{2 \cdot M_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}}{M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}};$$

$$m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}^{\text{пер}3} = 0,2 \cdot 310,714 \cdot \frac{2 \cdot 99}{116} = 106,070 \text{ кг/ч}.$$

По результатам расчетов согласно уравнению реакции (A.11) и (A.12) рассчитаем общее количество продуктов реакции в автоклаве:

$$m_S^{\text{пер}2+3} = m_S^{\text{пер}2} + m_S^{\text{пер}3};$$

$$\begin{aligned}
m_S^{\text{per}2+3} &= 22,857 + 17,143 = 40,000 \text{ кг/ч;} \\
m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}^{\text{per}2+3} &= m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}^{\text{per}2} + m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}^{\text{per}3}; \\
m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}^{\text{per}2+3} &= 94,285 + 141,427 = 235,712 \text{ кг/ч.} \\
m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{per}2+3} &= m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{per}2} + m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{per}3}; \\
m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{per}2+3} &= 6,429 + 9,643 = 16,072 \text{ кг/ч.}
\end{aligned}$$

На автоклавное разложение потрачено NH_4HSO_3 :

$$\begin{aligned}
m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}^{\text{per}2+3} &= m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}^{\text{per}2} + m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}^{\text{per}3}; \\
m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}^{\text{per}2+3} &= 70,714 + 106,070 = 176,784 \text{ кг/ч.}
\end{aligned}$$

Масса NH_4HSO_3 , оставшаяся в растворе после автоклавного разложения:

$$\begin{aligned}
m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}^{p\text{-н после автокл.}} &= m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}^{\text{автокл.}} - m^{\text{per}2+3} = 3182,142 - 176,784 \\
&= 3005,358 \text{ кг/ч.}
\end{aligned}$$

Масса $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ после автоклавной регенерации:

$$\begin{aligned}
m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}^{p\text{-н после автокл.}} &= m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}^{\text{автокл.}} + m^{\text{per}2} + m^{\text{per}3}; \\
m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}^{p\text{-н после автокл.}} &= 117,857 + 94,285 + 141,427 = 353,569 \text{ кг/ч;} \\
m_{\text{H}_2\text{O}}^{p\text{-н после автокл.}} &= m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{автокл.}} + m^{\text{per}2} + m^{\text{per}3}; \\
m_{\text{H}_2\text{O}}^{p\text{-н после автокл.}} &= 7996,428 + 6,429 + 9,643 = 8012,500 \text{ кг/ч.}
\end{aligned}$$

Результаты расчета автоклавного процесса сведем в таблицу материального баланса (таблица А.5):

Произведем расчет испарения и кристаллизации.

На испарение поступает 1/4 регенерированного раствора, в частности:

$$\begin{aligned}
m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} &= \frac{1}{4} \cdot 471,429 = 117,857 \text{ кг/ч;} \\
m_{\text{H}_2\text{O}} &= \frac{1}{4} \cdot 31985,714 = 7996,429 \text{ кг/ч;} \\
m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3} &= \frac{1}{4} \cdot 7705,714 = 1926,429 \text{ кг/ч;} \\
m_{(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3} &= \frac{1}{4} \cdot 211,429 = 52,857 \text{ кг/ч.}
\end{aligned}$$

Кроме этого, на испарение поступает раствор с автоклава:

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = 353,569 \text{ кг/ч;}$$

$$m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3} = 3005,358 \text{ кг/ч};$$

Таблица А.5 – Материальный баланс автоклавного процесса

ПРИХОД		РАСХОД	
Статьи прихода	кг/ч	Статьи расхода	кг/ч
Насыщенный Раствор в частности: NH ₄ HSO ₃	3182,142	Раствор после автоклавного процесса, в частности: (NH ₄) ₂ SO ₄	353,569
(NH ₄) ₂ SO ₃	62,142	NH ₄ HSO ₃	3005,358
(NH ₄) ₂ SO ₄	117,857	H ₂ O	8012,500
(NH ₄) ₂ S ₂ O ₃	52,857		
H ₂ O	7996,428		
		Итого	11371,427
		Расплавленная сера	40,000
Всего	11411,426	Всего	11411,427

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 8012,500 \text{ кг/ч}.$$

Образовавшийся раствор подается в кристаллизатор.

Состав раствора:

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}^{\text{крист.}} = 117,857 + 353,569 = 471,426 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{крист.}} = 7996,429 + 8012,501 = 16008,93 \text{ кг/ч};$$

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3}^{\text{крист.}} = 52,857 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3}^{\text{крист.}} = 3005,258 \text{ кг/ч};$$

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}^{\text{крист.}} = 1926,429 \text{ кг/ч}.$$

Из кристаллизатора насыщенный раствор подается в центрифугу, где отделяется кристаллический сульфат аммония:

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = 471,426 \text{ кг/год}.$$

Маточный раствор возвращается в абсорбер:

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3} = 1926,429 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{NH}_4\text{HSO}_3} = 3005,258 \text{ кг/ч};$$

$$m_{H_2O} = 16008,93 \text{ кг/ч};$$

$$m_{(NH_4)_2S_2O_3} = 52,857 \text{ кг/ч}.$$

Результаты расчета процесса испарения, кристаллизации, центрифугирования сведем в таблицу материального баланса (таблица А.6).

Все расчеты обобщены в виде сводной таблицы материального баланса аммиачно-комбинированного метода очистки дымовых газов от SO_2 (таблица А.7, рисунок А.3).

Таблица А.6 – Материальный баланс процесса испарения, кристаллизации, центрифугирования

ПРИХОД		РАСХОД	
Статьи прихода	кг/ч	Статьи расхода	кг/ч
1/4 регенерированного раствора, в частности (NH ₄) ₂ SO ₃ (NH ₄) ₂ SO ₄ (NH ₄) ₂ S ₂ O ₃ H ₂ O	1926,429 117,857 52,857 7996,429	Маточный раствор, в частности: (NH ₄) ₂ SO ₃ NH ₄ HSO ₃ (NH ₄) ₂ S ₂ O ₃ H ₂ O	1926,429 3005,258 52,857 16008,930
Итого	10093,572	Итого	20993,474
Раствор с автоклава, в частности: (NH ₄) ₂ SO ₄ NH ₄ HSO ₃ H ₂ O	353,569 3005,358 8012,501	Кристаллический (NH ₄) ₂ SO ₄	471,426
Разом	11371,428		
Всего	21465,000	Всего	21465,000

Практическое занятие 4

Доменный газ содержит 11,8% об. диоксида углерода. Для получения восстановительного газа для доменных печей реализуется очистка доменного газа от диоксида углерода 18%-ным раствором моноэтаноламина. После очистки избыточное содержание диоксида углерода в восстановительном газе составляет 0,8% об. Объем очищаемого газа 80 тыс. м³/ч.

Рассчитать количество раствора МЭА и продуктов очистки доменного газа.

Решение:

Определим количество CO_2 в доменном газе:

$$V_{CO_2}^{пр} = \frac{V_{др} \cdot V_{CO_2}}{100}; V_{CO_2}^{дг} = \frac{80000 \cdot 11,8}{100} = 9440 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

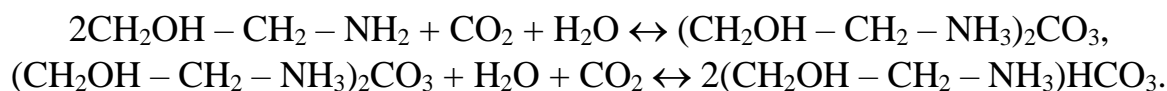
$$m_{CO_2}^{пр} = \frac{V_{CO_2}^{пр} \cdot M_{CO_2}}{22,4}; m_{CO_2}^{дг} = \frac{V_{CO_2}^{дг} \cdot M_{CO_2}}{22,4} = 18542,857 \text{ кг/ч}$$

Определим количество поглощенного CO₂:

$$V_{CO_{2л}}^{погл} = V_{CO_2}^{пр} \frac{(C_{CO_2}^{дг} - C_{CO_2}^{зал})}{C_{CO_2}^{пр}}; V_{CO_{2л}}^{погл} = 9440 \frac{(11,8 - 0,8)}{11,8} = 8800 \text{ м}^3 / \text{ч},$$

$$m_{CO_{2л}}^{погл} = \frac{8800 \cdot 44}{22,4} = 17285,714 \text{ кг/ч}.$$

Составим суммарное уравнение поглощения диоксида углерода раствором моноэтаноламина:



Суммарное уравнение (для расчетов):

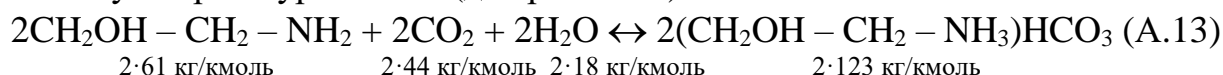


Таблица А.7 – Сводная таблица материального баланса

ПРИХОД				РАСХОД			
Статьи прихода	кг/год	% масс	м ³ /ч	Статьи расхода	кг/год	%, масс.	м ³ /ч
Газ на очистку, в частности: SO ₂ другое	5714,286 -	100,0 -	2000 -	Очищенный газ, в частности: SO ₂ другое	571,429 -	100 -	200 -
				Парогазовая смесь, в частности: SO ₂ H ₂ O	4114,286 1157,143	78 22	1440 1440
Итого	5714,286	100,0	2000	Итого	5271,429	100	2880
Поглотительный раствор, в частности: (NH ₄) ₂ SO ₃ H ₂ O	10357,143 41428,572	20 80	- -	3/4 терморегенерированного раствора, в частности: (NH ₄) ₂ SO ₄ (NH ₄) ₂ SO ₃ (NH ₄) ₂ S ₂ O ₃ H ₂ O	353,579 5779,285 158,572 23989,28 5	1,2 19,1 0,5 79,2	- - - -
Итого	51785,715	100	-	Итого	30280,72 1	100	-
Кислород на окисление	71,429	-	100	Автоклавная сера	40,000	-	-

Сера на окисление	57,143	-	-	Кристаллогидрат (NH ₄) ₂ SO ₄	471,426	-	-
				Маточный раствор, в частности			
				(NH ₄) ₂ SO ₃	1926,429	9	-
				NH ₄ HSO ₃	3005,258	14	-
				H ₂ O	16008,93	74	-
				(NH ₄) ₂ S ₂ O ₃	52,857	3	-
				Итого	20993,47	100	-
Всего	57628,573	-	-	Всего	57628,47	-	-
					9		

Определим количество МЭА, идущее на поглощение диоксида углерода:

$$m_{\text{МЕА}}^{\text{погл}} = m_{\text{CO}_2}^{\text{погл}} \frac{2M_{\text{МЕА}}}{2M_{\text{CO}_2}}; \quad m_{\text{МЕА}}^{\text{погл}} = 17285,714 \frac{2 \cdot 61}{2 \cdot 44} = 23964,284 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{МЕА}_{p-n}}^{\text{погл}} = m_{\text{МЕА}}^{\text{погл}} \frac{100}{c_{\text{МЕА}}}; \quad m_{\text{МЕА}_{p-n}}^{\text{погл}} = 23964,284 \frac{100}{18} = 133134,910 \text{ кг/ч}.$$

Определим количество поглощенной воды и образовавшейся соли:

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{погл}} = 17285,714 \frac{2 \cdot 18}{2 \cdot 44} = 7071,428 \text{ кг/ч},$$

$$m_{\text{соли}}^{\text{обр}} = 17285,714 \frac{2 \cdot 123}{2 \cdot 44} = 48321,426 \text{ кг/ч}.$$

Определим количество воды, перешедшей в раствор соли:

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{p-\text{соли}} = (m_{\text{МЕА}_{p-n}}^{\text{погл}} - m_{\text{МЕА}}^{\text{погл}}) - m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{погл}},$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{p-\text{соли}} = (133134,911 - 23964,284) - 7071,428 =$$

$$= 109170,627 - 7071,428 = 102099,199 \text{ кг/ч},$$

где 109170,62 кг/ч – масса воды в растворе МЭА.

Проверим расчеты путем решения уравнения материального баланса:

$$m_{\text{CO}_2}^{\text{погл}} + m_{\text{МЕА}}^{\text{погл}} + m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{погл}} = m_{\text{соли}}^{\text{обр}},$$

$$17285,714 + 23964,284 + 7071,428 = 48321,426,$$

приход 48321,426 = расход 48321,426.

Практическое занятие 5

Определить количество твердого гранулированного поглотителя, содержащего 85 масс.%. супероксида калия для регенерации воздуха в

загерметизированном помещении объемом 1250 м^3 , если в нем в течение 10 суток должно находиться 125 человек (один человек выдыхает 25 л CO_2 в час).

Решение:

Определим объем углекислого газа, который накопится в помещении за 10 суток:

$$V_{\text{CO}_2}^{\text{помещ}} = m_{\text{чел}} \cdot V_{\text{CO}_2}^{\text{чел}} \cdot 10^{-3} \cdot 24 \cdot n_{\text{сут}},$$

$$V_{\text{CO}_2}^{\text{помещ}} = 125 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot 24 \cdot 10 = 750 \text{ м}^3,$$

$$m_{\text{CO}_2}^{\text{помещ}} = \frac{750 \cdot 44}{22,4} = 1473,214 \text{ кг.}$$

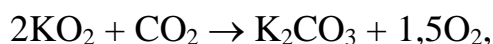
При этом концентрация CO_2 в помещении будет составлять:

$$C_{\text{CO}_2}^{\text{помещ}} = \frac{100 \cdot V_{\text{CO}_2}^{\text{помещ}}}{V_{\text{помещ}}};$$

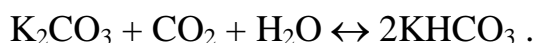
$$C_{\text{CO}_2}^{\text{помещ}} = \frac{100 \cdot 750}{1250} = 60 \% \text{ об.},$$

что выше критической концентрации при длительном пребывании в замкнутом объеме ($C_{\text{CO}_2}^{\text{доп}} \approx 1 \% \text{ об.}$)

Определим необходимое количество поглотителя CO_2 для регенерации воздуха в замкнутом объеме:



учтем возможность карбоната калия (поташа) взаимодействовать с диоксидом углерода:



Составим суммарное уравнение:



$$2 \cdot 71 \text{ кг/кмоль} \quad 2 \cdot 44 \text{ кг/кмоль} \quad 18 \text{ кг/кмоль} \quad 2 \cdot 100 \text{ кг/кмоль} \quad 1,5 \cdot 32 \text{ кг/кмоль}$$

Определим необходимое количество супероксида калия для удаления всего количества углекислого газа:

$$m_{\text{KO}_2}^{\text{погл}} = m_{\text{CO}_2}^{\text{помещ}} \frac{2M_{\text{KO}_2}}{2M_{\text{CO}_2}}; \quad m_{\text{KO}_2}^{\text{погл}} = 1473,214 \frac{2 \cdot 71}{2 \cdot 44} = 2377,232 \text{ кг};$$

Учитывая содержание KO_2 в твердом поглотителе, определим массу поглотителя:

$$m_{\text{погл}} = m_{\text{KCO}_2}^{\text{погл}} \frac{100}{C_{\text{KCO}_2}^{\text{погл}}}; \quad m_{\text{погл}} = 2377,232 \frac{100}{85} = 2796,743 \text{ кг.}$$

Определим количество кислорода, образовавшегося при поглощении CO_2 супероксидом калия:

$$m_{\text{O}_2}^{\text{утв}} = m_{\text{KCO}_2}^{\text{погл.}} \frac{1,5M_{\text{O}_2}}{2M_{\text{KCO}_2}};$$

$$m_{\text{O}_2}^{\text{утв}} = 2377,232 \frac{1,5 \cdot 32}{2 \cdot 71} = 803,571 \text{ кг,}$$

$$V_{\text{O}_2}^{\text{утв}} = 803,571 \frac{22,4}{32} = 562,5 \text{ м}^3.$$

Определим количество пара H_2O и KHCO_3 :

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{пара}} = m_{\text{CO}_2}^{\text{помещ}} \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{2M_{\text{CO}_2}};$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{пара}} = 1473,214 \frac{18}{2 \cdot 44} = 301,339 \text{ кг,}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{пара}} = 301,339 \frac{22,4}{18} = 375 \text{ м}^3.$$

$$m_{\text{KHCO}_3}^{\text{обр}} = m_{\text{CO}_2}^{\text{помещ}} \frac{2M_{\text{KHCO}_3}}{2M_{\text{CO}_2}};$$

$$m_{\text{KHCO}_3}^{\text{обр}} = 1473,214 \frac{2 \cdot 100}{2 \cdot 44} = 3348,217 \text{ кг.}$$

Проверим расчеты путем решения уравнения материального баланса:

$$m_{\text{KCO}_2}^{\text{погл}} + m_{\text{CO}_2}^{\text{погл}} + m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{пара}} = m_{\text{KHCO}_3}^{\text{обр}} + m_{\text{O}_2}^{\text{обр}};$$

$$2377,232 + 1473,214 + 301,339 = 3348,217 + 803,571;$$

приход 4151,785 = расход 4151,788.

Практическое занятие 6

Определить количество восстановителя CH_4 , необходимого для дефиксации азота из нитрозных газов производства разбавленной азотной кислоты. Объем нитрозных газов 150 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$, содержание NO – 0,4% об., NO_2 – 0,15% об. Степень очистки от NO – 90%, NO_2 – 98%. Определить количество восстановителя и продуктов каталитического обновления.

Решение:

Определим количество оксидов азота в нитрозном газе

$$V_{\text{NO}}^{\text{газ}} = V_{\text{газ}} \frac{C_{\text{NO}}^{\text{газ}}}{100};$$

$$V_{\text{NO}}^{\text{газ}} = 150000 \frac{0,4}{100} = 600 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{\text{NO}_2}^{\text{газ}} = V_{\text{газ}} \frac{C_{\text{NO}_2}^{\text{газ}}}{100};$$

$$V_{\text{NO}_2}^{\text{газ}} = 150000 \frac{0,15}{100} = 225 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Количество разложенных оксидов азота:

$$V_{\text{NO}}^{\text{розл}} = 600 \cdot 0,90 = 540 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{\text{NO}_2}^{\text{розл}} = 225 \cdot 0,98 = 220,5 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$m_{\text{NO}}^{\text{розл}} = 540 \cdot \frac{30}{22,4} = 723,214 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{NO}_2}^{\text{розл}} = 220,5 \cdot \frac{46}{22,4} = 452,812 \text{ кг/ч}.$$

Составим уравнение восстановления оксидов азота:



Учитывая соотношение мольных объемов газообразных веществ в уравнениях (A.15) и (A.16), определим необходимое количество газавосстановителя CH_4 и продуктов восстановления NO_x :

$$V_{\text{CH}_4}^1 = \frac{1}{4} V_{\text{NO}}^{\text{розл}};$$

$$V_{\text{CH}_4}^1 = 0,25 \cdot 540 = 135 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{\text{CH}_4}^2 = \frac{1}{2} V_{\text{NO}_2}^{\text{розл}};$$

$$V_{\text{CH}_4}^2 = 0,5 \cdot 220,5 = 110,25 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{\text{CH}_4}^{\text{сумм}} = V_{\text{CH}_4}^1 + V_{\text{CH}_4}^2;$$

$$V_{\text{CH}_4}^{\text{сумм}} = 135 + 110,25 = 245,25 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$m_{\text{CH}_4}^{\text{сумм}} = 245,25 \frac{16}{22,4} = 175,179 \text{ кг/год}.$$

$$V_{\text{N}_2}^1 = \frac{2}{4} V_{\text{NO}}^{\text{розл}};$$

$$V_{\text{N}_2}^1 = 0,5 \cdot 540 = 270 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\begin{aligned}
V_{N_2}^2 &= \frac{1}{2} V_{NO_2}^{\text{розл}}; \\
V_{N_2}^2 &= 0,5 \cdot 220,5 = 110,25 \text{ м}^3/\text{ч}; \\
V_{N_2}^{\text{сумм}} &= V_{N_2}^1 + V_{N_2}^2; \\
V_{N_2}^{\text{сумм}} &= 270 + 110,25 = 380,25 \text{ м}^3/\text{ч}; \\
m_{N_2}^{\text{сум}} &= 380,25 \frac{28}{22,4} = 475,313 \text{ кг/год.} \\
V_{H_2O}^1 &= \frac{2}{4} V_{NO}^{\text{розл}}; \\
V_{H_2O}^1 &= 0,5 \cdot 540 = 270 \text{ м}^3/\text{ч}; \\
V_{H_2O}^2 &= \frac{2}{2} V_{NO_2}^{\text{розл}}; \\
V_{H_2O}^2 &= 1 \cdot 220,5 = 220,5 \text{ м}^3/\text{ч}; \\
V_{H_2O}^{\text{сумм}} &= V_{H_2O}^1 + V_{H_2O}^2; \\
V_{H_2O}^{\text{сумм}} &= 270 + 220,5 = 490,5 \text{ м}^3/\text{ч}; \\
m_{H_2O}^{\text{сумм}} &= 490,5 \frac{18}{22,4} = 394,152 \text{ кг/ч.} \\
V_{CO_2}^1 &= \frac{1}{4} V_{NO}^{\text{розл}}; \\
V_{CO_2}^1 &= 0,25 \cdot 540 = 135 \text{ м}^3/\text{ч}; \\
V_{CO_2}^2 &= \frac{1}{2} V_{NO_2}^{\text{розл}}; \\
V_{CO_2}^2 &= 0,5 \cdot 220,5 = 110,25 \text{ м}^3/\text{ч}; \\
V_{CO_2}^{\text{сумм}} &= V_{CO_2}^1 + V_{CO_2}^2; \\
V_{CO_2}^{\text{сумм}} &= 135 + 110,25 = 245,25 \text{ м}^3/\text{ч}; \\
m_{CO_2}^{\text{сумм}} &= 245,25 \frac{44}{22,4} = 481,741 \text{ кг/ч.}
\end{aligned}$$

Проверим расчеты путем решения уравнения материального баланса:

$$\begin{aligned}
m_{NO}^{\text{розл}} + m_{NO_2}^{\text{розл}} + m_{CH_4}^{\text{розл}} &= m_{N_2}^{\text{сумм}} + m_{H_2O}^{\text{сумм}} + m_{CO_2}^{\text{сумм}}; \\
723,214 + 452,812 + 175,179 &= 475,313 + 394,152 + 481,741; \\
\text{приход } 1351,205 &= \text{расход } 1351,206
\end{aligned}$$

Практическое занятие 7

Рассчитать количество карбамида $(NH_2)_2CO$ для гомогенного восстановления оксидов азота, если объем дымовых газов $25000 \text{ м}^3/\text{ч}$, содержание $NO - 800 \text{ мг/м}^3$, $NO_2 - 300 \text{ мг/м}^3$. Степень очистки от $NO - 90\%$, $NO_2 - 85\%$.

Решение:

Определим количество оксидов азота в дымовых газах:

$$m_{NO}^{дг} = V_{дг} \cdot C_{NO}^{дг} \cdot 10^{-6};$$
$$m_{NO}^{дг} = 25000 \cdot 800 \cdot 10^{-6} = 20 \text{ кг/ч}$$

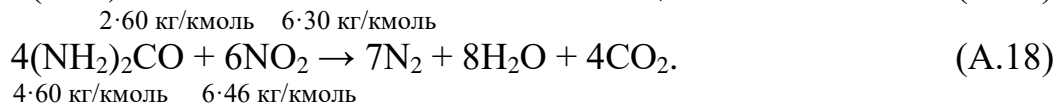
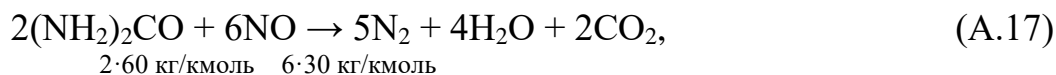
$$m_{NO_2}^{дг} = V_{дг} \cdot C_{NO_2}^{дг} \cdot 10^{-6};$$
$$m_{NO_2}^{дг} = 25000 \cdot 300 \cdot 10^{-6} = 3,5 \text{ кг/ч}$$

Количество поглощенных окислов азота с учетом очистки составляет:

$$m_{NO}^{погл} = m_{NO}^{дг} \cdot \eta_{NO};$$
$$m_{NO}^{погл} = 7,5 \cdot 0,85 = 18 \text{ кг/ч}$$

$$m_{NO_2}^{погл} = m_{NO_2}^{дг} \cdot \eta_{NO_2};$$
$$m_{NO_2}^{погл} = 20 \cdot 0,9 = 18 \text{ кг/ч}$$

Составим уравнение восстановления оксидов азота карбамидом:



Учитывая соотношение молей в уравнениях (A.17) и (A.18), определим количество карбамида на восстановление NO_x :

$$m_{(NH_2)_2CO}^1 = m_{NO}^{погл} \frac{2 \cdot M_{(NH_2)_2CO}}{6 \cdot M_{NO}};$$
$$m_{(NH_2)_2CO}^1 = 18 \frac{1 \cdot 60}{3 \cdot 30} = 12 \text{ кг/ч};$$
$$m_{(NH_2)_2CO}^2 = m_{NO_2}^{погл} \frac{2 \cdot M_{(NH_2)_2CO}}{6 \cdot M_{NO_2}};$$
$$m_{(NH_2)_2CO}^2 = 6,375 \frac{2 \cdot 60}{3 \cdot 46} = 5,543 \text{ кг/ч};$$
$$m_{(NH_2)_2CO}^{\partial 2} = 12 + 5,543 = 17,543 \text{ кг/ч}.$$

Практическое занятие 8

Рассчитать количество воды, хлорида натрия и конечных продуктов при очистке отходящих газов производства суперфосфата и переработки H_2SiF_6 ,

если объем отходящих газов составляет 30 тыс. м³/ч, и в газах содержатся 12 г/м³ HF и 35 г/м³ SiF₄. Учтеть, что степень превращения кремнийфторида водорода в кремнийфторид натрия составляет 85%.

Решение:

Определим количество фтористого водорода и четырехфтористого кремния в отходящих газах:

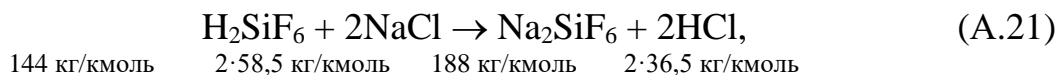
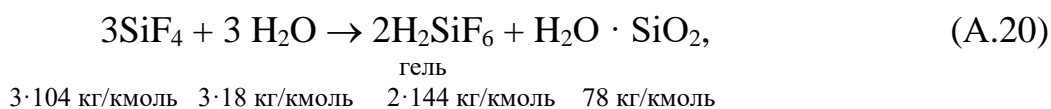
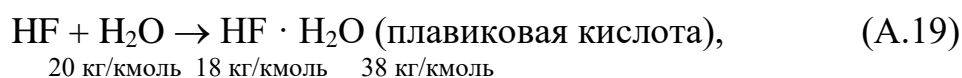
$$m_{HF}^{вг} = V_{вг} \cdot C_{HF}^{вг} \cdot 10^{-3};$$

$$m_{HF}^{вг} = 30000 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 360 \text{ кг/ч}$$

$$m_{SiF_4}^{вг} = V_{вг} \cdot C_{SiF_4}^{вг} \cdot 10^{-3};$$

$$m_{SiF_4}^{вг} = 30000 \cdot 35 \cdot 10^{-3} = 1050 \text{ кг/ч}$$

Составим уравнение реакций для расчетов:



Согласно уравнениям (A.19) и (A.20) определим расход воды на реакции и количество плавиковой кислоты, геля кремнийфтористоводородной кислоты и геля кремниевой кислоты:

$$m_{H_2O}^1 = m_{HF}^{вг} \frac{M_{H_2O}}{M_{HF}};$$

$$m_{H_2O}^1 = 360 \frac{18}{20} = 324 \text{ кг/ч};$$

$$m_{H_2O}^2 = m_{SiF_4}^{вг} \frac{3M_{H_2O}}{3M_{SiF_4}};$$

$$m_{H_2O}^2 = 1050 \frac{18}{104} = 181,731 \text{ кг/ч};$$

$$m_{H_2O}^{сумм} = m_{H_2O}^1 + m_{H_2O}^2;$$

$$m_{H_2O}^{сумм} = 324 + 181,731 = 505,731 \text{ кг/ч}.$$

$$m_{\text{HF}\cdot\text{H}_2\text{O}}^1 = m_{\text{HF}}^{\text{БГ}} \frac{M_{\text{HF}\cdot\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{HF}}};$$

$$m_{\text{HF}\cdot\text{H}_2\text{O}}^1 = 360 \frac{38}{20} = 684 \text{ кг/ч.}$$

$$m_{\text{H}_2\text{SiF}_6}^2 = m_{\text{SiF}_4}^{\text{БГ}} \frac{2 \cdot M_{\text{H}_2\text{SiF}_6}}{3 \cdot M_{\text{SiF}_4}};$$

$$m_{\text{H}_2\text{SiF}_6}^2 = 1050 \frac{2 \cdot 144}{3 \cdot 104} = 969,231 \text{ кг/ч.}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2}^2 = m_{\text{SiF}_4}^{\text{БГ}} \frac{M_{\text{H}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2}}{3 \cdot M_{\text{SiF}_4}};$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2}^2 = 1050 \frac{78}{3 \cdot 104} = 262,5 \text{ кг/ч.}$$

Проверим расчеты путем решения уравнения материального баланса уравнений (А.17) и (А.18):

$$m_{\text{HF}}^{\text{БГ}} + m_{\text{SiF}_4}^{\text{БГ}} + m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{СУММ}} = m_{\text{HF}\cdot\text{H}_2\text{O}}^1 + m_{\text{H}_2\text{SiO}_3}^2 + m_{\text{H}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2}^2;$$

$$360 + 1050 + 505,731 = 684 + 969,231 + 262,5;$$

приход 1915,731 = расход 1915,731

Согласно уравнениям (19) и (20) определим расход хлорида натрия и количество кристаллического кремнийфторида натрия (с учетом степени превращения 85%):

$$m_{\text{H}_2\text{SiF}_6}^3 = m_{\text{H}_2\text{SiF}_6}^2 \cdot 0,9;$$

$$m_{\text{H}_2\text{SiF}_6}^3 = 969,231 \cdot 0,9 = 872,308 \text{ кг/г};$$

$$m_{\text{H}_2\text{SiF}_6}^{\text{ПРОДУКТ}} = m_{\text{H}_2\text{SiF}_6}^2 - m_{\text{H}_2\text{SiF}_6}^3;$$

$$m_{\text{H}_2\text{SiF}_6}^{\text{ПРОДУКТ}} = 969,231 - 872,308 = 96,923 \text{ кг/ч.}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{SiF}_6}^3 = m_{\text{H}_2\text{SiF}_6}^3 \frac{M_{\text{Na}_2\text{SiF}_6}}{M_{\text{H}_2\text{SiF}_6}};$$

$$m_{\text{Na}_2\text{SiF}_6}^3 = 872,308 \frac{188}{144} = 1138,846 \text{ кг/ч.}$$

$$m_{\text{NaCl}}^3 = m_{\text{H}_2\text{SiF}_6}^3 \frac{2 \cdot M_{\text{NaCl}}}{M_{\text{H}_2\text{SiF}_6}};$$

$$m_{\text{NaCl}}^3 = 872,308 \frac{2 \cdot 58,5}{144} = 708,750 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{NaCl}}^4 = m_{\text{HF}\cdot\text{H}_2\text{O}}^1 \frac{2 \cdot M_{\text{NaCl}}}{M_{\text{HF}\cdot\text{H}_2\text{O}}};$$

$$m_{\text{NaCl}}^4 = 684 \frac{58,5}{38} = 1053 \text{ кг/ч};$$

$$m_{NaCl}^{сум} = m_{NaCl}^3 + m_{NaCl}^4;$$

$$m_{NaCl}^{сум} = 708,750 + 1053 = 1761,750 \text{ кг/ч.}$$

Практическое занятие 9

В производстве хлорной извести объем выбросов составляет 30 тыс. м³/ч, в которых содержится 14 л/м³ хлора. Рассчитать объем суспензии извести для поглощения хлора, если степень очистки составляет 95%, а содержание Са(ОН)₂ составляет 150 г/л раствора (150 кг/м³). Конечный продукт очищения – гипохлорит кальция.

Решение:

Рассчитаем количество хлора в выбросах:

$$V_{Cl_2}^{выбр} = V_{выб} \cdot c_{Cl_2}^{выбр} \cdot 10^{-3};$$

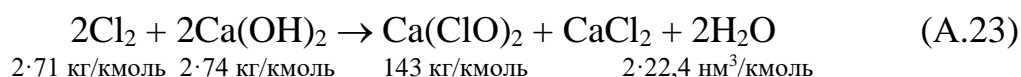
$$V_{Cl_2}^{выбр} = 30000 \cdot 14 \cdot 10^{-3} = 420 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Количество поглощенного хлора составляет:

$$V_{Cl_2}^{погл} = 420 \cdot 0,95 = 399 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$m_{Cl_2}^{погл} = 399 \cdot \frac{71}{22,4} = 1264,687 \text{ кг/год.}$$

Составим уравнение реакции поглощения хлора:



Рассчитаем количество извести, необходимое для поглощения хлора:

$$m_{Ca(OH)_2}^{погл} = V_{Cl_2}^{погл} \frac{74}{22,4};$$

$$m_{Ca(OH)_2}^{погл} = \frac{399 \cdot 74}{22,4} = 1318,125 \text{ кг/ч.}$$

Объем суспензии известкового молока составляет:

$$V_{суспензии}^{Ca(OH)_2} = \frac{m_{Ca(OH)_2}^{погл}}{c_{Ca(OH)_2}^{суспензии}};$$

$$V_{\text{суспензии}}^{\text{Ca(OH)}_2} = \frac{1318,125}{150} = 8,787 \text{ м}^3/\text{ч};$$

Количество гипохлорита кальция равно:

$$m_{\text{Ca(ClO)}_2}^{\text{обр}} = \frac{V_{\text{Cl}}^{\text{погл}} \cdot M_{\text{Ca(ClO)}_2}}{2 \cdot 22,4};$$

$$m_{\text{Ca(ClO)}_2}^{\text{обр}} = \frac{399 \cdot 143}{2 \cdot 22,4} = 1273,594 \text{ кг/ч.}$$

Практическое занятие 10

А) На очистку от пара брома поступает 500 тыс. м³/ч выбросов, в которых содержится 900 мг/м³ брома. Степень очистки 95%. Определить количество 15%-ного раствора соды, необходимое для поглощения пара брома.

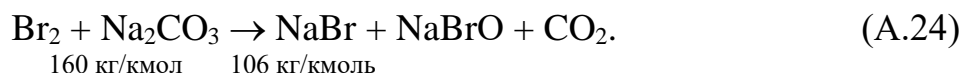
Решение:

Рассчитаем количество поглощенных паров брома:

$$m_{\text{Br}_2}^{\text{погл}} = V_{\text{выбр}} \cdot c_{\text{Br}_2}^{\text{выбр}} \cdot 10^{-6} \cdot \eta_{\text{Br}_2};$$

$$m_{\text{Br}_2}^{\text{погл}} = 500000 \cdot 900 \cdot 10^{-6} \cdot 0,95 = 427,5 \text{ кг/ч.}$$

Составим уравнение реакции поглощения:



Рассчитаем массу карбоната натрия и массу раствора соды для поглощения пара брома:

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^{\text{погл}} = \frac{427,5 \cdot 106}{160} = 283,219 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{р-ра}}^{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{283,219 \cdot 100}{15} = 1888,127 \text{ кг/ч.}$$

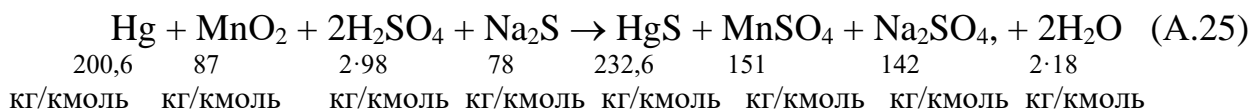
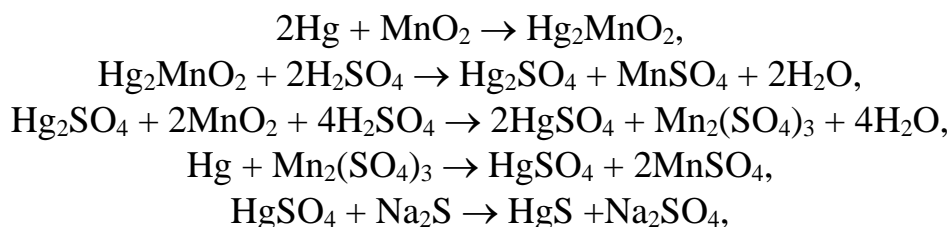
Б) Рассчитать количество пиросульфата, 10% раствора серной кислоты и сульфида натрия для очистки 75 тыс. м³/ч вентиляционного воздуха, содержащего 500 мг/м³ пара ртути. Степень очистки 99%. Конечные продукты – сульфид ртути и сульфат марганца.

Решение:

Определим массу поглощенного пара ртути:

$$m_{\text{Hg}}^{\text{погл}} = V_{\text{вик}} \cdot c_{\text{Hg}}^{\text{выбр}} \cdot 10^{-6} \cdot \eta_{\text{Hg}};$$
$$m_{\text{Hg}}^{\text{погл}} = 75000 \cdot 500 \cdot 10^{-6} \cdot 0,99 = 37,125 \text{ кг/ч.}$$

Составим суммарное уравнение реакции поглощения пара ртути:



Рассчитаем количество пиролюзита MnO_2 :

$$m_{\text{MnO}_2}^{\text{погл}} = m_{\text{Hg}}^{\text{погл}} \frac{M_{\text{MnO}_2}}{M_{\text{Hg}}};$$
$$m_{\text{MnO}_2}^{\text{погл}} = 37,125 \frac{87}{200,6} = 16,101 \text{ кг/ч.}$$

Определим количество 10%-ного раствора H_2SO_4 :

$$m_{\text{р-ра}}^{\text{H}_2\text{SO}_4} = m_{\text{Hg}}^{\text{погл}} \frac{2 \cdot M_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{M_{\text{Hg}}} \cdot \frac{100}{10};$$
$$m_{\text{р-ра}}^{\text{H}_2\text{SO}_4} = 37,125 \frac{2 \cdot 98}{200,6} \cdot \frac{100}{10} = 362,737 \text{ кг/ч.}$$

Определим массу сульфида натрия для выделения в осадке ртути:

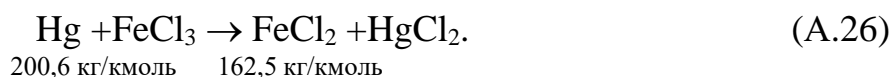
$$m_{\text{Na}_2\text{S}}^{\text{осадж}} = m_{\text{Hg}}^{\text{погл}} \frac{M_{\text{Na}_2\text{S}}}{M_{\text{Hg}}};$$
$$m_{\text{Na}_2\text{S}}^{\text{осадж}} = 37,125 \frac{78}{200,6} = 14,435 \text{ кг/ч.}$$

Практическое занятие 11

Рассчитайте количество насыщенного при 200 °С раствора хлорида железа(III), необходимое для демеркуризации помещения, в котором разлито 300 г ртути. Растворимость FeCl₃ при 200 °С равна 91,9 г на 100 г воды (91,9 кг/100 кг). Коэффициент избытка раствора взять 15.

Решение:

Составим уравнение реакции демеркуризации разливов ртути в промышленных помещениях:



Определим количество хлорного железа для демеркуризации:

$$\begin{aligned} m_{\text{FeCl}_3} &= m_{\text{Hg}} \frac{M_{\text{FeCl}_3}}{M_{\text{Hg}}}; \\ m_{\text{FeCl}_3} &= 0,300 \frac{162,5}{200,6} = 0,243 \text{ кг.} \end{aligned}$$

С учетом излишка раствора и растворимости в воде FeCl₃, определим массу раствора хлорного железа:

$$\begin{aligned} m_{p-pa}^{\text{FeCl}_3} &= m_{\text{FeCl}_3} \cdot \eta + m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{FeCl}_3} \cdot \eta + \frac{m_{\text{FeCl}_3} \cdot \eta}{\text{растворимость}} \cdot 100; \\ m_{p-ну}^{\text{FeCl}_3} &= 0,243 \cdot 15 + \frac{0,243 \cdot 15}{91,9} \cdot 100 = 3,645 + 3,966 = 7,611 \text{ кг.} \end{aligned}$$

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сухая очистка газов от пыли. Примеры расчета аппаратов : учебное пособие / . — Саратов : Вузовское образование, 2016. — 38 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/52013.html>

2. Белоусов В.В. Теория процессов и аппаратов очистки газов : учебно-методическое пособие / Белоусов В.В.. — Москва : Издательский Дом МИСиС, 2008. — 64 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/97900.html>

3. Процессы и аппараты защиты окружающей среды: аппараты очистки газов : учебное пособие / Ю.М. Кочнов [и др.]. — Москва : Издательский Дом МИСиС, 2001. — 161 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/97890.html>

4. Мухутдинов А.А. Физико-химические методы очистки газов / Мухутдинов А.А., Степанова С.В., Сольяшинова О.А. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2012. — 138 с. — ISBN 978-5-7882-1254-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/64032.html>

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к выполнению практических работ по дисциплине
«Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых выбросов»

Составители:

Ганнова Юлия Николаевна - кандидат химических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ»;
Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ».

Ответственный за выпуск:

Шаповалов Валерий Васильевич – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная экология и охрана окружающей среды» ГОУВПО «ДОННТУ».