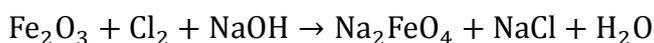


**ХИМИЯ****ВАРИАНТ 1****Задание 1 (5 баллов)**

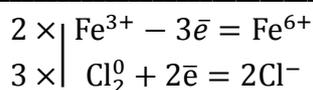
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнять, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, в сокращенной ионно-молекулярной форме:



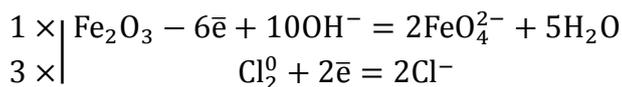
Решение



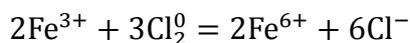
1 балл



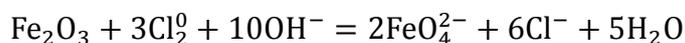
или



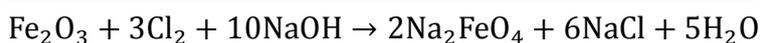
2 балла



или



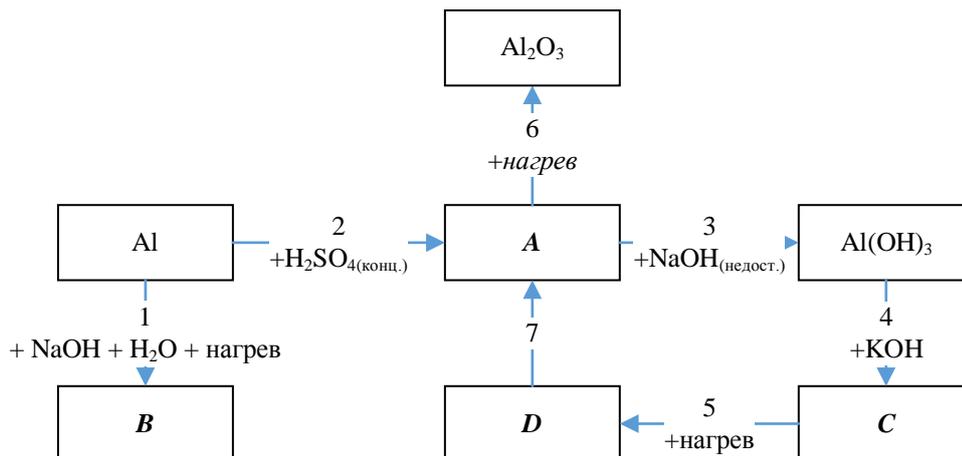
1 балл



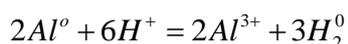
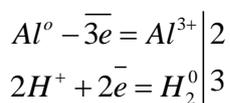
1 балл

Задание 2 (10 баллов)

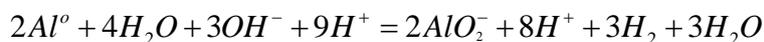
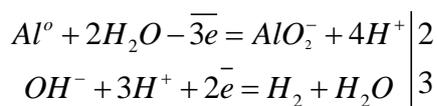
Определите формулы веществ *A*, *B*, *C*, *D*. Напишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакции, с помощью которых можно осуществить следующие химические превращения. Вещества в цепочке могут находиться как в твердом состоянии, так и в растворе. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полуреакций:



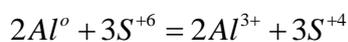
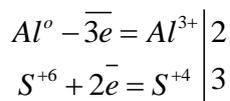
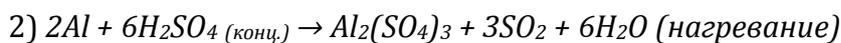
Решение:



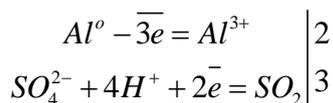
или



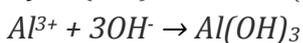
2 балла



или

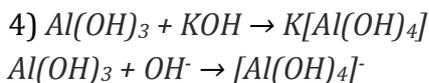


1 балл

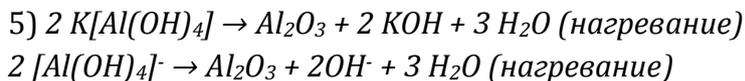




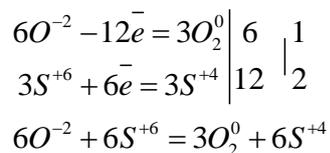
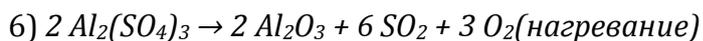
1 балл



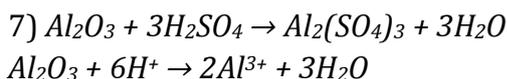
1 балл



2 балла



2 балла



1 балл

Ответ: **A** – $Al_2(SO_4)_3$; **B** – Al; **C** – $K[Al(OH)_4]$; **D** – Al_2O_3 .

Задание 3 (15 баллов)

Вещество **A** с относительной молекулярной массой 70 сгорает полностью с выделением при нормальных условиях 1120 мл CO_2 и 0,9 г H_2O . Вещество **A** массой 0,7 г реагирует с дихроматом калия в среде серной кислоты с образованием смеси, из которой можно выделить вещество **B** массой 0,58 г. Вещество **B** реагирует с водородом, образуя соединение **C**. Определить вещества **A**, **B** и **C**.

Решение:

1. Определим молекулярную формулу вещества **A**:

$$n_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_M} = \frac{1,12}{22,4} = 0,05, \text{ моль}$$

$$n_C = n_{CO_2} = 0,05, \text{ моль}$$

$$m_C = n_C \cdot M_C = 0,05 \cdot 12 = 0,6, \text{ г}$$

$$n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} = \frac{0,9}{18} = 0,05, \text{ моль}$$

$$n_H = 2 \cdot n_{H_2O} = 0,05 \cdot 2 = 0,1, \text{ моль}$$



$$m_H = n_H \cdot M_H = 0,1 \cdot 1 = 0,1, \text{ г}$$

$$m_C + m_H = 0,6 + 0,1 = 0,7, \text{ г}$$

_____ 3 балла

2. Сумма масс углерода и водорода равна массе сожженного вещества **A**. Вещество **A** не содержит кислорода и является углеводородом.

$$\frac{n_C}{n_H} = \frac{0,05}{0,1} = \frac{1}{2}$$

Простейшая формула вещества **A** – CH_2 ; истинная – $(\text{CH}_2)_n$, где

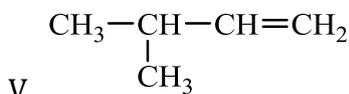
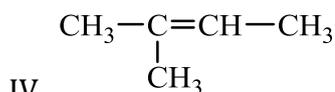
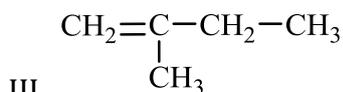
$$n = \frac{Mr_A}{Mr_{\text{CH}_2}} = \frac{70}{14} = 5$$

Истинная формула – C_5H_{10}

_____ 4 балла

3. Так как вещество **A** окисляется хромовой смесью, то это алкен.

Варианты структурных формул:



_____ 4 балла

4. Окисление алкенов I, II и V хромовой смесью даст кислоты (или CO_2 при дальнейшем окислении метановой кислоты), которые не способны присоединить водород. При окислении алкенов III и IV образуются кислоты и кетоны.

Так как вещество **B** присоединяет водород, то оно является кетоном. Количественное соотношение **A**:**B** = 1:1.

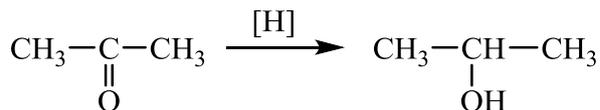
$$n_A = n_B = \frac{m_A}{M_A} = \frac{0,7}{70} = 0,01, \text{ моль}$$

$$M_B = \frac{m_B}{n_B} = \frac{0,58}{0,01} = 58, \text{ г/моль}$$

Молярная масса вещества **B** соответствует молярной массе ацетона. Ацетон является продуктом окисления 2-метилбутен-2 (IV) – вещество **A**:



Результатом восстановления ацетона водородом является пропанол-2 – вещество **C**.



4 балла

Задание 4 (20 баллов)

Лаборант взял две одинаковые навески неизвестного металла. Первую поместил в стакан с 429,82 мл 20 % серной кислоты ($\rho = 1,14$ г/мл), в результате чего металл полностью растворился, образовав 22,53 % раствор своего сульфата. Вторую навеску лаборант полностью растворил в 160 г раствора гидроксида натрия, с образованием соответствующей комплексной соли. Реакции металла с серной кислотой и гидроксидом натрия считать стехиометрическими. Напишите уравнения протекающих реакций. Определите массовую долю образовавшегося в результате реакции со щелочью вещества. Назовите искомый металл и образовавшейся в результате реакции со щелочью продукт.

Решение:

Определим массу исходного раствора серной кислоты:

$$m_{(\text{раствор } \text{H}_2\text{SO}_4)} = \rho \cdot V = 1,14 \text{ г/мл} \cdot 429,82 \text{ мл} = 490 \text{ г}$$

Определим массу и количество серной кислоты в исходном растворе:

$$m_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{m_{(\text{раствор } \text{H}_2\text{SO}_4)} \cdot \omega}{100 \%} = \frac{490 \text{ г} \cdot 20 \%}{100 \%} = 98 \text{ г}$$

$$n_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{m_{(\text{H}_2\text{SO}_4)}}{M_{(\text{H}_2\text{SO}_4)}} = \frac{98 \text{ г}}{98 \text{ г/моль}} = 1,0 \text{ моль}$$

При стехиометрической реакции металла с таким количеством серной кислоты из раствора выделится водород массой:

$$m_{(\text{H}_2)} = \frac{m_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} \cdot M_{(\text{H}_2)}}{M_{(\text{H}_2\text{SO}_4)}} = \frac{98 \text{ г} \cdot 2 \text{ г/моль}}{98 \text{ г/моль}} = 2,0 \text{ г}$$

5 баллов

Примем массу металла вступившего в реакцию с кислотой за x . Тогда масса раствора после реакции с металлом:

$$m_{(\text{раствор } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ после реакции с Me})} = m_{(\text{раствор } \text{H}_2\text{SO}_4)} + m_{(\text{Me})} - m_{(\text{H}_2)} = (490 + x - 2) \text{ г}$$

Тогда масса сульфата в растворе:

$$m_{(\text{сульфат})} = m_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} + m_{(\text{Me})} - m_{(\text{H}_2)} = (98 + x - 2) \text{ г}$$

Из известной массовой доли сульфата металла в полученном растворе найдем массу металла:

$$\omega_{(\text{сульфат в растворе})} = \frac{m_{(\text{сульфат})}}{m_{(\text{раствор } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ после реакции с Me})}} \cdot 100 \%$$

или

$$22,53 \% = \frac{96 + x}{488 + x} \cdot 100 \%$$



Таким образом, масса металла составит:

$$m_{(Me)} = x = 18 \text{ г}$$

5 баллов

Если металл одновалентный, он реагирует с серной кислотой по реакции (1):



Тогда молярная масса металла с учетом стехиометрии реакции составит:

$$\frac{m_{(Me)}}{M_{(Me)}} = 2 \cdot \frac{m_{(H_2)}}{M_{(H_2)}}$$

или

$$M_{(Me)} = \frac{m_{(Me)} \cdot M_{(H_2)}}{2 \cdot m_{(H_2)}} = \frac{18 \cdot 2}{2 \cdot 2} = 9 \text{ г / моль}$$

Если металл двухвалентный, он реагирует с серной кислотой по реакции (2):



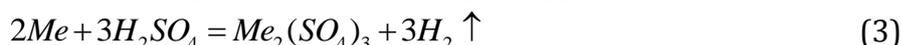
Тогда молярная масса металла с учетом стехиометрии реакции составит:

$$\frac{m_{(Me)}}{M_{(Me)}} = \frac{m_{(H_2)}}{M_{(H_2)}}$$

или

$$M_{(Me)} = \frac{m_{(Me)}}{m_{(H_2)} / M_{(H_2)}} = \frac{18}{2 / 2} = 18 \text{ г / моль}$$

Если металл трехвалентный, он реагирует с серной кислотой по реакции (3):



Тогда молярная масса металла с учетом стехиометрии реакции составит:

$$3 \cdot \frac{m_{(Me)}}{M_{(Me)}} = 2 \cdot \frac{m_{(H_2)}}{M_{(H_2)}}$$

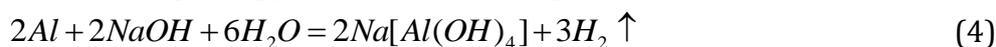
или

$$M_{(Me)} = \frac{3}{2} \cdot \frac{m_{(Me)} \cdot M_{(H_2)}}{m_{(H_2)}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{18 \cdot 2}{2} = 27 \text{ г / моль}$$

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, о том, что искомый металл – алюминий, так как металла с молярной массой 18 и 9 не существует.

5 баллов

Алюминий реагирует со щелочью по реакции (4):



В соответствии со стехиометрией реакции (4) образуется тетрагидроксоалюминат натрия массой:

$$m_{(Na[Al(OH)_4])} = \frac{m_{(Me)} \cdot M_{Na[Al(OH)_4]}}{M_{Me}} = \frac{18 \text{ г} \cdot 118 \text{ г/моль}}{27 \text{ г/моль}} = 78,66 \text{ г}$$



В соответствии со стехиометрией реакции (4) из раствора выделяется водород массой:

$$m_{(H_2)} = \frac{m_{(Me)} \cdot 3M_{H_2}}{2M_{Me}} = \frac{18 \text{ г} \cdot 6 \text{ г/моль}}{54 \text{ г/моль}} = 2 \text{ г}$$

Тогда масса раствора после реакции алюминия со щелочью:

$$m_{(раствор\ 2)} = m_{(раствор\ NaOH)} + m_{(Me)} - m_{(H_2)} = (160 + 18 - 2) = 176 \text{ г}$$

Следовательно, массовая доля тетрагидроксоалюминат натрия в растворе:

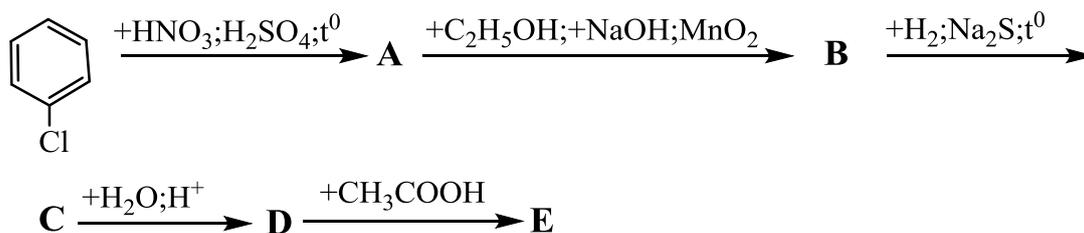
$$\omega_{(Na[Al(OH)_4] \text{ в растворе})} = \frac{m_{(Na[Al(OH)_4])}}{m_{(раствор\ 2)}} \cdot 100 \% = \frac{78,66}{176} \cdot 100 \% = 44,7 \%$$

_____ 5 баллов

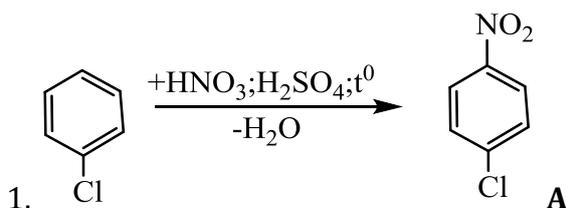
Ответ: искомый металл – алюминий (Al), продукт реакции со щелочью – тетрагидроксоалюминат натрия ($Na[Al(OH)_4]$), процентное содержание тетрагидроксоалюмината натрия в итоговом растворе – $\omega_{(Na[Al(OH)_4] \text{ в растворе})} = 44,7 \%$

Задание 5 (20 баллов)

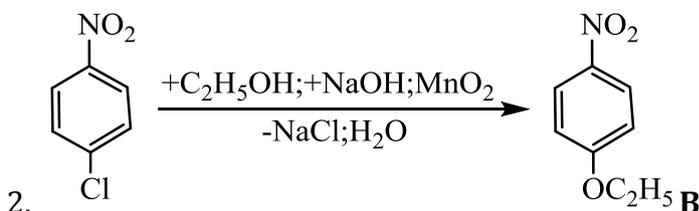
Предложите формулы органических веществ и уравнения химических реакций в соответствии со схемой превращений.



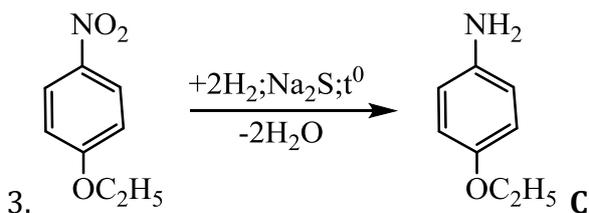
Решение



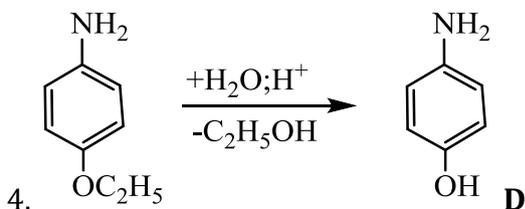
_____ 4 балла



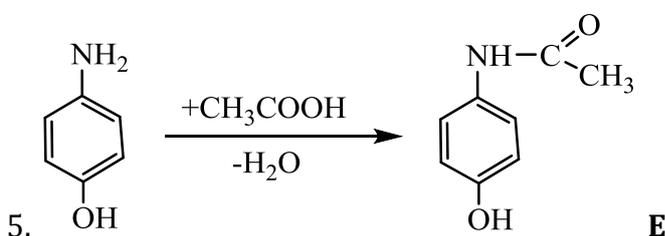
_____ 4 балла



4 балла



4 балла



4 балла

Задание 6 (30 баллов)

Плавку на штейн проводят в шахтных печах при температуре от 1300 до 1400 °С. Шихта содержит никелевую руду, кокс и сульфидирующую добавку – гипс (двухводный сульфат кальция). Кокс в шихту добавляют из расчёта создания восстановительной атмосферы угарного газа за счёт горения углерода. Расход воздуха – стехиометрический по отношению к реакциям углерода. Степень превращения углерода до углекислого газа 20 %. Угарный газ участвует в разложении гипса и реакциях сульфидизации оксидов никеля (степень превращения 88 %) и железа (степень превращения 20 %) с диоксидом серы, образующимся из гипса в присутствии угарного газа.

Для шихты, содержащей 100 т окисленной никелевой руды, сульфидирующую добавку (гипс) в количестве 30 % от массы руды, кокс в количестве 13 % от массы руды, флюсовые добавки кварца (оксид кремния) – 17 % от массы руды и известняка (карбонат кальция) – 21 % от массы руды

1) Определить вещественный состав **шихты**, считая, что руда с массовой долей влаги 1,8 % содержит (массовые доли) никель – 2,01 % в виде оксида; железо – 23,97 % в виде бурого железняка (моногидрат оксида железа, в котором массовая доля железа 70 %); магний – 6,84 % в виде талька (моногидрат силиката магния с массовой долей оксида магния 31,7 %, оксида кремния 63,5 %); алюминий – 2,86 % в виде каолинита (двухводный силикат алюминия с массовой долей оксида алюминия 40 %, оксида кремния 46 %); кремний – 17,25 % в составе силикатов магния, алюминия и как кварц. Считать, что кокс состоит только из углерода.

2) Составить уравнения реакций, протекающих при плавке на штейн в восстановительных условиях;



3) Рассчитать состав отходящих газов (мольные доли), принимая, что воздух состоит из азота и кислорода; объёмная (мольная) доля кислорода 21 %.

Решение

1. Вывод формул компонентов руды

1.1. Бурый железняк – моногидрат оксида железа, в котором массовая доля железа 70 %

1.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_{\text{Fe}} = 70,0 \text{ г,}$$

$$m_{\text{O}} = 100 - m_{\text{Fe}} = 100 - 70,0 = 30,0 \text{ г.}$$

1.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{M_{\text{Cu}}} = \frac{70,0}{56} = 1,25 \text{ моль;}$$

$$n_{\text{O}} = \frac{m_{\text{O}}}{M_{\text{S}}} = \frac{30,0}{16} = 1,875 \text{ моль.}$$

1.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Fe}} : n_{\text{O}} = 1,25 : 1,875 = 1 : 1,5 = 2 : 3$$

1.1.4. Формула бурого железняка: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

1 балл

1.2. Тальк – моногидрат силиката магния с массовой долей оксида магния 31,7 %, оксида кремния 63,5 %

1.2.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_{\text{MgO}} = 31,7 \text{ г;}$$

$$m_{\text{SiO}_2} = 63,5 \text{ г;}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 100 - m_{\text{MgO}} - m_{\text{SiO}_2} = 100 - 31,7 - 63,5 = 4,8 \text{ г.}$$

1.2.2. Количество вещества

$$n_{\text{MgO}} = \frac{m_{\text{MgO}}}{M_{\text{MgO}}} = \frac{31,7}{40} = 0,8 \text{ моль,}$$

$$M_{\text{MgO}} = M_{\text{Mg}} + M_{\text{O}} = 24 + 16 = 40 \text{ г/моль;}$$

$$n_{\text{SiO}_2} = \frac{m_{\text{SiO}_2}}{M_{\text{SiO}_2}} = \frac{63,5}{60} = 1,06 \text{ моль,}$$

$$M_{\text{SiO}_2} = M_{\text{Si}} + 2 \cdot M_{\text{O}} = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль;}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{4,8}{18} = 0,27 \text{ моль,}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot M_{\text{H}} + M_{\text{O}} = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ г/моль.}$$

1.2.3. Соотношение количества вещества

$$n_{\text{MgO}} : n_{\text{SiO}_2} : n_{\text{H}_2\text{O}} = 0,8 : 1,06 : 0,27 = 3 : 4 : 1$$

1.2.4. Формула талька: $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

1 балл

1.3. Каолинит – двухводный силикат алюминия с массовой долей оксида алюминия 40 %, оксида кремния 46 %

1.3.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 40 \text{ г;}$$



$$m_{\text{SiO}_2} = 46 \text{ г};$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 100 - m_{\text{Al}_2\text{O}_3} - m_{\text{SiO}_2} = 100 - 40 - 46 = 14 \text{ г}.$$

1.3.2. Количество вещества

$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{M_{\text{Al}_2\text{O}_3}} = \frac{40}{102} = 0,39 \text{ моль},$$

$$M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 2 \cdot M_{\text{Al}} + 3 \cdot M_{\text{O}} = 2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 = 102 \text{ г/моль};$$

$$n_{\text{SiO}_2} = \frac{m_{\text{SiO}_2}}{M_{\text{SiO}_2}} = \frac{46}{60} = 0,77 \text{ моль},$$

$$M_{\text{SiO}_2} = M_{\text{Si}} + 2 \cdot M_{\text{O}} = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль};$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{14}{18} = 0,78 \text{ моль},$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot M_{\text{H}} + M_{\text{O}} = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ г/моль}.$$

1.3.3. Соотношение количества вещества

$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3} : n_{\text{SiO}_2} : n_{\text{H}_2\text{O}} = 0,39 : 0,77 : 0,78 = 1 : 2 : 2$$

1.3.4. Формула каолинита: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

1 балл

2. Расчёт массы шихты

2.1. Масса гипса с учетом его массовой доли 30 % от массы руды, равной 100 т.

$$m_{\text{гипс}} = \frac{\omega_{\text{гипс}}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{30}{100} \cdot 100 = 30 \text{ т}.$$

2.2. Масса кокса с учетом его массовой доли 13 % от массы руды, равной 100 т.

$$m_{\text{кокс}} = \frac{\omega_{\text{кокс}}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{13}{100} \cdot 100 = 13 \text{ т}.$$

2.3. Масса кварца с учетом его массовой доли 17 % от массы руды, равной 100 т.

$$m_{\text{SiO}_2}^{\text{флюс}} = \frac{\omega_{\text{кварц}}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{17}{100} \cdot 100 = 17 \text{ т}.$$

2.4. Масса известняка с учетом его массовой доли 21 % от массы руды, равной 100 т.

$$m_{\text{CaCO}_3}^{\text{флюс}} = \frac{\omega_{\text{изв.}}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{21}{100} \cdot 100 = 21 \text{ т}.$$

1 балл

2.5. Масса шихты

Рассчитывается как сумма масс руды (100 т), гипса (п. 2.1.), кокса (п.2.2.), кварца (п.2.3.) и известняка (п.2.4.)

$$m_{\text{ших.}} = m_{\text{руд.}} + m_{\text{гипс}} + m_{\text{кокс}} + m_{\text{SiO}_2}^{\text{флюс}} + m_{\text{CaCO}_3}^{\text{флюс}} = 100 + 30 + 13 + 17 + 21 = 181 \text{ т}.$$

1 балл

3. Расчёт состава шихты

3.1. Расчёт никеля

3.1.1. Масса никеля с учетом его массовой доли в руде 2,01 % и массы руды 100 т.

$$m_{\text{Ni}} = \frac{\omega_{\text{Ni}}^{\text{руд.}}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{2,01}{100} \cdot 100 = 2,01 \text{ т}.$$

3.1.2. Количество вещества оксида никеля



$$n_{NiO} = n_{Ni} = \frac{m_{Ni}}{M_{Ni}} = \frac{2,01 \cdot 10^6}{59} = 0,034 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,034 \text{ Ммоль.}$$

3.1.3. Масса оксида никеля

$$m_{NiO} = n_{NiO} \cdot M_{NiO} = 0,034 \cdot 10^6 \cdot 75 = 2,55 \cdot 10^6 \text{ г} = 2,55 \text{ т};$$
$$M_{NiO} = M_{Ni} + M_{O} = 59 + 16 = 75 \text{ г/моль.}$$

3.1.4. Массовая доля оксида никеля в шихте с учетом п. 2.5.

$$\omega_{NiO} = \frac{m_{NiO}}{m_{ших.}} \cdot 100 \% = \frac{2,55}{181} \cdot 100 = 1,41 \%$$

1 балл

3.2. Расчёт железа

3.2.1. Масса железа с учетом его массовой доли в руде 23,97 и массы руды 100 т.

$$m_{Fe} = \frac{\omega_{Fe}^{руд.}}{100} \cdot m_{руд.} = \frac{23,97}{100} \cdot 100 = 23,97 \text{ т.}$$

3.2.2. Количество вещества железа

$$n_{Fe} = \frac{m_{Fe}}{M_{Fe}} = \frac{23,97 \cdot 10^6}{56} = 0,428 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,428 \text{ Ммоль.}$$

3.2.3. Количество вещества бурого железняка

$$n_{Fe_2O_3 \cdot H_2O} = n_{Fe} / 2 = 0,428 / 2 = 0,214 \text{ Ммоль.}$$

3.2.4. Масса бурого железняка

$$m_{Fe_2O_3 \cdot H_2O} = n_{Fe_2O_3 \cdot H_2O} \cdot M_{Fe_2O_3 \cdot H_2O} = 0,214 \cdot 10^6 \cdot 178 = 38,09 \cdot 10^6 \text{ г} = 38,09 \text{ т};$$
$$M_{Fe_2O_3 \cdot H_2O} = M_{Fe_2O_3} + M_{H_2O} = 160 + 18 = 178 \text{ г/моль.}$$

3.2.5. Массовая доля бурого железняка с учетом п. 2.5.

$$\omega_{Fe_2O_3 \cdot H_2O} = \frac{m_{Fe_2O_3 \cdot H_2O}}{m_{ших.}} \cdot 100 \% = \frac{38,09}{181} \cdot 100 = 21,04 \%$$

1 балл

3.3. Расчёт магния

3.3.1. Масса магния с учетом его массовой доли в руде 6,84 % и массы руды 100 т.

$$m_{Mg} = \frac{\omega_{Mg}^{руд.}}{100} \cdot m_{руд.} = \frac{6,84}{100} \cdot 100 = 6,84 \text{ т.}$$

3.3.2. Количество вещества магния

$$n_{Mg} = \frac{m_{Mg}}{M_{Mg}} = \frac{6,84 \cdot 10^6}{24} = 0,285 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,285 \text{ Ммоль.}$$

3.3.3. Количество вещества талька $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$

$$n_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O} = n_{Mg} / 3 = 0,285 / 3 = 0,095 \text{ Ммоль.}$$

3.3.4. Масса талька

$$m_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O} = n_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O} \cdot M_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O} = 0,095 \cdot 10^6 \cdot 378 = 35,91 \text{ т};$$
$$M_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O} = 3 \cdot M_{MgO} + 4 \cdot M_{SiO_2} + M_{H_2O} = 3 \cdot 40 + 4 \cdot 60 + 18 = 378 \text{ г/моль.}$$

3.3.5. Массовая доля талька с учетом п. 2.5.

$$\omega_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O} = \frac{m_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O}}{m_{ших.}} \cdot 100 \% = \frac{35,91}{181} \cdot 100 = 19,84 \%$$

1 балл



3.4. Расчёт алюминия

3.4.1. Масса алюминия с учетом его массовой доли в руде 2,86 % и массы руды 100 т.

$$m_{Al} = \frac{\omega_{Al}^{руд.}}{100} \cdot m_{руд.} = \frac{2,86}{100} \cdot 100 = 2,86 \text{ т.}$$

3.4.2. Количество вещества алюминия

$$n_{Al} = \frac{m_{Al}}{M_{Al}} = \frac{2,86 \cdot 10^6}{27} = 0,106 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,106 \text{ Ммоль.}$$

3.4.3. Количество вещества каолинита $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$

$$n_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} = n_{Al}/2 = 0,106/2 = 0,053 \text{ Ммоль.}$$

3.4.4. Масса каолинита

$$m_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} = n_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} \cdot M_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} = 0,053 \cdot 10^6 \cdot 258 = 13,67 \text{ т;} \\ M_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} = M_{Al_2O_3} + 2 \cdot M_{SiO_2} + 2 \cdot M_{H_2O} = 102 + 2 \cdot 60 + 2 \cdot 18 = 258 \text{ г/моль.}$$

3.4.5. Массовая доля каолинита с учетом п. 2.5.

$$\omega_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} = \frac{m_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}}{m_{ших.}} \cdot 100 \% = \frac{13,67}{181} \cdot 100 = 7,55 \%.$$

1 балл

3.5. Расчёт кварца с флюсовой добавкой

3.5.1. Масса кремния в руде с учетом его массовой доли 17,25 % и массы руды 100 т.

$$m_{Si}^{руд.} = \frac{\omega_{Si}^{руд.}}{100} \cdot m_{руд.} = \frac{17,25}{100} \cdot 100 = 17,25 \text{ т.}$$

3.5.2. Количество вещества кремния

$$n_{Si}^{руд.} = \frac{m_{Si}^{руд.}}{M_{Si}} = \frac{17,25 \cdot 10^6}{28} = 0,616 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,616 \text{ Ммоль.}$$

3.5.3. Количество вещества оксида кремния с учетом п. 3.3.3. и 3.4.3.

$$n_{SiO_2}^{руд.} = n_{Si}^{руд.} - 4 \cdot n_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O} - 2 \cdot n_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} = 0,616 - 4 \cdot 0,095 - 2 \cdot 0,053 = \\ = 0,13 \text{ Ммоль}$$

3.5.4. Масса оксида кремния в руде

$$m_{SiO_2}^{руд.} = n_{SiO_2}^{руд.} \cdot M_{SiO_2} = 0,13 \cdot 10^6 \cdot 60 = 36,96 \cdot 10^6 \text{ г} = 7,8 \text{ т.} \\ M_{SiO_2} = M_{Si} + 2 \cdot M_O = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль.}$$

3.5.5. Общая масса оксида кремния с учетом п. 2.3.

$$m_{SiO_2} = m_{SiO_2}^{руд.} + m_{SiO_2}^{флюс.} = 7,8 + 17,0 = 24,8 \text{ т.}$$

3.5.6. Массовая доля оксида кремния с учетом п. 2.5.

$$\omega_{SiO_2} = \frac{m_{SiO_2}}{m_{ших.}} \cdot 100 \% = \frac{24,8}{181} \cdot 100 = 13,70 \%.$$

1 балл

3.6. Расчёт известняка с учетом п. 2.4. и 2.5.

$$\omega_{CaCO_3} = \frac{m_{CaCO_3}^{флюс.}}{m_{ших.}} \cdot 100 \% = \frac{21,0}{181} \cdot 100 = 11,60 \%.$$

1 балл

3.7. Расчёт влаги

3.7.1. Масса влаги с учетом влажности руды 1,8 % и массы руды 100 т.



$$m_{H_2O} = \frac{\omega_{H_2O}^{руд.}}{100} \cdot m_{руд.} = \frac{1,8}{100} \cdot 100 = 1,8 \text{ т.}$$

3.7.2. Массовая доля влаги с учетом п. 2.5.

$$\omega_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}^{руд.}}{m_{ших.}} \cdot 100 \% = \frac{1,8}{181} \cdot 100 = 0,99 \%$$

1 балл

3.8. Расчёт углерода (кокс) с учетом п. 2.2. и 2.5.

$$\omega_C = \frac{m_{кокс.}}{m_{ших.}} \cdot 100 \% = \frac{13}{181} \cdot 100 = 7,18 \%$$

3.9. Расчёт гипса с учетом п. 2.4. и 2.5.

$$\omega_{CaSO_4 \cdot 2H_2O} = \frac{m_{гипс.}}{m_{ших.}} \cdot 100 \% = \frac{30}{181} \cdot 100 = 16,57 \%$$

1 балл

3.10. Проверка справедливости расчётов п. 2 – 3.9 (не является обязательным и носит рекомендательный характер)

3.10.1. Вещественный состав шихты

А) по массам веществ

$$\begin{aligned} m_{шт.} &= m_{NiO} + m_{Fe_2O_3 \cdot H_2O} + m_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O} + m_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} + m_{SiO_2} + m_{CaCO_3}^{флюс.} + m_{H_2O}^{руд.} \\ &+ m_{кокс.} + m_{гипс.} = 2,55 + 38,09 + 35,91 + 13,67 + 24,8 + 21,0 + 1,8 + 13 + 30 = \\ &= 180,82 \text{ т.} \end{aligned}$$

Б) по массовым долям веществ

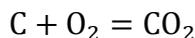
$$\begin{aligned} \omega_{конц.} &= \omega_{NiO} + \omega_{Fe_2O_3 \cdot H_2O} + \omega_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O} + \omega_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} + \omega_{SiO_2} + \omega_{CaCO_3} + \omega_{H_2O} \\ &+ \omega_C + \omega_{CaSO_4 \cdot 2H_2O} = 1,41 + 21,04 + 19,84 + 7,55 + 13,70 + 11,60 + 0,99 + 7,18 + 16,57 \\ &= 99,88 \% \end{aligned}$$

Небольшое расхождение допустимо и связано с точностью вычислений.

4. Уравнения реакций

4.1. Реакции создания восстановительной атмосферы – образование CO

4.1.1. Сгорание углерода до углекислого газа

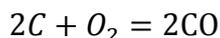


баланс электронов

$$\begin{array}{l} 1 \times | O_2^0 + 4\bar{e} = 2O^{-2} \\ 1 \times | C^0 - 4\bar{e} = C^{+4} \\ \hline O_2^0 + C^0 = 2O^{-2} + C^{+4} \end{array}$$

1 балл

4.1.2. Сгорание углерода до угарного газа



баланс электронов

$$\begin{array}{l} 1 \times | O_2^0 + 4\bar{e} = 2O^{-2} \\ 2 \times | C^0 - 2\bar{e} = 2C^{+2} \\ \hline O_2^0 + 2C^0 = 2O^{-2} + 2C^{+2} \end{array}$$

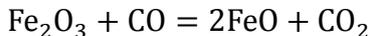
1 балл



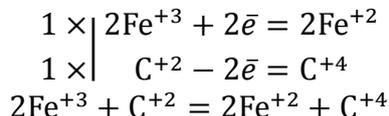
4.2. Реакции с угарным газом

4.2.1. Восстановление бурого железняка

Угарным газом восстанавливают бурый железняк до двухвалентного железа; восстановления никеля и железа до металла на этом этапе не допускают.



баланс электронов

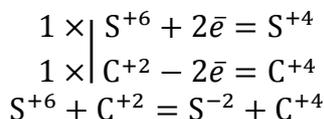


1 балл

4.2.2. Восстановление сульфата кальция



баланс электронов

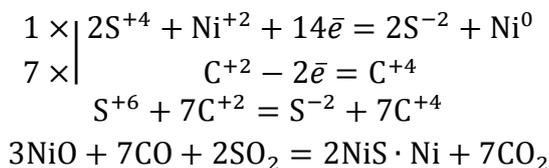


1 балл

4.2.3. Сульфидизация оксида никеля



баланс электронов

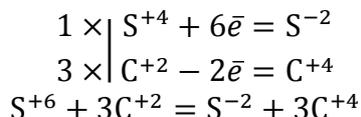


1 балл

4.2.4. Сульфидизация оксида железа



баланс электронов



1 балл

4.3. Разложение известняка



1 балл

5. Расчёт отходящих газов

5.1. Расчёт паров воды

Вода образуется при испарении влаги и удалении гидратной воды из состава бурого железняка $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, талька $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, каолинита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

5.1.1. Согласно п. 3.7.1.



$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{1,8 \cdot 10^6}{18} = 0,1 \cdot 10^6 \text{ г} = 0,1 \text{ Ммоль.}$$

5.1.2. Согласно п. 3.2.3

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} = n_{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 0,214 \text{ Ммоль.}$$

5.1.3. Согласно п. 3.3.3

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}} = n_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 0,095 \text{ Ммоль.}$$

5.1.4. Согласно п. 3.4.3.

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot n_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot 0,053 = 0,106 \text{ Ммоль.}$$

5.1.5. Согласно п. 2.4.

$$n_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{гипс}}}{M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}} = \frac{30 \cdot 10^6}{172} = 0,17 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,17 \text{ Ммоль};$$

$$M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = M_{\text{Ca}} + M_{\text{S}} + 4 \cdot M_{\text{O}} + 2 \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} = 40 + 32 + 4 \cdot 16 + 2 \cdot 18 = 172 \text{ г/моль.}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot n_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot 0,17 = 0,34 \text{ Ммоль};$$

5.1.6. Общее количество воды

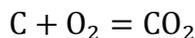
Рассчитывается как сумма количеств воды, рассчитанных в п. 5.1.1.-5.1.5.

$$\begin{aligned} n_{\text{H}_2\text{O}} &= n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}} + n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} + n_{\text{H}_2\text{O}}^{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}} + n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = \\ &= 0,1 + 0,214 + 0,095 + 0,106 + 0,34 = 0,855 \text{ Ммоль.} \end{aligned}$$

1 балл

5.2. Расчёт углекислого газа

5.2.1. По реакции 4.1.1.



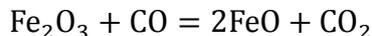
$$n_{\text{CO}_2} = n_{\text{C}}$$

с учётом степени превращения углерода до углекислого газа 20 % и п. 2.2.

$$n_{\text{C}} = \frac{m_{\text{кокс}}}{M_{\text{C}}} = \frac{13 \cdot 10^6}{12} = 1,08 \cdot 10^6 \text{ моль} = 1,08 \text{ Ммоль.}$$

$$n_{\text{CO}_2}^{\text{C}} = \frac{\alpha_{\text{C}}}{100} \cdot n_{\text{C}} = \frac{20}{100} \cdot 1,08 = 0,216 \text{ Ммоль};$$

5.2.2. По реакции 4.2.1 с учётом п. 3.2.3.



$$n_{\text{CO}_2}^{\text{Fe}_2\text{O}_3} = n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = n_{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 0,214 \text{ Ммоль.}$$

1 балл

5.2.3. По реакции 4.2.2 с учётом п. 5.1.5



$$n_{\text{CO}_2}^{\text{CaSO}_4} = n_{\text{CaSO}_4} = n_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 0,17 \text{ Ммоль.}$$

5.2.4. По реакции 4.2.3



$$n_{\text{CO}_2}^{\text{NiO}} = \frac{7}{3} n_{\text{NiO}}$$

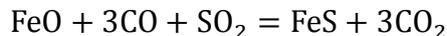
с учётом степени превращения $\alpha_{\text{Ni}} = 88 \%$ и п. 3.1.2



$$n_{\text{CO}_2}^{\text{NiO}} = \frac{\alpha_{\text{Ni}}}{100} \cdot \frac{7}{3} n_{\text{NiO}} = \frac{0,88 \cdot 7 \cdot 0,034}{3} = 0,07 \text{ Ммоль.}$$

1 балл

5.2.5. По реакции 4.2.4



$$n_{\text{CO}_2}^{\text{FeO}} = 3n_{\text{FeO}}$$

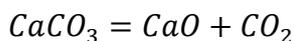
с учётом п. 3.2.2

$$n_{\text{FeO}} = n_{\text{Fe}} = 0,428 \text{ Ммоль;}$$

с учётом степени превращения $\alpha_{\text{Fe}} = 20 \%$

$$n_{\text{CO}_2}^{\text{FeO}} = \frac{\alpha_{\text{Fe}}}{100} \cdot 3 \cdot n_{\text{FeO}} = 0,20 \cdot 3 \cdot 0,428 = 0,257 \text{ Ммоль.}$$

5.2.6. По реакции 4.4 с учётом п. 2.4.



$$n_{\text{CO}_2}^{\text{CaCO}_3} = n_{\text{CaCO}_3} = \frac{m_{\text{CaCO}_3}^{\text{флюс.}}}{M_{\text{CaCO}_3}} = \frac{21 \cdot 10^6}{100} = 0,21 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,21 \text{ Ммоль;}$$

$$M_{\text{CaCO}_3} = M_{\text{Ca}} + M_{\text{C}} + 3 \cdot M_{\text{O}} = 40 + 12 + 3 \cdot 16 = 100 \text{ г/моль.}$$

1 балл

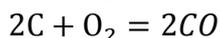
5.2.7. Общее количество углекислого газа рассчитывается как сумма количеств углекислого газа, рассчитанных в п. 5.2.1.-5.2.6.

$$\begin{aligned} n_{\text{CO}_2} &= n_{\text{CO}_2}^{\text{C}} + n_{\text{CO}_2}^{\text{Fe}_2\text{O}_3} + n_{\text{CO}_2}^{\text{CaSO}_4} + n_{\text{CO}_2}^{\text{NiO}} + n_{\text{CO}_2}^{\text{FeO}} + n_{\text{CO}_2}^{\text{CaCO}_3} = \\ &= 0,216 + 0,214 + 0,17 + 0,07 + 0,257 + 0,21 = 1,137 \text{ Ммоль.} \end{aligned}$$

1 балл

5.3. Расчёт угарного газа

5.3.1. Образование угарного газа из углерода по реакции 4.1.2



$$n_{\text{CO}} = n_{\text{C}}$$

с учётом степени превращения углерода до углекислого газа 20 % и п. 5.2.1

$$n_{\text{CO}}^{\text{C}} = \frac{100 - \alpha_{\text{C}}}{100} \cdot n_{\text{C}} = \frac{100 - 20}{100} \cdot 1,08 = 0,864 \text{ Ммоль;}$$

5.3.2. Расход угарного газа на реакции восстановления

5.3.2.1. По реакции 4.2.1 с учётом п. 3.2.3

$$n_{\text{CO}}^{\text{Fe}_2\text{O}_3} = n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = n_{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 0,214 \text{ Ммоль.}$$

5.3.2.2. По реакции 4.2.2 с учётом п. 5.1.5

$$n_{\text{CO}}^{\text{CaSO}_4} = n_{\text{CaSO}_4} = n_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 0,17 \text{ Ммоль.}$$

5.3.2.3. По реакции 4.2.3

$$n_{\text{CO}}^{\text{NiO}} = \frac{7}{3} n_{\text{NiO}}$$

с учётом степени превращения $\alpha_{\text{Ni}} = 88 \%$ и п. 3.1.2

$$n_{\text{CO}}^{\text{NiO}} = \frac{\alpha_{\text{Ni}}}{100} \cdot \frac{7}{3} n_{\text{NiO}} = \frac{0,88 \cdot 7 \cdot 0,034}{3} = 0,07 \text{ Ммоль.}$$



5.3.2.4. По реакции 4.2.4

$$n_{CO}^{FeO} = 3n_{FeO}$$

с учётом п. 5.2.5 и с учётом степени превращения $\alpha_{Fe} = 20\%$

$$n_{CO}^{FeO} = \frac{\alpha_{Fe}}{100} \cdot 3n_{FeO} = 0,20 \cdot 3 \cdot 0,428 = 0,257 \text{ Ммоль.}$$

5.3.3. Количество расходуемого угарного газа рассчитывается по количествам угарного газа, полученным в п.5.3.2.1. – 5.3.2.4.

$$n_{CO}^{\Sigma} = n_{CO}^{Fe_2O_3} + n_{CO}^{CaSO_4} + n_{CO}^{NiO} + n_{CO}^{FeO} = 0,214 + 0,17 + 0,07 + 0,257 = 0,711 \text{ Ммоль.}$$

5.3.4. Количество угарного газа в отходящих газах с учетом п. 5.3.1. и 5.3.3.

$$n_{CO} = n_{CO}^C - n_{CO}^{\Sigma} = 0,864 - 0,711 = 0,153 \text{ Ммоль.}$$

1 балл

5.4. Расчёт сернистого ангидрида

5.4.1. Образование сернистого ангидрида по реакции 4.2.2 с учётом п. 5.1.5



$$n_{SO_2}^{CaSO_4} = n_{CaSO_4} = n_{CaSO_4 \cdot 2H_2O} = 0,17 \text{ Ммоль.}$$

5.4.2. Расход сернистого ангидрида

5.4.2.1. По реакции 4.2.3



$$n_{SO_2}^{NiO} = \frac{2}{3} n_{NiO}$$

с учётом степени превращения $\alpha_{Ni} = 88\%$ и п. 3.1.2

$$n_{SO_2}^{NiO} = \frac{\alpha_{Ni}}{100} \cdot \frac{2}{3} n_{NiO} = \frac{0,88 \cdot 2 \cdot 0,034}{3} = 0,02 \text{ Ммоль.}$$

5.4.2.2. По реакции 4.2.4



$$n_{SO_2}^{FeO} = n_{FeO}$$

с учётом п. 3.2.2

$$n_{FeO} = n_{Fe} = 0,428 \text{ Ммоль;}$$

с учётом степени превращения $\alpha_{Fe} = 20\%$

$$n_{SO_2}^{FeO} = \frac{\alpha_{Fe}}{100} \cdot n_{FeO} = 0,20 \cdot 0,428 = 0,086 \text{ Ммоль.}$$

5.4.3. Количество расходуемого сернистого ангидрида с учетом п. 5.4.2.1. и 5.4.2.2.

$$n_{SO_2}^{\Sigma} = n_{SO_2}^{NiO} + n_{SO_2}^{FeO} = 0,02 + 0,086 = 0,106 \text{ Ммоль.}$$

5.4.4. Количество сернистого ангидрида в отходящих газах с учетом п. 5.4.1. и 5.4.3.

$$n_{SO_2} = n_{SO_2}^{CaSO_4} - n_{SO_2}^{\Sigma} = 0,17 - 0,106 = 0,064 \text{ Ммоль.}$$

1 балл

5.5. Расчёт воздуха

5.5.1 Расход кислорода по реакции 4.1.1

$$n_{O_2} = n_C.$$

с учётом степени превращения углерода до углекислого газа 20 % и п. 5.2.1



$$n_{O_2}^{CO_2} = \frac{\alpha_C}{100} \cdot n_C = 0,2 \cdot 1,08 = 0,216 \text{ Ммоль.}$$

5.5.2. Расход кислорода по реакции 4.1.2

$$n_{O_2} = n_C / 2.$$

с учётом степени превращения углерода до углекислого газа 20 % и п. 5.2.1

$$n_{O_2}^{CO} = \frac{100 - \alpha_C}{100} \cdot \frac{n_C}{2} = \frac{0,8 \cdot 1,08}{2} = 0,432 \text{ Ммоль.}$$

5.5.3. Общий стехиометрический расход кислорода с учетом п. 5.5.1. и 5.5.2.

$$n_{O_2} = n_{O_2}^{CO_2} + n_{O_2}^{CO} = 0,216 + 0,432 = 0,648 \text{ Ммоль.}$$

5.5.4. Расход воздуха с учетом мольной доли кислорода 21 %

$$n_{\text{возд.}} = \frac{n_{O_2}}{\varphi_{O_2}} \cdot 100 = \frac{0,648}{21} \cdot 100 = 3,086 \text{ Ммоль.}$$

5.5.5. Количество азота в отходящих газах

$$n_{N_2} = n_{\text{возд.}} - n_{O_2} = 3,086 - 0,648 = 2,438 \text{ Ммоль.}$$

1 балл

5.6. Общее количество отходящих газов

Рассчитывается как сумма количеств отходящих газов, рассчитанных в п. 5.1.6., 5.2.7., 5.3.4., 5.4.4. и 5.5.5.

$$\begin{aligned} n_{\text{ОГ}} &= n_{H_2O} + n_{CO_2} + n_{CO} + n_{SO_2} + n_{N_2} = \\ &= 0,855 + 1,137 + 0,153 + 0,064 + 2,438 = 4,647 \text{ Ммоль.} \end{aligned}$$

1 балл

5.7. Состав отходящих газов (мольные доли)

$$\begin{aligned} \varphi_{H_2O} &= \frac{n_{H_2O}}{n_{\text{ОГ}}} \cdot 100 \% = \frac{0,855}{4,647} \cdot 100 = 18,40 \% ; \\ \varphi_{CO_2} &= \frac{n_{CO_2}}{n_{\text{ОГ}}} \cdot 100 \% = \frac{1,137}{4,647} \cdot 100 = 24,47 \% ; \\ \varphi_{CO} &= \frac{n_{CO}}{n_{\text{ОГ}}} \cdot 100 \% = \frac{0,153}{4,647} \cdot 100 = 3,29 \% ; \\ \varphi_{SO_2} &= \frac{n_{SO_2}}{n_{\text{ОГ}}} \cdot 100 \% = \frac{0,064}{4,647} \cdot 100 = 1,38 \% ; \\ \varphi_{N_2} &= \frac{n_{N_2}}{n_{\text{ОГ}}} \cdot 100 \% = \frac{2,438}{4,647} \cdot 100 = 52,46 \% . \end{aligned}$$

1 балл

Всего: 30 баллов



Ответ

1) Вещественный состав шихты

вещество	$m, \text{г}$	$\omega, \%$
NiO	2,55	1,41
$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	38,09	21,04
$3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	35,91	19,84
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	13,67	7,55
SiO_2	24,80	13,70
CaCO_3	21,00	11,60
H_2O	1,80	0,99
C	13,00	7,18
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	30,00	16,57
Итого:	180,82	99,88

2) Состав отходящих газов

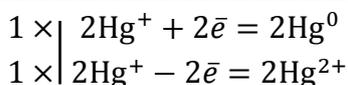
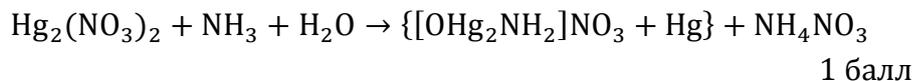
вещество	$n, \text{моль}$	$\omega, \%$
H_2O	0,86	18,40
CO_2	1,14	24,47
CO	0,15	3,29
SO_2	0,06	1,38
N_2	2,44	52,46
Итого:	4,65	100

**ХИМИЯ****ВАРИАНТ 2****Задание 1 (5 баллов)**

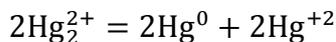
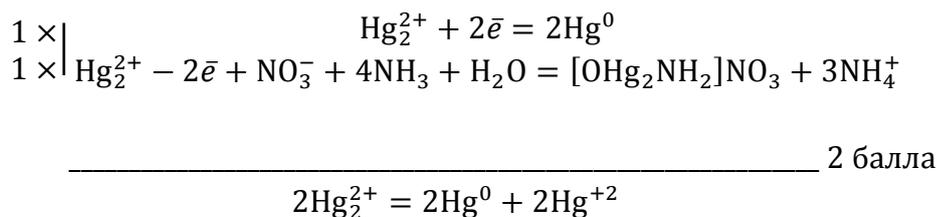
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнять, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, в сокращенной ионно-молекулярной форме:



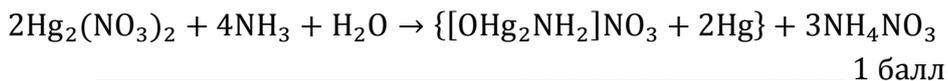
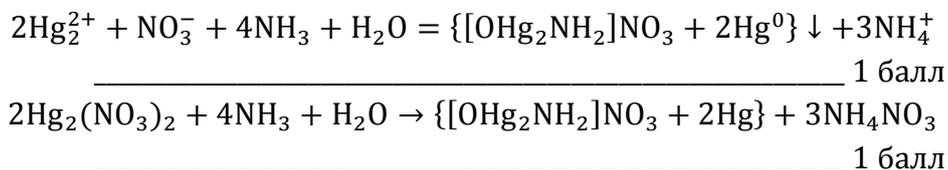
Решение



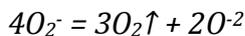
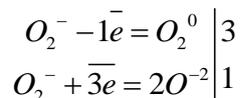
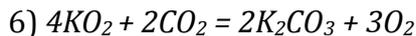
или



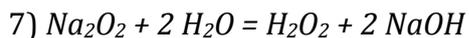
или

**Задание 2 (10 баллов)**

Определите формулы веществ *A*, *B*, *C*, *D*. Напишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакции, с помощью которых можно осуществить следующие химические превращения. Вещества в цепочке могут находиться как в твердом состоянии, так и в растворе. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полуреакций:



1 балл



1 балл

Ответ: **A** – O₂; **B** – O₃; **C** – PbSO₄; **D** – Na₂O₂.

Задание 3 (15 баллов)

Органическое вещество **A**, имеющее в своем составе 24,24% углерода, 4,04% водорода и хлора, нагрели в воде со слабым основанием. В результате этой реакции получили соединение **B**, которое прореагировало с реактивом Толленса. Определить вещества **A** и **B**. Написать структурные формулы и реакции.

Решение:

1. Процентное содержание хлора в органическом веществе **A**:

$$\omega_{Cl} = 100\% - \omega_C - \omega_H = 100 - 24,24 - 4,04 = 71,72\%$$

Количество каждого элемента в 100 г вещества **A**:

$$m_C = \frac{\omega_C \cdot m_A}{100\%} = \frac{24,24 \cdot 100}{100} = 24,24, \text{ г}$$

$$n_C = \frac{m_C}{M_C} = \frac{24,24}{12} = 2,02, \text{ моль}$$

$$m_H = \frac{\omega_H \cdot m_A}{100\%} = \frac{4,04 \cdot 100}{100} = 4,04, \text{ г}$$

$$n_H = \frac{m_H}{M_H} = \frac{4,04}{1} = 4,04, \text{ моль}$$

$$m_{Cl} = \frac{\omega_{Cl} \cdot m_A}{100\%} = \frac{71,72 \cdot 100}{100} = 71,72, \text{ г}$$

$$n_{Cl} = \frac{m_{Cl}}{M_{Cl}} = \frac{71,72}{35,5} = 2,02, \text{ моль}$$

Сотношение молей элементов в веществе **A**:

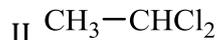
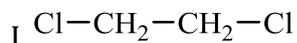
$$n_C : n_H : n_{Cl} = 2,02 : 4,04 : 2,02 = 1 : 2 : 1$$

Простейшая формула вещества **A** – CH₂Cl. Истинная – (CH₂Cl)_n

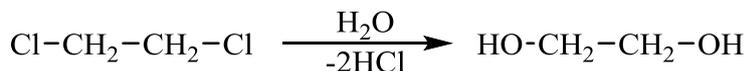


5 баллов

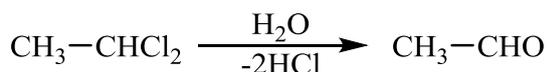
2. Актуальная молекулярная формула для реально существующего органического соединения при $n=2$. Органическое вещество **A** – $C_2H_4Cl_2$ имеет две возможные структурные формы:



Реакция взаимодействия вещества I с водой:



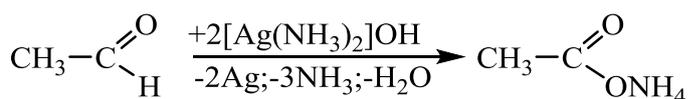
Реакция взаимодействия вещества II с водой:



5 баллов

3. Вещества с двумя группами $-OH$ при одном атоме углерода неустойчивы, теряют воду и превращаются в карбонильные соединения. Положительную реакцию с реактивом Толленса дают альдегиды. Таким образом органическим веществом **A** является 1,1-дихлорэтан.

Реакция



B – ацетальдегид.

5 баллов

Задание 4 (20 баллов)

Лаборант взял две одинаковые навески неизвестного металла. Первую поместил в стакан с 429,82 мл 20 % серной кислоты ($\rho = 1,14$ г/мл), в результате чего металл полностью растворился, образовав 29,165 % раствор своего сульфата. Вторую навеску лаборант полностью растворил в 800 г раствора гидроксида натрия, с образованием соответствующей комплексной соли. Реакции металла с серной кислотой и гидроксидом натрия считать стехиометрическими. Напишите уравнения протекающих реакций. Определите массовую долю образовавшегося в результате реакции со щелочью вещества. Назовите искомый металл и образовавшейся в результате реакции со щелочью продукт.

Решение:

Определим массу исходного раствора серной кислоты:

$$m_{(\text{раствор } H_2SO_4)} = \rho \cdot V = 1,14 \text{ г/мл} \cdot 429,82 \text{ мл} = 490 \text{ г}$$

Определим массу и количество серной кислоты в исходном растворе:

$$m_{(H_2SO_4)} = \frac{m_{(\text{раствор } H_2SO_4)} \cdot \omega}{100 \%} = \frac{490 \text{ г} \cdot 20 \%}{100 \%} = 98 \text{ г}$$

$$n_{(H_2SO_4)} = \frac{m_{(H_2SO_4)}}{M_{(H_2SO_4)}} = \frac{98 \text{ г}}{98 \text{ г/моль}} = 1,0 \text{ моль}$$

При стехиометрической реакции металла с таким количеством серной кислоты из раствора выделится водород массой:



$$m_{(H_2)} = \frac{m_{(H_2SO_4)} \cdot M_{(H_2)}}{M_{(H_2SO_4)}} = \frac{98 \text{ г} \cdot 2 \text{ г/моль}}{98 \text{ г/моль}} = 2,0 \text{ г}$$

5 баллов

Примем массу металла вступившего в реакцию с кислотой за x . Тогда масса раствора после реакции с металлом:

$$m_{(\text{раствор } H_2SO_4 \text{ после реакции с } Me)} = m_{(\text{раствор } H_2SO_4)} + m_{(Me)} - m_{(H_2)} = (490 + x - 2) \text{ г}$$

Тогда масса сульфата в растворе:

$$m_{(\text{сульфат})} = m_{(H_2SO_4)} + m_{(Me)} - m_{(H_2)} = (98 + x - 2) \text{ г}$$

Из известной массовой доли сульфата металла в полученном растворе найдем массу металла:

$$\omega_{(\text{сульфат в растворе})} = \frac{m_{(\text{сульфат})}}{m_{(\text{раствор } H_2SO_4 \text{ после реакции с } Me)}} \cdot 100 \%$$

или

$$29,165 \% = \frac{96 + x}{488 + x} \cdot 100 \%$$

Таким образом, масса металла составит:

$$m_{(Me)} = x = 65,4 \text{ г}$$

5 баллов

Если металл одновалентный, он реагирует с серной кислотой по реакции (1):



Тогда молярная масса металла с учетом стехиометрии реакции составит:

$$\frac{m_{(Me)}}{M_{(Me)}} = 2 \cdot \frac{m_{(H_2)}}{M_{(H_2)}}$$

или

$$M_{(Me)} = \frac{m_{(Me)} \cdot M_{(H_2)}}{2 \cdot m_{(H_2)}} = \frac{65,4 \cdot 2}{2 \cdot 2} = 32,7 \text{ г/моль}$$

Если металл двухвалентный, он реагирует с серной кислотой по реакции (2):



Тогда молярная масса металла с учетом стехиометрии реакции составит:

$$\frac{m_{(Me)}}{M_{(Me)}} = \frac{m_{(H_2)}}{M_{(H_2)}}$$

или

$$M_{(Me)} = \frac{m_{(Me)}}{m_{(H_2)} / M_{(H_2)}} = \frac{65,4}{2 / 2} = 65,4 \text{ г/моль}$$

Если металл трехвалентный, он реагирует с серной кислотой по реакции (3):





Тогда молярная масса металла с учетом стехиометрии реакции составит:

$$3 \cdot \frac{m_{(Me)}}{M_{(Me)}} = 2 \cdot \frac{m_{(H_2)}}{M_{(H_2)}}$$

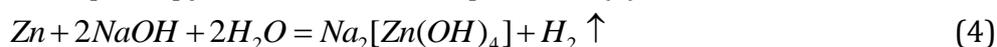
или

$$M_{(Me)} = \frac{3}{2} \cdot \frac{m_{(Me)} \cdot M_{(H_2)}}{m_{(H_2)}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{65,4 \cdot 2}{2} = 98,1 \text{ г / моль}$$

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, о том, что искомый металл – цинк, так как металла с молярной массой 32,7 и 98,1 не существует.

5 баллов

Цинк реагирует со щелочью по реакции (4):



В соответствии со стехиометрией реакции (4) образуется тетрагидроксоцинкат натрия массой:

$$m_{(Na_2[Zn(OH)_4])} = \frac{m_{(Me)} \cdot M_{Na_2[Zn(OH)_4]}}{M_{Me}} = \frac{65,4 \text{ г} \cdot 179,4 \text{ г/моль}}{65,4 \text{ г/моль}} = 179,4 \text{ г}$$

В соответствии со стехиометрией реакции (4) из раствора выделяется водород массой:

$$m_{(H_2)} = \frac{m_{(Me)} \cdot M_{H_2}}{M_{Me}} = \frac{65,4 \text{ г} \cdot 2 \text{ г/моль}}{65,4 \text{ г/моль}} = 2 \text{ г}$$

Тогда масса раствора после реакции цинка со щелочью:

$$m_{(раствор 2)} = m_{(раствор NaOH)} + m_{(Me)} - m_{(H_2)} = (800 + 65,4 - 2) = 863,4 \text{ г}$$

Следовательно, массовая доля тетрагидроксоцинкаата натрия в растворе:

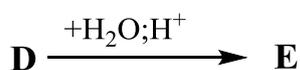
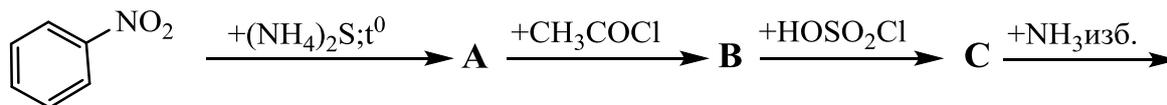
$$\omega_{(Na_2[Zn(OH)_4] \text{ в растворе})} = \frac{m_{(Na_2[Zn(OH)_4])}}{m_{(раствор 2)}} \cdot 100 \% = \frac{179,4}{863,4} \cdot 100 \% = 20,78 \%$$

5 баллов

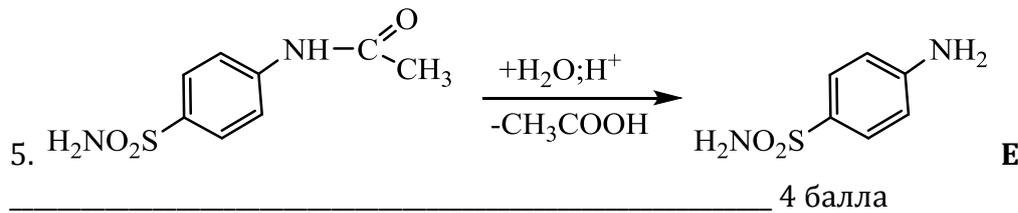
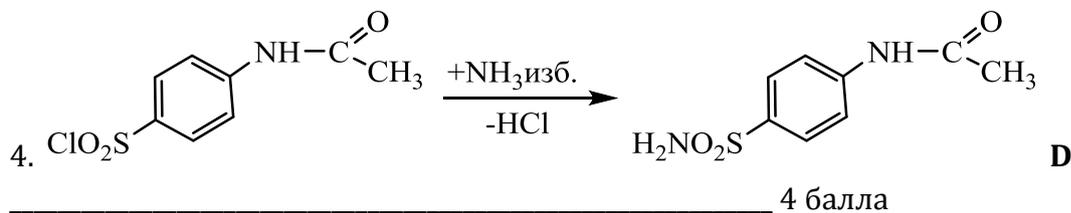
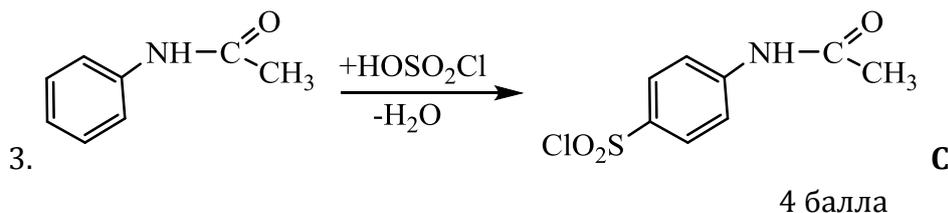
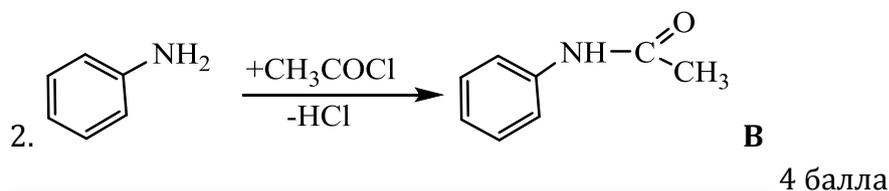
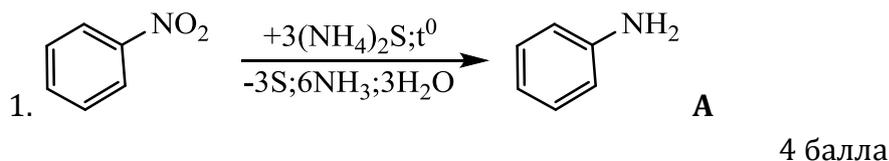
Ответ: искомый металл – цинк (Zn), продукт реакции со щелочью – тетрагидроксоцинкат натрия ($Na_2[Zn(OH)_4]$), процентное содержание тетрагидроксоцинкаата натрия в итоговом растворе – $\omega_{(Na_2[Zn(OH)_4] \text{ в растворе})} = 20,78 \%$

Задание 5 (20 баллов)

Предложите формулы органических веществ и уравнения химических реакций в соответствии со схемой превращений.



Решение:



Задание 6 (30 баллов)

Одной из основных операций переработки медных концентратов является плавка на штейн. Медные рудные концентраты представляют собой смесь сульфидов железа и цветных металлов, и пустой породы, представленной обычно оксидами алюминия, кремния и кальция. При этом ставят задачу как можно полнее перевести в штейн медь и другие ценные рудные компоненты в виде сульфидов (цинк, никель и т.п.), а пустую породу и железо в оксидной форме перевести в шлак. Шлаки являются вторым обязательным продуктом большинства металлургических плавок. Они образуются за счёт ошлакования пустой породы и флюсов и состоят в основном из оксидов. Основными компонентами шлаков цветной металлургии являются оксиды кремния, двухвалентного железа и кальция. Для получения шлаков оптимального состава в качестве флюсов в цветной металлургии чаще всего используют кварциты и известняки. Расчёт флюса и его добавку проводят, если состав самоплавкого шлака, получаемого непосредственно при плавке сульфидного медного сырья, не соответствует заводским нормам.

Для 500 т медного концентрата, содержащего массовые доли меди – 14,20 %; цинка – 1,51 %; железа – 35,49 %, серы – 41,30 %; кремния – 2,33 %; кальция – 0,72 %; алюминия



0,79 %; кислорода – 3,66 %. Согласно техническим условиям, отвальный шлак должен содержать 36 % оксида кремния и 5 % оксида кальция.

1) Рассчитать вещественный состав концентрата, учитывая, что медь содержащее соединение (халькопирит) содержит массовую долю серы 34,88 % и 30,52 % железа, цинк находится в составе сфалерита с массовой долей цинка 67,0 %, остаточное железо – в составе пирита.

2) Составить уравнения реакций окислительной плавки, отметив процессы, приводящие к образованию шлака.

3) Вычислить вещественный состав (массовые доли оксидов) самоплавкого шлака, получаемого без флюсовой добавки, учитывая механические потери меди в составе шлака 4 %, что составит 1,30 % от его массы, цинк распределяется между шлаком и штейном в соотношении 40:60 %, механические потери кремния в составе штейна составляют 18,45 %. Медь в составе шлака представлена низшим сульфидом (халькозин) с массовой долей серы в составе вещества 20 %, массовая доля кислорода в шлаке 26,37 %; кальций и алюминий в форме оксидов полностью переходят в состав шлака.

4) Установить соответствие состава шлака техническим условиям, при необходимости рассчитать флюсовые добавки известняка (массовая доля окиси кальция 56 %) и кварца (100 % окись кремния) для получения шлака требуемого состава. Уточнить вещественный состав (массовые доли оксидов) шлака с учётом флюсовых добавок.

Решение

1. Расчёт вещественного состава рудного концентрата

1.1. Расчёт масс элементов

$m_i^{\text{конц.}}$, составляющих рудный концентрат выполняют по формуле

$$m_i^{\text{конц.}} = \frac{\omega_i}{100} \times m_{\Sigma},$$

где ω_i – массовая доля элемента, %; m_{Σ} – масса рудного концентрата, т

$$1.1.1. m_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Cu}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{14,20}{100} \times 500 = 71,00 \text{ т};$$

$$1.1.2. m_{\text{Zn}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Zn}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{1,51}{100} \times 500 = 7,55 \text{ т};$$

$$1.1.3. m_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Fe}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{35,49}{100} \times 500 = 177,45 \text{ т};$$

$$1.1.4. m_{\text{S}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{S}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{41,30}{100} \times 500 = 206,50 \text{ т};$$

$$1.1.5. m_{\text{Si}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Si}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{2,33}{100} \times 500 = 11,65 \text{ т};$$

$$1.1.6. m_{\text{Ca}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Ca}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{0,72}{100} \times 500 = 3,60 \text{ т};$$

$$1.1.7. m_{\text{Al}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Al}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{0,79}{100} \times 500 = 3,95 \text{ т};$$

$$1.1.8. m_{\text{O}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{O}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{3,66}{100} \times 500 = 18,30 \text{ т}.$$



1.2. Расчёт количества вещества элементов

$n_i^{\text{конц.}}$ выполняют по формуле

$$n_i^{\text{конц.}} = \frac{m_i^{\text{конц.}}}{M_i},$$

где $m_i^{\text{конц.}}$ – масса элемента в концентрате, г; M_i – молярная масса элемента, г/моль.

$$1.2.1. n_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Cu}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Cu}}} = \frac{71,00 \cdot 10^6}{63,5} = 1,12 \cdot 10^6 \text{ моль} = 1,12 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.2. n_{\text{Zn}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Zn}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Zn}}} = \frac{7,55 \cdot 10^6}{65} = 0,12 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,12 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.3. n_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Fe}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{177,45 \cdot 10^6}{56} = 3,17 \cdot 10^6 \text{ моль} = 3,17 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.4. n_{\text{S}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{S}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{S}}} = \frac{206,50 \cdot 10^6}{32} = 6,45 \cdot 10^6 \text{ моль} = 6,45 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.5. n_{\text{Si}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Si}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Si}}} = \frac{11,65 \cdot 10^6}{28} = 0,42 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,42 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.6. n_{\text{Ca}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Ca}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Ca}}} = \frac{3,60 \cdot 10^6}{40} = 0,09 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,09 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.7. n_{\text{Al}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Al}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Al}}} = \frac{3,95 \cdot 10^6}{27} = 0,15 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,15 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.8. n_{\text{O}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{O}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{O}}} = \frac{18,30 \cdot 10^6}{16} = 1,14 \cdot 10^6 \text{ моль} = 1,14 \text{ Ммоль}.$$

1 балл

1.3. Расчёт халькопирита

1.3.1. Вывод формулы халькопирита, в котором массовая доля серы 34,88 %; массовая доля железа 30,52 %

1.3.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_{\text{S}} = 34,88 \text{ г},$$

$$m_{\text{Fe}} = 30,52 \text{ г},$$

$$m_{\text{Cu}} = 100 - m_{\text{S}} - m_{\text{Fe}} = 100 - 34,88 - 30,52 = 34,6 \text{ г}.$$

1.3.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{\text{Cu}} = \frac{m_{\text{Cu}}}{M_{\text{Cu}}} = \frac{34,6}{63,5} = 0,54 \text{ моль};$$

$$n_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{30,52}{56} = 0,55 \text{ моль};$$

$$n_{\text{S}} = \frac{m_{\text{S}}}{M_{\text{S}}} = \frac{34,88}{32} = 1,09 \text{ моль}.$$

1.3.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Cu}} : n_{\text{Fe}} : n_{\text{S}} = 0,54 : 0,55 : 1,09 = 1 : 1 : 2$$

1.3.1.4. Формула халькопирита: CuFeS_2

1 балл

1.3.2. Количество вещества халькопирита CuFeS_2 в рудном концентрате с учетом п. 1.2.1

$$n_{\text{CuFeS}_2} = n_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = 1,12 \text{ Ммоль};$$



1.3.3. Масса халькопирита

$$m_{\text{CuFeS}_2} = n_{\text{CuFeS}_2} \cdot M_{\text{CuFeS}_2} = 1,12 \cdot 10^6 \cdot 183,5 = 205,52 \cdot 10^6 \text{ г} = 205,52 \text{ т};$$

$$M_{\text{CuFeS}_2} = M_{\text{Cu}} + M_{\text{Fe}} + 2 \cdot M_{\text{S}} = 63,5 + 56 + 2 \cdot 32 = 183,5 \text{ г/моль.}$$

1.3.4. Массовая доля халькопирита

$$\omega_{\text{CuFeS}_2} = \frac{m_{\text{CuFeS}_2}}{m_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{205,52}{500} \cdot 100 = 41,10 \%,$$

m_{Σ} – масса рудного концентрата, равная 500 т.

1 балл

1.4. Расчёт сфалерита

1.4.1. Вывод формулы сфалерита (массовая доля цинка – 67,0 %)

1.4.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_{\text{Zn}} = 67,0 \text{ г},$$

$$m_{\text{S}} = 100 - m_{\text{Zn}} = 100 - 67,0 = 33 \text{ г}.$$

1.4.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{\text{Zn}} = \frac{m_{\text{Zn}}}{M_{\text{Zn}}} = \frac{67}{65} = 1,03 \text{ моль};$$

$$n_{\text{S}} = \frac{m_{\text{S}}}{M_{\text{S}}} = \frac{33}{32} = 1,03 \text{ моль.}$$

1.4.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Zn}} : n_{\text{S}} = 1,03 : 1,03 = 1 : 1$$

1.4.1.4. Формула сфалерита: ZnS

1 балл

1.4.2. Количество вещества сфалерита с учётом п. 1.2.2

$$n_{\text{ZnS}} = n_{\text{Zn}}^{\text{конц.}} = 0,12 \text{ Ммоль.}$$

1.4.3. Масса сфалерита

$$m_{\text{ZnS}}^{\text{конц.}} = n_{\text{ZnS}} \cdot M_{\text{ZnS}} = 0,12 \cdot 10^6 \cdot 97 = 11,64 \cdot 10^6 \text{ г} = 11,64 \text{ т};$$

$$M_{\text{ZnS}} = M_{\text{Zn}} + M_{\text{S}} = 65 + 32 = 97 \text{ г/моль.}$$

1.4.4. Массовая доля сфалерита

$$\omega_{\text{ZnS}} = \frac{m_{\text{ZnS}}^{\text{конц.}}}{m_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{11,64}{500} \cdot 100 = 2,33 \%,$$

m_{Σ} – масса рудного концентрата, равная 500 т.

1 балл

1.5. Расчёт пирита

1.5.1. Вывод формулы пирита

1.5.1.1. Количество вещества железа в пирите

$$n_{\text{Fe}}^{\text{Fe}_x\text{S}_y} = n_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} - n_{\text{Fe}}^{\text{CuFeS}_2} = n_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} - n_{\text{CuFeS}_2} = 3,17 - 1,12 = 2,05 \text{ Ммоль};$$

количество вещества железа $n_{\text{Fe}}^{\text{конц.}}$ и халькопирита n_{CuFeS_2} берут из п. 1.2.3 и 1.3.2

соответственно.

1.5.1.2. Количество вещества серы в пирите

$$\begin{aligned} n_{\text{S}}^{\text{Fe}_x\text{S}_y} &= n_{\text{S}}^{\text{конц.}} - n_{\text{S}}^{\text{CuFeS}_2} - n_{\text{S}}^{\text{ZnS}} = n_{\text{S}}^{\text{конц.}} - 2 \cdot n_{\text{CuFeS}_2} - n_{\text{ZnS}} = \\ &= 6,45 - 2 \cdot 1,12 - 0,12 = 4,09 \text{ Ммоль.} \end{aligned}$$



количество вещества серы $n_S^{\text{конц.}}$, халькопирита n_{CuFeS_2} и сфалерита n_{ZnS} берут из п. 1.2.4, 1.3.2 и 1.4.2. соответственно.

1.5.1.3. Соотношение количества вещества

$$n_{\text{Fe}}^{\text{Fe}_x\text{S}_y} : n_S^{\text{Fe}_x\text{S}_y} = 2,05 : 4,09 = 1 : 2$$

1.5.1.4. Формула пирита – FeS_2 .

1 балл

1.5.2. Количество вещества пирита

$$n_{\text{FeS}_2} = n_{\text{Fe}}^{\text{FeS}_2} = 2,05 \text{ Ммоль.}$$

1.5.3. Масса пирита

$$m_{\text{FeS}_2} = n_{\text{FeS}_2} \cdot M_{\text{FeS}_2} = 2,05 \cdot 10^6 \cdot 120 = 246,0 \cdot 10^6 \text{ г} = 246,0 \text{ т};$$

$$M_{\text{FeS}_2} = M_{\text{Fe}} + 2 \cdot M_{\text{S}} = 56 + 2 \cdot 32 = 120 \text{ г/моль.}$$

1.5.4. Массовая доля пирита

$$\omega_{\text{FeS}_2} = \frac{m_{\text{FeS}_2}}{m_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{246,0}{500} \cdot 100 = 49,20 \%,$$

m_{Σ} – масса рудного концентрата, равная 500 т.

1 балл

1.6. Расчёт масс оксидов кремния, кальция, алюминия

1.6.1. Оксид кремния

1.6.1.1. Количество вещества оксида кремния с учётом п. 1.2.5.

$$n_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}} = n_{\text{Si}}^{\text{конц.}} = 0,42 \text{ Ммоль,}$$

1.6.1.2. Масса оксида кремния в концентрате

$$m_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}} = n_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}} \cdot M_{\text{SiO}_2} = 0,42 \cdot 10^6 \cdot 60 = 25,2 \cdot 10^6 \text{ г} = 25,2 \text{ т};$$

$$M_{\text{SiO}_2} = M_{\text{Si}} + 2 \cdot M_{\text{O}} = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль.}$$

1.6.1.3. Массовая доля оксида кремния

$$\omega_{\text{SiO}_2} = \frac{m_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}}}{m_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{25,2}{500} \cdot 100 = 5,04 \%,$$

m_{Σ} – масса рудного концентрата, равная 500 т.

1 балл

1.6.2. Оксид кальция

1.6.2.1. Количество вещества оксида кальция с учётом п. 1.2.6.

$$n_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} = n_{\text{Ca}}^{\text{конц.}} = 0,09 \text{ Ммоль,}$$

1.6.2.2. Масса оксида кальция

$$m_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} = n_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} \cdot M_{\text{CaO}} = 0,09 \cdot 10^6 \cdot 56 = 5,04 \cdot 10^6 \text{ г} = 5,04 \text{ т};$$

$$M_{\text{CaO}} = M_{\text{Ca}} + M_{\text{O}} = 40 + 16 = 56 \text{ г/моль.}$$

1.6.2.3. Массовая доля оксида кальция

$$\omega_{\text{CaO}} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\text{конц.}}}{m_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{5,04}{500} \cdot 100 = 1,01 \%,$$

m_{Σ} – масса рудного концентрата, равная 500 т.

1 балл

1.6.3. Оксид алюминия

1.6.3.1. Количество вещества оксида алюминия с учётом п. 1.2.7.



$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} = \frac{n_{\text{Al}}^{\text{конц.}}}{2} = \frac{0,15}{2} = 0,075 \text{ Ммоль,}$$

1.6.3.2. Масса оксида алюминия

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} = n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} \cdot M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0,075 \cdot 10^6 \cdot 102 = 7,65 \cdot 10^6 \text{ г} = 7,65 \text{ т;}$$

$$M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 2 \cdot M_{\text{Al}} + 3 \cdot M_{\text{O}} = 2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 = 102 \text{ г/моль.}$$

1.6.3.3. Массовая доля оксида алюминия

$$\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}}}{m_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{7,65}{500} \cdot 100 = 1,53 \%,$$

m_{Σ} – масса рудного концентрата, равная 500 т.

1 балл

1.7. Проверка справедливости расчётов п. 1.3 – 1.6 (не является обязательным и носит рекомендательный характер)

1.7.1. По массе веществ

$$m_{\text{конц.}} = m_{\text{CuFeS}_2} + m_{\text{FeS}_2} + m_{\text{ZnS}} + m_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}} + m_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} + m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} = \\ 205,52 + 246,00 + 11,64 + 25,2 + 5,04 + 7,65 = 501,05 \text{ т.}$$

Небольшое расхождение в массе концентрата допустимо и связано с точностью вычислений.

1.7.2. По массовой доле веществ

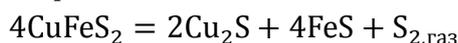
$$\omega_{\text{CuFeS}_2} + \omega_{\text{FeS}_2} + \omega_{\text{ZnS}} + \omega_{\text{SiO}_2} + \omega_{\text{CaO}} + \omega_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \\ = 41,10 + 49,20 + 2,33 + 5,04 + 1,01 + 1,53 = 100,21 \%$$

Небольшое расхождение допустимо и связано с точностью вычислений.

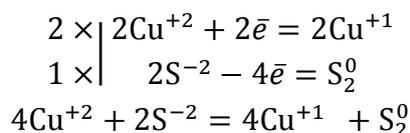
2. Уравнения реакций, протекающих при плавке на штейн

2.1. Диссоциация высших сульфидов – реакции окислительно-восстановительные, требуется составление баланса электронов.

2.1.1. Диссоциация халькопирита

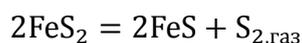


баланс электронов

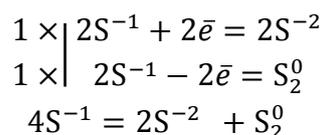


1 балл

2.1.2. Диссоциация пирита

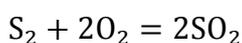


баланс электронов

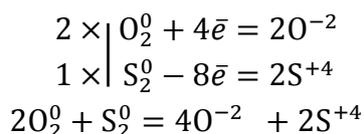


1 балл

2.2. Горение паров серы



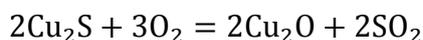
баланс электронов



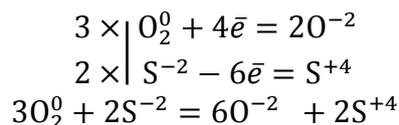
1 балл

2.3. Окисление сульфидов

2.3.1. Окисление сульфида меди

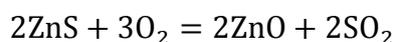


баланс электронов

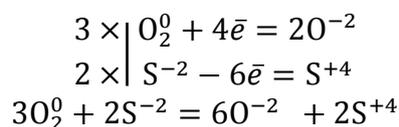


1 балл

2.3.2. Окисление сульфида цинка

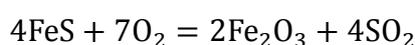


баланс электронов

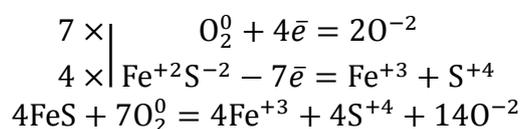


1 балл

2.3.3. Окисление сульфида железа

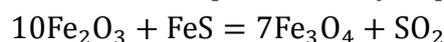


баланс электронов

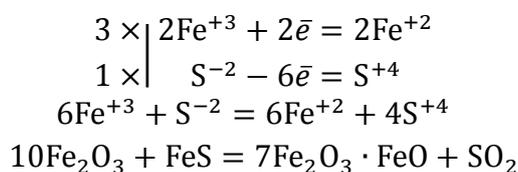


1 балл

2.4. Образование железной окалины по реакции с сульфидом железа



баланс электронов

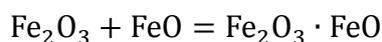


1 балл

2.5. Образование железной окалины по реакции с оксидом железа (II)



или



1 балл

2.6. Образование сульфида меди (I) по реакции обмена





протекает по причине большей устойчивости сульфида меди и приводит к концентрированию сульфида меди в штейне и обеспечивает наличие железа в шлаке в форме оксида железа (II).

1 балл

3. Состав самоплавкого шлака

3.1. Расчёт меди

3.1.1. Количество вещества меди в шлаке рассчитывают по величине механических потерь $E_{\text{Cu}}^{\text{шл.}} = 4\%$ с учётом количества вещества меди в концентрате $n_{\text{Cu}}^{\text{конц.}}$ (см. п. 1.2.1):

$$n_{\text{Cu}}^{\text{шл.}} = \frac{E_{\text{Cu}}^{\text{шл.}}}{100} \cdot n_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = \frac{4,00}{100} \cdot 1,12 = 0,04 \text{ Ммоль.}$$

3.1.2. Масса меди в шлаке

$$m_{\text{Cu}}^{\text{шл.}} = n_{\text{Cu}}^{\text{шл.}} \cdot M_{\text{Cu}} = 0,04 \cdot 10^6 \cdot 63,5 = 2,54 \cdot 10^6 \text{ г} = 2,54 \text{ т.}$$

3.2. Масса шлака

Массу шлака рассчитывают по массе меди в шлаке и массовой доле меди в шлаке 1,30 %:

$$m_{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{Cu}}^{\text{шл.}}}{\omega_{\text{Cu}}^{\text{шл.}}} \cdot 100 = \frac{2,54}{1,30} \cdot 100 = 195,38 \text{ т.}$$

1 балл

3.3. Расчёт халькозина

3.3.1. Вывод формулы халькозина, в котором массовая доля серы 20 %

3.3.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_{\text{S}} = 20,0 \text{ г,}$$

$$m_{\text{Cu}} = 100 - m_{\text{S}} = 100 - 20,0 = 80,0 \text{ г.}$$

3.3.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{\text{Cu}} = \frac{m_{\text{Cu}}}{M_{\text{Cu}}} = \frac{80,0}{63,5} = 1,26 \text{ моль;}$$

$$n_{\text{S}} = \frac{m_{\text{S}}}{M_{\text{S}}} = \frac{20,0}{32} = 0,63 \text{ моль.}$$

3.3.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Cu}} : n_{\text{S}} = 1,26 : 0,63 = 2 : 1$$

3.3.1.4. Формула халькозина: Cu_2S .

3.3.2. Количество вещества халькозина с учётом п. 3.1.1

$$n_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{шл.}} = n_{\text{Cu}}^{\text{шл.}} / 2 = 0,04 / 2 = 0,02 \text{ Ммоль.}$$

3.3.3. Масса халькозина

$$m_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{шл.}} = n_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{шл.}} \cdot M_{\text{Cu}_2\text{S}} = 0,02 \cdot 10^6 \cdot 159 = 3,18 \cdot 10^6 \text{ г} = 3,18 \text{ т;}$$

$$M_{\text{Cu}_2\text{S}} = 2 \cdot M_{\text{Cu}} + M_{\text{S}} = 2 \cdot 63,5 + 32 = 159 \text{ г/моль.}$$

3.3.4. Массовая доля халькозина в шлаке с учетом п. 3.2.

$$\omega_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100\% = \frac{3,18}{195,38} \cdot 100 = 1,63\%.$$

1 балл



3.4. Расчёт цинка в шлаке

3.4.1. Количество вещества цинка вычисляют по степени его извлечения в шлак $E_{Zn}^{шл.} = 40\%$ с учётом количества вещества цинка в концентрате $n_{Zn}^{конц.}$ (см. п. 1.2.2)

$$n_{Zn}^{шл.} = \frac{E_{Zn}^{шл.}}{100} \cdot n_{Zn}^{конц.} = \frac{40,00}{100} \cdot 0,12 = 0,05 \text{ Ммоль.}$$

3.4.2. Масса цинка в шлаке

$$m_{Zn}^{шл.} = n_{Zn}^{шл.} \cdot M_{Zn} = 0,05 \cdot 10^6 \cdot 65 = 3,25 \cdot 10^6 \text{ г} = 3,25 \text{ т.}$$

3.4.3. Массовая доля цинка в шлаке с учетом п. 3.2.

$$\omega_{Zn}^{шл.} = \frac{m_{Zn}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100\% = \frac{3,25}{195,38} \cdot 100 = 1,66\%.$$

Цинк переходит в шлак в оксидной форме ZnO

3.4.4. Количество вещества оксида цинка с учетом п. 3.4.1.

$$n_{ZnO}^{шл.} = n_{Zn}^{шл.} = 0,05 \text{ Ммоль.}$$

3.4.5. Масса оксида цинка

$$m_{ZnO}^{шл.} = n_{ZnO}^{шл.} \cdot M_{ZnO} = 0,05 \cdot 10^6 \cdot 81 = 4,05 \cdot 10^6 \text{ г} = 4,05 \text{ т;}$$

$$M_{ZnO} = M_{Zn} + M_O = 65 + 16 = 81 \text{ г/моль.}$$

3.4.6. Массовая доля оксида цинка в шлаке с учетом п. 3.2.

$$\omega_{ZnO}^{шл.} = \frac{m_{ZnO}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100\% = \frac{4,05}{195,38} \cdot 100 = 2,07\%.$$

1 балл

3.5. Расчёт кремния в шлаке

3.5.1. Количество вещества кремния вычисляют по величине потерь в состав штейна $E_{Si}^{шт.} = 18,45\%$. Степень извлечения кремния в шлак:

$$E_{Si}^{шл.} = 100 - E_{Si}^{шт.} = 100 - 18,45 = 81,55\%.$$

Тогда, с учётом количества вещества кремния в концентрате $n_{Si}^{конц.}$ (п. 1.2.5)

$$n_{Si}^{шл.} = \frac{E_{Si}^{шл.}}{100} \cdot n_{Si}^{конц.} = \frac{81,55}{100} \cdot 0,42 = 0,34 \text{ Ммоль.}$$

3.5.2. Масса кремния в шлаке

$$m_{Si}^{шл.} = n_{Si}^{шл.} \cdot M_{Si} = 0,34 \cdot 10^6 \cdot 28 = 9,52 \cdot 10^6 \text{ г} = 9,52 \text{ т.}$$

3.5.3. Массовая доля кремния в шлаке с учетом п. 3.2.

$$\omega_{Si}^{шл.} = \frac{m_{Si}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100\% = \frac{9,52}{195,38} \cdot 100 = 4,87\%$$

3.5.4. Количество вещества оксида кремния в шлаке

$$n_{SiO_2}^{шл.} = n_{Si}^{шл.} = 0,34 \text{ Ммоль.}$$

3.5.5. Масса оксида кремния в шлаке

$$m_{SiO_2}^{шл.} = n_{SiO_2}^{шл.} \cdot M_{SiO_2} = 0,34 \cdot 10^6 \cdot 60 = 20,4 \cdot 10^6 \text{ г} = 20,4 \text{ т;}$$

$$M_{SiO_2} = M_{Si} + 2 \cdot M_O = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль.}$$

3.5.6. Массовая доля оксида кремния в шлаке с учетом п. 3.2.

$$\omega_{SiO_2}^{шл.} = \frac{m_{SiO_2}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100\% = \frac{20,4}{195,38} \cdot 100 = 10,44\%.$$

Массовая доля оксида кремния в шлаке не соответствует техническим условиям, по которым $\omega_{SiO_2}^{шл.} = 36\%$.



3.6. Расчёт кальция

3.6.1. Количество вещества кальция с учетом п. 1.2.6.

$$n_{\text{Ca}}^{\text{шл.}} = n_{\text{Ca}}^{\text{конц.}} = 0,09 \text{ Ммоль.}$$

3.6.2. Масса кальция с учетом п. 1.1.6.

$$m_{\text{Ca}}^{\text{шл.}} = m_{\text{Ca}}^{\text{конц.}} = 3,60 \text{ т.}$$

3.6.3. Массовая доля кальция в шлаке с учетом п. 3.2.

$$\omega_{\text{Ca}}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{Ca}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{3,60}{195,38} \cdot 100 = 1,84 \%$$

3.6.4. Количество вещества оксида кальция с учетом п. 1.6.2.1.

$$n_{\text{CaO}}^{\text{шл.}} = n_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} = 0,09 \text{ Ммоль.}$$

3.6.5. Масса оксида кальция с учетом п. 1.6.2.2.

$$m_{\text{CaO}}^{\text{шл.}} = m_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} = 5,04 \text{ т.}$$

3.6.6. Массовая доля оксида кальция в шлаке с учетом п. 3.2.

$$\omega_{\text{CaO}}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{5,04}{195,38} \cdot 100 = 2,58 \%$$

Массовая доля оксида кальция в шлаке не соответствует техническим условиям, по которым $\omega_{\text{CaO}}^{\text{шл.}} = 5 \%$.

3.7. Расчёт алюминия

3.7.1. Количество вещества алюминия с учетом п. 1.2.7.

$$n_{\text{Al}}^{\text{шл.}} = n_{\text{Al}}^{\text{конц.}} = 0,15 \text{ Ммоль.}$$

3.7.2. Масса алюминия с учетом п. 1.1.7.

$$m_{\text{Al}}^{\text{шл.}} = m_{\text{Al}}^{\text{конц.}} = 3,95 \text{ т.}$$

3.7.3. Массовая доля алюминия в шлаке с учетом п. 3.2.

$$\omega_{\text{Al}}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{Al}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{3,95}{195,38} \cdot 100 = 2,02 \%$$

3.7.4. Количество вещества оксида алюминия с учетом п. 1.6.3.1.

$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{шл.}} = n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} = 0,075 \text{ Ммоль.}$$

3.7.5. Масса оксида алюминия с учетом п. 1.6.3.2.

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{шл.}} = m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} = 7,65 \text{ т.}$$

3.7.6. Массовая доля оксида алюминия в шлаке с учетом п. 3.2.

$$\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{7,65}{195,38} \cdot 100 = 3,92 \%$$

3.8. Расчёт кислорода в шлаке

3.8.1. Массу кислорода вычисляют по его массовой доле в шлаке $\omega_{\text{O}}^{\text{шл.}} = 26,37 \%$ с учетом п. 3.2.

$$m_{\text{O}}^{\text{шл.}} = \frac{\omega_{\text{O}}^{\text{шл.}}}{100} \cdot m_{\text{шл.}} = \frac{26,37}{100} \cdot 195,38 = 51,52 \text{ т.}$$

3.8.2. Количество вещества кислорода



$$n_{\text{O}}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{O}}^{\text{шл.}}}{M_{\text{O}}} = \frac{51,52 \cdot 10^6}{16} = 3,22 \cdot 10^6 \text{ моль} = 3,22 \text{ Ммоль.}$$

3.9. Расчёт серы в шлаке

3.9.1. Количество вещества серы вычисляют по количеству вещества халькозина (п. 3.3.2)

$$n_{\text{S}}^{\text{шл.}} = n_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{шл.}} = 0,02 \text{ Ммоль.}$$

3.9.2. Масса серы в шлаке

$$m_{\text{S}}^{\text{шл.}} = n_{\text{S}}^{\text{шл.}} \cdot M_{\text{S}} = 0,02 \cdot 10^6 \cdot 32 = 0,64 \cdot 10^6 \text{ г} = 0,64 \text{ т.}$$

1 балл

3.10. Расчёт железа в шлаке

Железо в шлаке содержится в виде оксида

3.10.1. Вывод формулы оксида железа

3.10.1.1. Масса железа рассчитывается как разница между массой шлака (п. 3.2) и массами меди (п. 3.1.2), цинка (п. 3.4.2), кремния (п. 3.5.2), кальция (п. 3.6.2), алюминия (п. 3.7.2), кислорода (п. 3.8.1) и серы (п. 3.9.2) в шлаке

$$\begin{aligned} m_{\text{Fe}}^{\text{шл.}} &= m_{\text{шл.}} - m_{\text{Cu}}^{\text{шл.}} - m_{\text{Zn}}^{\text{шл.}} - m_{\text{Si}}^{\text{шл.}} - m_{\text{Ca}}^{\text{шл.}} - m_{\text{Al}}^{\text{шл.}} - m_{\text{O}}^{\text{шл.}} - m_{\text{S}}^{\text{шл.}} = \\ &= 195,38 - 2,54 - 3,25 - 9,52 - 3,60 - 3,95 - 51,52 - 0,64 = 120,36 \text{ т.} \end{aligned}$$

3.10.1.2. Количество вещества железа

$$n_{\text{Fe}}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{Fe}}^{\text{шл.}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{120,36 \cdot 10^6}{56} = 2,15 \cdot 10^6 \text{ моль} = 2,15 \text{ Ммоль.}$$

3.10.1.3. Количество вещества кислорода в оксиде железа рассчитывается как разница между количеством вещества кислорода в шлаке и количествами вещества оксида цинка (п. 3.4.4), оксида кремния (п. 3.5.4), оксида кальция (п. 3.6.4) и оксида алюминия (п. 3.7.4) в шлаке

$$\begin{aligned} n_{\text{O}}^{\text{Fe}_x\text{O}_y} &= n_{\text{O}}^{\text{шл.}} - n_{\text{O}}^{\text{ZnO}} - n_{\text{O}}^{\text{SiO}_2} - n_{\text{O}}^{\text{CaO}} - n_{\text{O}}^{\text{Al}_2\text{O}_3} = n_{\text{O}}^{\text{шл.}} - n_{\text{ZnO}}^{\text{шл.}} - 2 \cdot n_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.}} - n_{\text{CaO}}^{\text{шл.}} - 3 \cdot n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{шл.}} \\ &= 3,22 - 0,05 - 2 \cdot 0,34 - 0,09 - 3 \cdot 0,075 = 2,17 \text{ Ммоль} \end{aligned}$$

3.10.1.4. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Fe}}^{\text{шл.}} : n_{\text{O}}^{\text{Fe}_x\text{O}_y} = 2,15 : 2,17 = 1 : 1.$$

Формула оксида железа в шлаке FeO .

3.10.2. Количество вещества оксида железа с учетом п. 3.10.1.2.

$$n_{\text{FeO}}^{\text{шл.}} = n_{\text{Fe}}^{\text{шл.}} = 2,15 \text{ Ммоль.}$$

3.10.3. Масса оксида железа

$$\begin{aligned} m_{\text{FeO}}^{\text{шл.}} &= n_{\text{FeO}}^{\text{шл.}} \cdot M_{\text{FeO}} = 2,15 \cdot 10^6 \cdot 72 = 154,8 \cdot 10^6 \text{ г} = 154,8 \text{ т;} \\ M_{\text{FeO}} &= M_{\text{Fe}} + M_{\text{O}} = 56 + 16 = 72 \text{ г/моль.} \end{aligned}$$

3.10.4. Массовая доля железа в шлаке с учетом п. 3.2.

$$\omega_{\text{Fe}}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{Fe}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{120,36}{195,38} \cdot 100 = 61,60 \%$$

3.10.5. Массовая доля оксида железа в шлаке с учетом п. 3.2.

$$\omega_{\text{FeO}}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{FeO}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{154,8}{195,38} \cdot 100 = 79,23 \%$$

1 балл



4. Расчёт флюсовых добавок

4.1. Масса шлака с составом по ТУ:

$$m_{\text{шл.ТУ}} = m_{\text{шл.}} + m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} + m_{\text{CaO}}^{\Phi} \quad (1)$$

4.2. Масса оксида кремния в шлаке по ТУ:

$$m_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.ТУ}} = \omega_{\text{SiO}_2}^{\text{ТУ}} \cdot m_{\text{шл.ТУ}} = m_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.}} + m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} \quad (2)$$

4.3. Масса оксида кальция в шлаке по ТУ:

$$m_{\text{CaO}}^{\text{шл.ТУ}} = \omega_{\text{CaO}}^{\text{ТУ}} \cdot m_{\text{шл.ТУ}} = m_{\text{CaO}}^{\text{шл.}} + m_{\text{CaO}}^{\Phi} \quad (3)$$

Неизвестными величинами являются $m_{\text{SiO}_2}^{\Phi}$ – флюсовая добавка кварца и m_{CaO}^{Φ} , на основании которой можно вычислить массу известняка, в котором $\omega_{\text{CaO}} = 56\%$.

4.4. Подставляя в систему уравнений (1) – (3) известные величины $m_{\text{шл.}}$ (п. 3.2); $\omega_{\text{SiO}_2}^{\text{ТУ}} = 0,36$; $\omega_{\text{CaO}}^{\text{ТУ}} = 0,05$; $m_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.}}$ (п. 3.5.5) и $m_{\text{CaO}}^{\text{шл.}}$ (п. 3.6.5) получаем

$$\begin{aligned} m_{\text{шл.ТУ}} &= 195,38 + m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} + m_{\text{CaO}}^{\Phi} \\ 0,36 \cdot m_{\text{шл.ТУ}} &= 20,4 + m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} \\ 0,05 \cdot m_{\text{шл.ТУ}} &= 5,04 + m_{\text{CaO}}^{\Phi} \end{aligned}$$

Отсюда

$$\begin{aligned} m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} &= 0,36 \cdot m_{\text{шл.ТУ}} - 20,4 \\ m_{\text{CaO}}^{\Phi} &= 0,05 \cdot m_{\text{шл.ТУ}} - 5,04 \end{aligned}$$

Тогда

$$m_{\text{шл.ТУ}} = 195,38 + 0,36 \cdot m_{\text{шл.ТУ}} - 20,4 + 0,05 \cdot m_{\text{шл.ТУ}} - 5,04$$

Получаем

$$\begin{aligned} 0,59 \cdot m_{\text{шл.ТУ}} &= 169,94 \\ m_{\text{шл.ТУ}} &= 288,03 \text{ т.} \end{aligned}$$

4.5. Масса флюсовой добавки кварца

$$\begin{aligned} m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} &= 0,36 \cdot m_{\text{шл.ТУ}} - 20,4 \\ m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} &= 83,29 \text{ т.} \end{aligned}$$

4.6. Масса флюсовой добавки известняка с учетом массовой доли окиси кальция в нем 56 %

$$\begin{aligned} m_{\text{CaO}}^{\Phi} &= 0,05 \cdot m_{\text{шл.ТУ}} - 5,04 \\ m_{\text{CaO}}^{\Phi} &= 9,36 \text{ т;} \\ m_{\text{CaCO}_3} &= \frac{m_{\text{CaO}}^{\Phi}}{\omega_{\text{CaO}}} \cdot 100 = \frac{9,36}{0,56} = 16,71 \text{ т.} \end{aligned}$$

1 балл

4.7. Новый состав шлака рассчитывают с учетом масс флюсовых добавок $m_{\text{SiO}_2}^{\Phi}$ (п. 4.5) и m_{CaO}^{Φ} (п. 4.6), а также масс халькозина (п. 3.3.3), оксида цинка (п. 3.4.5), оксида кремния (п. 3.5.5), оксида кальция (п. 3.6.5), оксида алюминия (п. 3.7.5) и оксида железа (п. 3.10.3) в шлаке. Масса шлака рассчитана в п. 4.4.

$$\begin{aligned} \omega_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{шл.ТУ}} &= \frac{m_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.ТУ}}} \cdot 100\% = \frac{3,18}{288,03} \cdot 100 = 1,10\%. \\ \omega_{\text{ZnO}}^{\text{шл.ТУ}} &= \frac{m_{\text{ZnO}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.ТУ}}} \cdot 100\% = \frac{4,05}{288,03} \cdot 100 = 1,41\%. \end{aligned}$$



$$\omega_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.ту}} = \frac{m_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.ту}}}{m_{\text{шл.ту}}} \cdot 100\% = \frac{103,69}{288,03} \cdot 100 = 36,0\%,$$
$$m_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.ту}} = m_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.}} + m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} = 20,4 + 83,29 = 103,69 \text{ т.}$$
$$\omega_{\text{CaO}}^{\text{шл.ту}} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\text{шл.ту}}}{m_{\text{шл.ту}}} \cdot 100\% = \frac{14,40}{288,03} \cdot 100 = 5,0\%,$$
$$m_{\text{CaO}}^{\text{шл.ту}} = m_{\text{CaO}}^{\text{шл.}} + m_{\text{CaO}}^{\Phi} = 5,04 + 9,36 = 14,40 \text{ т.}$$
$$\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{шл.ту}} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.ту}}} \cdot 100\% = \frac{7,65}{288,03} \cdot 100 = 2,66\%.$$
$$\omega_{\text{FeO}}^{\text{шл.ту}} = \frac{m_{\text{FeO}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.ту}}} \cdot 100\% = \frac{156,24}{288,03} \cdot 100 = 54,25\%.$$

1 балл

Ответ

1) Вещественный состав концентрата

вещество	m , т	ω , %
CuFeS ₂	205,52	41,10
ZnS	11,64	2,33
FeS ₂	246,00	49,20
SiO ₂	25,2	5,04
CaO	5,04	1,01
Al ₂ O ₃	7,65	1,53
Итого:	501,05	100,21

2) Вещественный состав самоплавкого шлака

вещество	m , т	ω , %
Cu ₂ S	3,18	1,63
ZnO	4,05	2,07
FeO	154,8	79,23
SiO ₂	20,4	10,44
CaO	5,04	2,58
Al ₂ O ₃	7,65	3,92
Итого:	195,12	99,87

3) Масса флюсовых добавок и вещественный состав с учётом флюсовых добавок

$$m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} = 83,29 \text{ т.}$$

$$m_{\text{CaCO}_3} = 16,71 \text{ т.}$$

вещество	m , т	ω , %
Cu ₂ S	3,18	1,10
ZnO	4,05	1,41
FeO	156,24	54,25
SiO ₂	103,69	36,00
CaO	14,4	5,00
Al ₂ O ₃	7,65	2,66
Итого:	289,21	100,42



ХИМИЯ

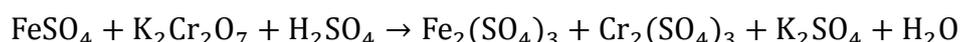
ВАРИАНТ 3

Задание 1 (5 баллов)

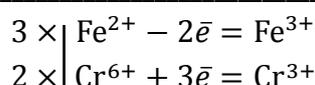
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнивать, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, в сокращенной ионно-молекулярной форме:



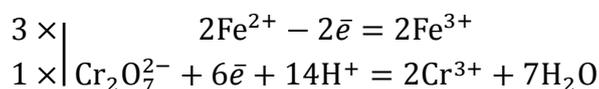
Решение



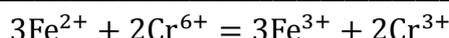
1 балл



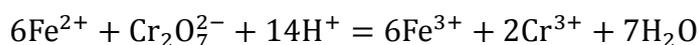
или



2 балла



или



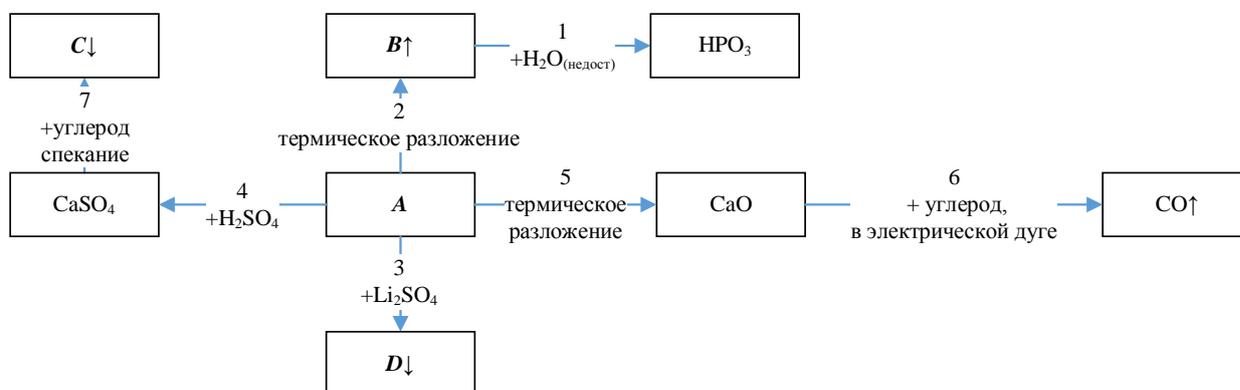
1 балл



1 балл

Задание 2 (10 баллов)

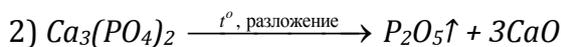
Определите формулы веществ *A*, *B*, *C*, *D*. Напишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакции, с помощью которых можно осуществить следующие превращения. Вещества в цепочке могут находиться как в твердом состоянии, так и в растворе. Окислительно-восстановительные реакции должны сопровождаться методом полуреакций или методом электронного баланса:



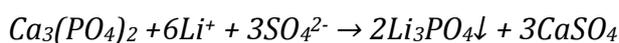
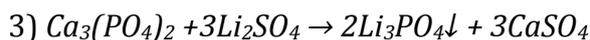
Решение:



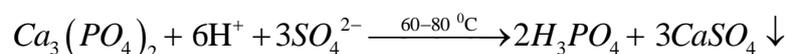
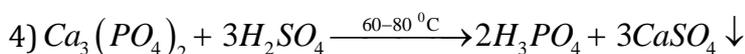
2 балла



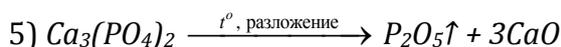
1 балл



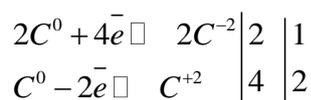
1 балл



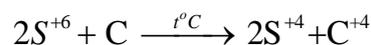
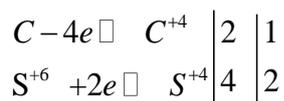
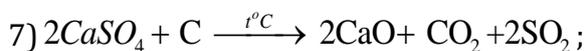
1 балл



1 балл



2 балла



2 балла

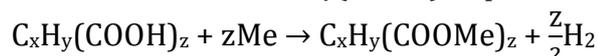
Ответ: **A** – $Ca_3(PO_4)_2$; **B** – P_2O_5 ; **C** – CaO ; **D** – Li_3PO_4 .

**Задание 3 (15 баллов)**

Органическая кислота массой 1,18 г реагирует с 0,46 г щелочного металла и образуется 224 мл водорода измеренного при нормальных условиях. Относительная молекулярная масса органической кислоты 118. Установить относительную атомную массу щелочного металла и определить металл. Написать всевозможные структурные формулы кислоты.

Решение:

1. Общая формула органической кислоты $C_xH_y(COOH)_z$. Уравнение реакции с металлом:



Количество кислоты по реакции с металлом:

$$n_{\text{кислоты}} = \frac{m_{\text{кислоты}}}{M_{\text{кислоты}}} = \frac{1,18}{118} = 0,01, \text{ моль}$$

Количество выделившегося водорода:

$$n_{H_2} = \frac{V_{H_2}}{V_M} = \frac{0,224}{22,4} = 0,01, \text{ моль}$$

По уравнению реакции соотношение количеств кислоты и выделившегося водорода:

$$\frac{n_{H_2}}{n_{\text{кислоты}}} = \frac{z}{2} = \frac{0,01}{0,01}$$

Из соотношения $z=2$.

_____ 5 баллов

2. Молярная масса кислоты:

$$Mr = 12 \cdot x + y + 45 \cdot z = 118$$

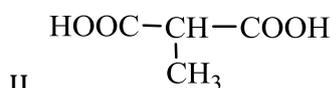
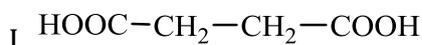
При $z=2$ получим:

$$12 \cdot x + y = 28$$

Уравнение имеет одно решение, соответствующее возможной формуле химического соединения: $x=2$; $y=4$.

Общая формула кислоты – $C_2H_4(COOH)_2$.

Структурные формулы кислоты:



_____ 5 баллов

3. По уравнению реакции количество щелочного металла, вступившего в реакцию с органической кислотой:

$$n_{Me} = 2 \cdot n_{\text{кислоты}} = 2 \cdot 0,01 = 0,02, \text{ моль}$$

Молярная масса щелочного металла:

$$M_{Me} = \frac{m_{Me}}{n_{Me}} = \frac{0,46}{0,02} = 23, \text{ г/моль}$$

$$Ar_{Me} = 23$$



Относительная атомная масса соответствует щелочному металлу - Na
_____ 5 баллов

Задание 4 (20 баллов)

Лаборант взял две одинаковые навески неизвестного металла. Первую поместил в стакан с 160,93 мл 20 % соляной кислоты ($\rho = 1,134$ г/мл), в результате чего металл полностью растворился, образовав 23,36 % раствор своего хлорида. Вторую навеску лаборант полностью растворил в 160 г раствора гидроксида натрия, с образованием соответствующей комплексной соли. Реакции металла с соляной кислотой и гидроксидом натрия считать стехиометрическими. Напишите уравнения протекающих реакций. Определите массовую долю образовавшегося в результате реакции со щелочью вещества. Назовите искомым металл и образовавшейся в результате реакции со щелочью продукт.

Решение:

Определим массу исходного раствора соляной кислоты:

$$m_{(\text{раствор HCl})} = \rho \cdot V = 1,134 \text{ г/мл} \cdot 160,93 \text{ мл} = 182,5 \text{ г}$$

Определим массу и количество соляной кислоты в исходном растворе:

$$m_{(\text{HCl})} = \frac{m_{(\text{раствор HCl})} \cdot \omega}{100 \%} = \frac{182,5 \text{ г} \cdot 20 \%}{100 \%} = 36,5 \text{ г}$$

$$n_{(\text{HCl})} = \frac{m_{(\text{HCl})}}{M_{(\text{HCl})}} = \frac{36,5 \text{ г}}{36,5 \text{ г/моль}} = 1,0 \text{ моль}$$

При стехиометрической реакции металла с таким количеством соляной кислоты из раствора выделится водород массой:

$$m_{(\text{H}_2)} = \frac{m_{(\text{HCl})} \cdot M_{(\text{H}_2)}}{2 \cdot M_{(\text{HCl})}} = \frac{36,5 \text{ г} \cdot 2 \text{ г/моль}}{2 \cdot 36,5 \text{ г/моль}} = 1,0 \text{ г}$$

_____ 5 баллов

Примем массу металла вступившего в реакцию с кислотой за x . Тогда масса раствора после реакции с металлом:

$$m_{(\text{раствор HCl после реакции с Me})} = m_{(\text{раствор HCl})} + m_{(\text{Me})} - m_{(\text{H}_2)} = (182,5 + x - 1) \text{ г}$$

Тогда масса хлорида в растворе:

$$m_{(\text{хлорид})} = m_{(\text{HCl})} + m_{(\text{Me})} - m_{(\text{H}_2)} = (36,5 + x - 1) \text{ г}$$

Из известной массовой доли хлорида металла в полученном растворе найдем массу металла:

$$\omega_{(\text{хлорид в растворе})} = \frac{m_{(\text{хлорид})}}{m_{(\text{раствор HCl после реакции с Me})}} \cdot 100 \%$$

или

$$23,36 \% = \frac{35,5 + x}{181,5 + x} \cdot 100 \%$$

Таким образом, масса металла составит:

$$m_{(\text{Me})} = x = 9 \text{ г}$$



Если металл одновалентный, он реагирует с соляной кислотой по реакции (1):



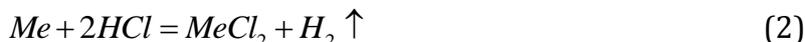
Тогда молярная масса металла с учетом стехиометрии реакции составит:

$$\frac{m_{(Me)}}{M_{(Me)}} = 2 \cdot \frac{m_{(H_2)}}{M_{(H_2)}}$$

или

$$M_{(Me)} = \frac{m_{(Me)} \cdot M_{(H_2)}}{2 \cdot m_{(H_2)}} = \frac{9 \cdot 2}{2 \cdot 1} = 9 \text{ г / моль}$$

Если металл двухвалентный, он реагирует с соляной кислотой по реакции (2):



Тогда молярная масса металла с учетом стехиометрии реакции составит:

$$\frac{m_{(Me)}}{M_{(Me)}} = \frac{m_{(H_2)}}{M_{(H_2)}}$$

или

$$M_{(Me)} = \frac{m_{(Me)}}{m_{(H_2)} / M_{(H_2)}} = \frac{9}{1/2} = 18 \text{ г / моль}$$

Если металл трехвалентный, он реагирует с соляной кислотой по реакции (3):



Тогда молярная масса металла с учетом стехиометрии реакции составит:

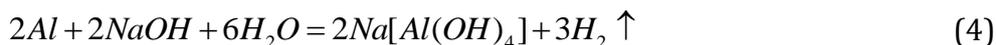
$$3 \cdot \frac{m_{(Me)}}{M_{(Me)}} = 2 \cdot \frac{m_{(H_2)}}{M_{(H_2)}}$$

или

$$M_{(Me)} = \frac{3}{2} \cdot \frac{m_{(Me)} \cdot M_{(H_2)}}{m_{(H_2)}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{9 \cdot 2}{1} = 27 \text{ г / моль}$$

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, о том, что искомым металлом – алюминий, так как металла с молярной массой 18 и 9 не существует.

Алюминий реагирует со щелочью по реакции (4):



В соответствии со стехиометрией реакции (4) образуется тетрагидроксиалюминат натрия массой:

$$m_{(Na[Al(OH)_4])} = \frac{m_{(Me)} \cdot M_{Na[Al(OH)_4]}}{M_{Me}} = \frac{9 \text{ г} \cdot 118 \text{ г/моль}}{27 \text{ г/моль}} = 39,33 \text{ г}$$

В соответствии со стехиометрией реакции (4) из раствора выделяется водород массой:



$$m_{(H_2)} = \frac{m_{(Me)} \cdot 3M_{H_2}}{2M_{Me}} = \frac{9 \text{ г} \cdot 6 \text{ г/моль}}{54 \text{ г/моль}} = 1 \text{ г}$$

Тогда масса раствора после реакции алюминия со щелочью:

$$m_{(\text{раствор } 2)} = m_{(\text{раствор NaOH})} + m_{(Me)} - m_{(H_2)} = (160 + 9 - 1) = 168 \text{ г}$$

Следовательно, массовая доля тетрагидроксоалюминат натрия в растворе:

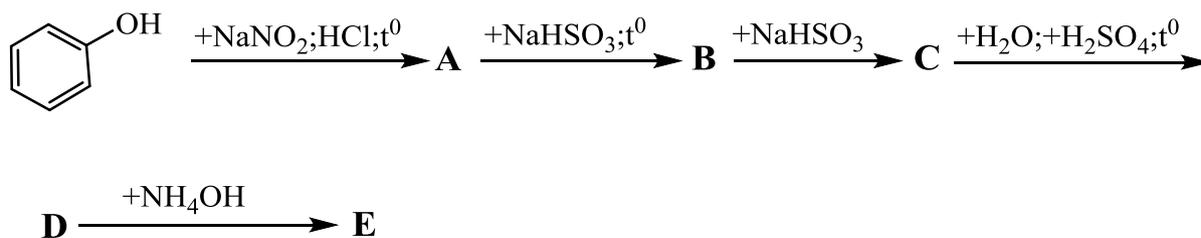
$$\omega_{(Na[Al(OH)_4] \text{ в растворе})} = \frac{m_{(Na[Al(OH)_4])}}{m_{(\text{раствор } 2)}} \cdot 100 \% = \frac{39,33}{168} \cdot 100 \% = 23,41 \%$$

_____ 5 баллов

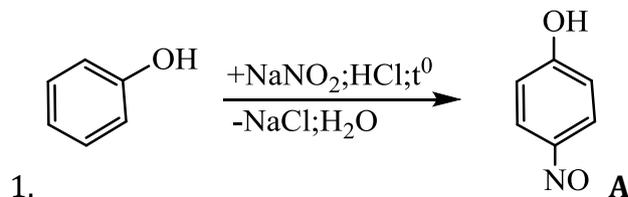
Ответ: искомый металл – алюминий (Al), продукт реакции со щелочью – тетрагидроксоалюминат натрия ($Na[Al(OH)_4]$), процентное содержание тетрагидроксоалюмината натрия в итоговом растворе – $\omega_{(Na[Al(OH)_4] \text{ в растворе})} = 23,41 \%$

Задание 5 (20 баллов)

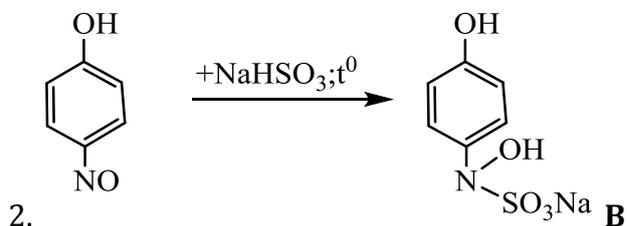
Предложите формулы органических веществ и уравнения химических реакций в соответствии со схемой превращений.



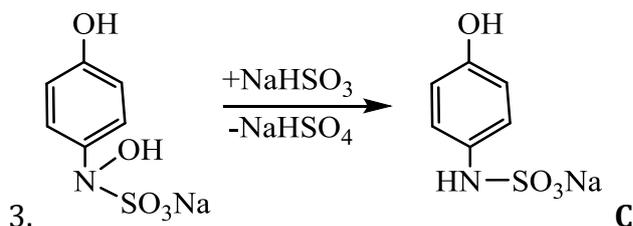
Решение:



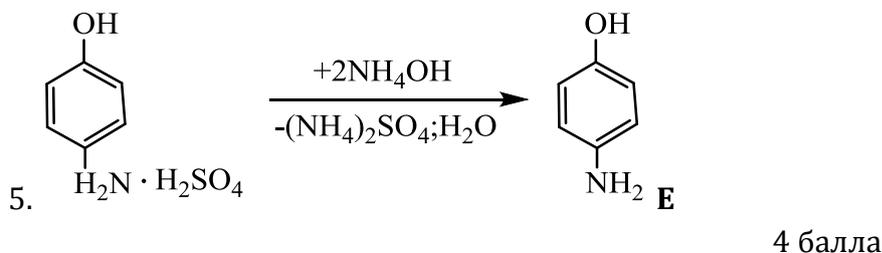
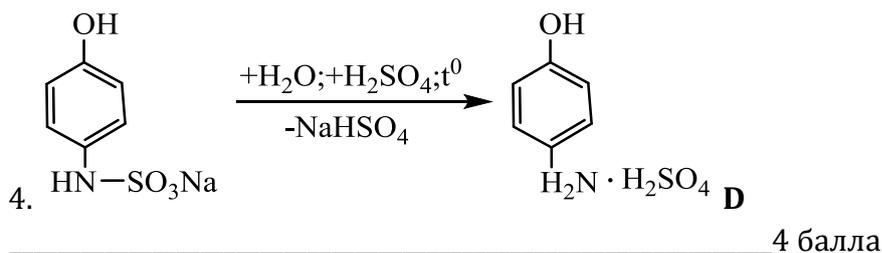
_____ 4 балла



_____ 4 балла



_____ 4 балла



Задание 6 (30 баллов)

Целью восстановительной плавки окисленных никелевых руд – максимальное извлечение никеля в штейн (85 %) и ошлакование железа, содержащегося в руде в виде бурого железняка и пустой породы (каолинит, тальк). Шлаки являются вторым обязательным продуктом большинства металлургических плавок. Шлак представляет собой смесь оксидов железа (II) и других элементов, составляющих флюс, пустую породу, сульфидирующие добавки. Плавку на штейн проводят в шахтных печах при температуре от 1300 до 1400 °С. Шихта содержит никелевую руду, кокс, сульфидирующую добавку – гипс (двухводный сульфат кальция) и флюс. Кокс в шихту добавляют из расчёта создания восстановительной атмосферы угарного газа за счёт горения углерода. Расход воздуха – стехиометрический по отношению к реакциям углерода. Степень превращения углерода до угарного газа 80 %. Угарный газ участвует в разложении гипса и реакциях сульфидизации оксидов никеля (степень превращения 88 %) и железа (степень превращения 20 %) с диоксидом серы, образующимся из гипса в присутствии угарного газа. В качестве флюсов используют кварциты и известняки. Расчёт флюса и его добавку проводят, если состав самоплавкого шлака, получаемого непосредственно при плавке сырья, не соответствует заводским нормам.

Для шихты, содержащей 100 т окисленной никелевой руды, сульфидирующую добавку (гипс) в количестве 30 % от массы руды и кокс в количестве 8 % от массы руды

1) определить элементный и вещественный (в пересчёте на оксиды) состав **ШИХТЫ**, считая, что руда с массовой долей влаги 1,8 % содержит (массовые доли) оксид никеля – 2,55 %; бурый железняк (моногидрат оксида железа, в котором массовая доля железа 70 %) – 38,08 %; тальк (моногидрат силиката магния с массовой долей оксида магния 31,7 %, оксида кремния 63,5 %) – 35,91 %; каолинит – 13,71 % (двухводный силикат алюминия с массовой долей оксида алюминия 40 %, оксида кремния 46 %) и кварц. Считать кокс состоящим только из углерода.

2) составить уравнения реакций, протекающих при плавке на штейн в восстановительных условиях, отметив процессы, приводящие к переходу железа в состав шлака;



3) вычислить вещественный состав (в пересчёте на массовые доли оксидов) самоплавкого шлака, получаемого без флюсовой добавки, считая, что извлечение в штейн никеля – 85 %, железа – 19 %, масса кислорода, приходящаяся на эти два оксида равна 5,633 т.

4) установить соответствие состава шлака техническим условиям, предусматривающим массовую долю оксида кремния в составе шлака 46 % и оксида кальция 18 % и рассчитать флюсовые добавки известняка (массовая доля окиси кальция 56 %) и кварца (100 % двуокись кремния) для получения шлака требуемого состава. Уточнить вещественный состав (массовые доли) шлака с учётом флюсовых добавок.

Решение

1. Вывод формул компонентов руды

1.1. Бурый железняк – моногидрат оксида железа, в котором с массовая доля железа 70 %

1.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_{\text{Fe}} = 70,0 \text{ г,}$$

$$m_{\text{O}} = 100 - m_{\text{Fe}} = 100 - 70,0 = 30,0 \text{ г.}$$

1.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{M_{\text{Cu}}} = \frac{70,0}{56} = 1,25 \text{ моль;}$$

$$n_{\text{O}} = \frac{m_{\text{O}}}{M_{\text{O}}} = \frac{30,0}{16} = 1,875 \text{ моль.}$$

1.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Fe}} : n_{\text{O}} = 1,25 : 1,875 = 1 : 1,5 = 2 : 3$$

1.1.4. Формула бурого железняка: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

1 балл

1.2. Тальк – моногидрат силиката магния с массовой долей оксида магния 31,7 %, оксида кремния 63,5 %

1.2.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_{\text{MgO}} = 31,7 \text{ г;}$$

$$m_{\text{SiO}_2} = 63,5 \text{ г;}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 100 - m_{\text{MgO}} - m_{\text{SiO}_2} = 100 - 31,7 - 63,5 = 4,8 \text{ г.}$$

1.2.2. Количество вещества

$$n_{\text{MgO}} = \frac{m_{\text{MgO}}}{M_{\text{MgO}}} = \frac{31,7}{40} = 0,8 \text{ моль,}$$

$$M_{\text{MgO}} = M_{\text{Mg}} + M_{\text{O}} = 24 + 16 = 40 \text{ г/моль;}$$

$$n_{\text{SiO}_2} = \frac{m_{\text{SiO}_2}}{M_{\text{SiO}_2}} = \frac{63,5}{60} = 1,06 \text{ моль,}$$

$$M_{\text{SiO}_2} = M_{\text{Si}} + 2 \cdot M_{\text{O}} = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль;}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{4,8}{18} = 0,27 \text{ моль,}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot M_{\text{H}} + M_{\text{O}} = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ г/моль.}$$

1.2.3. Соотношение количества вещества

$$n_{\text{MgO}} : n_{\text{SiO}_2} : n_{\text{H}_2\text{O}} = 0,8 : 1,06 : 0,27 = 3 : 4 : 1$$



1.2.4. Формула талька: $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$.

1 балл

1.3. Каолинит – двухводный силикат алюминия с массовой долей оксида алюминия 40 %, оксида кремния 46 %

1.3.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_{Al_2O_3} = 40 \text{ г};$$

$$m_{SiO_2} = 46 \text{ г};$$

$$m_{H_2O} = 100 - m_{Al_2O_3} - m_{SiO_2} = 100 - 40 - 46 = 14 \text{ г}.$$

1.3.2. Количество вещества

$$n_{Al_2O_3} = \frac{m_{Al_2O_3}}{M_{Al_2O_3}} = \frac{40}{102} = 0,39 \text{ моль},$$

$$M_{Al_2O_3} = 2 \cdot M_{Al} + 3 \cdot M_O = 2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 = 102 \text{ г/моль};$$

$$n_{SiO_2} = \frac{m_{SiO_2}}{M_{SiO_2}} = \frac{46}{60} = 0,77 \text{ моль},$$

$$M_{SiO_2} = M_{Si} + 2 \cdot M_O = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль};$$

$$n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} = \frac{14}{18} = 0,78 \text{ моль},$$

$$M_{H_2O} = 2 \cdot M_H + M_O = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ г/моль}.$$

1.3.3. Соотношение количества вещества

$$n_{Al_2O_3} : n_{SiO_2} : n_{H_2O} = 0,39 : 0,77 : 0,78 = 1 : 2 : 2$$

1.3.4. Формула каолинита: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

1 балл

2. Расчёт массы веществ – компонентов руды

m_i , составляющих массу руды выполняют по формуле

$$m_i = \frac{\omega_i}{100} \times m_{\text{руд.}}$$

где ω_i – массовая доля вещества в руде, %; $m_{\text{руд.}}$ – масса руды, т.

$$2.1. m_{Fe_2O_3 \cdot H_2O} = \frac{\omega_{Fe_2O_3 \cdot H_2O}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{33,08}{100} \cdot 100 = 33,08 \text{ т};$$

$$2.2. m_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O} = \frac{\omega_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{35,91}{100} \cdot 100 = 35,91 \text{ т};$$

$$2.3. m_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} = \frac{\omega_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{13,71}{100} \cdot 100 = 13,71 \text{ т};$$

$$2.4. m_{NiO} = \frac{\omega_{NiO}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{2,55}{100} \cdot 100 = 2,55 \text{ т};$$

$$2.5. m_{H_2O} = \frac{\omega_{H_2O}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{1,80}{100} \cdot 100 = 1,80 \text{ т};$$

$$2.6. m_{SiO_2\text{-кварц}} = m_{\text{руд.}} - m_{Fe_2O_3 \cdot H_2O} - m_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O} - m_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} - m_{NiO} - m_{H_2O} = 100 - 33,08 - 35,91 - 13,71 - 2,55 - 1,80 = 7,95 \text{ т}.$$

1 балл

3. Расчёт количества вещества компонентов руды

n_i , выполняют по формуле



$$n_i = \frac{m_i}{M_i},$$

где m_i – масса компонента руды, г; M_i – молярная масса компонента руды, г/моль.

$$3.1. n_{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}} = \frac{33,08 \cdot 10^6}{178} = 0,214 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,214 \text{ Ммоль};$$

$$M_{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} = M_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + M_{\text{H}_2\text{O}} = 160 + 18 = 178 \text{ г/моль}.$$

$$3.2. n_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}}{M_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}} = \frac{35,91 \cdot 10^6}{378} = 0,095 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,095 \text{ Ммоль};$$

$$M_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 3 \cdot M_{\text{MgO}} + 4 \cdot M_{\text{SiO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} = 3 \cdot 40 + 4 \cdot 60 + 18 = 378 \text{ г/моль}.$$

1 балл

$$3.3. n_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}} = \frac{13,71 \cdot 10^6}{258} = 0,053 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,053 \text{ Ммоль};$$

$$M_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = M_{\text{Al}_2\text{O}_3} + 2 \cdot M_{\text{SiO}_2} + 2 \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} = 102 + 2 \cdot 60 + 2 \cdot 18 = 258 \text{ г/моль}.$$

$$3.4. n_{\text{NiO}} = \frac{m_{\text{NiO}}}{M_{\text{NiO}}} = \frac{2,55 \cdot 10^6}{75} = 0,034 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,034 \text{ Ммоль};$$

$$M_{\text{NiO}} = M_{\text{Ni}} + M_{\text{O}} = 59 + 16 = 75 \text{ г/моль}.$$

$$3.5. n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{1,8 \cdot 10^6}{18} = 0,1 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,1 \text{ Ммоль};$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot M_{\text{H}} + M_{\text{O}} = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ г/моль}.$$

$$3.6. n_{\text{SiO}_2\text{-кварц}} = \frac{m_{\text{SiO}_2\text{-кварц}}}{M_{\text{SiO}_2}} = \frac{7,95 \cdot 10^6}{60} = 0,13 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,13 \text{ Ммоль}.$$

$$M_{\text{SiO}_2} = M_{\text{Si}} + 2 \cdot M_{\text{O}} = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль}.$$

1 балл

4. Расчёт состава шихты в пересчёте на элементы и оксиды элементов

4.1. Расчёт массы шихты

4.1.1. Масса гипса рассчитывается с учетом его массовой доли от массы руды 30 % и массы руды 100 т.

$$m_{\text{гипс}} = \frac{\omega_{\text{гипс}}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{30}{100} \cdot 100 = 30 \text{ т}.$$

4.1.2. Масса кокса рассчитывается с учетом его массовой доли от массы руды 8 % и массы руды 100 т.

$$m_{\text{кокс}} = \frac{\omega_{\text{кокс}}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{8}{100} \cdot 100 = 8 \text{ т}.$$

4.1.3. Масса шихты рассчитывается как масса руды, гипса (п. 4.1.1.) и кокса (п. 4.1.2.).

$$m_{\text{ших.}} = m_{\text{руд.}} + m_{\text{гипс}} + m_{\text{кокс}} = 100 + 30 + 8 = 138 \text{ т}.$$

1 балл

4.2. Расчёт никеля

4.2.1. Расчет массовой доли оксида никеля с учетом п. 2.4. и 4.1.3.

$$\omega_{\text{NiO}} = \frac{m_{\text{NiO}}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{2,55}{138} \cdot 100 = 1,85 \%$$

4.2.2. Расчет никеля



4.2.2.1. Количество вещества никеля в шихте с учетом п. 3.4.

$$n_{\text{Ni}} = n_{\text{NiO}} = 0,034 \text{ Ммоль};$$

4.2.2.2. Масса никеля

$$m_{\text{Ni}} = n_{\text{Ni}} \cdot M_{\text{Ni}} = 0,034 \cdot 10^6 \cdot 59 = 2,01 \cdot 10^6 \text{ г} = 2,01 \text{ т.}$$

4.2.2.3. Массовая доля никеля с учетом п. 4.1.3.

$$\omega_{\text{Ni}} = \frac{m_{\text{Ni}}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{2,01}{138} \cdot 100 = 1,46 \%$$

1 балл

4.3. Расчёт железа

4.3.1. Расчет оксида железа

4.3.1.1. Количество вещества оксида железа с учетом п. 3.1.

$$n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = n_{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 0,214 \text{ Ммоль.}$$

4.3.1.2. Масса оксида железа

$$m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} \cdot M_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 0,214 \cdot 10^6 \cdot 160 = 34,24 \cdot 10^6 \text{ г} = 34,24 \text{ т};$$

$$M_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 2 \cdot M_{\text{Fe}} + 3 \cdot M_{\text{O}} = 2 \cdot 56 + 3 \cdot 16 = 160 \text{ г/моль.}$$

4.3.1.3. Массовая доля оксида железа с учетом п. 4.1.3.

$$\omega_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = \frac{m_{\text{Fe}_2\text{O}_3}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{34,24}{138} \cdot 100 = 24,82 \%$$

4.3.2. Расчет железа

4.3.2.1. Количество вещества железа с учетом п. 4.3.1.1.

$$n_{\text{Fe}} = 2 \cdot n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 2 \cdot 0,214 = 0,428 \text{ Ммоль.}$$

4.3.2.2. Масса железа

$$m_{\text{Fe}} = n_{\text{Fe}} \cdot M_{\text{Fe}} = 0,428 \cdot 10^6 \cdot 56 = 23,97 \cdot 10^6 \text{ г} = 23,97 \text{ т.}$$

4.3.2.3. Массовая доля железа с учетом п. 4.1.3.

$$\omega_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{23,97}{138} \cdot 100 = 17,37 \%$$

1 балл

4.4. Расчёт магния

4.4.1. Расчет оксида магния

4.4.1.1. Количество вещества оксида магния с учетом п. 3.2.

$$n_{\text{MgO}} = 3 \cdot n_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 3 \cdot 0,095 = 0,285 \text{ Ммоль.}$$

4.4.1.2. Масса оксида магния

$$m_{\text{MgO}} = n_{\text{MgO}} \cdot M_{\text{MgO}} = 0,285 \cdot 10^6 \cdot 40 = 11,40 \cdot 10^6 \text{ г} = 11,40 \text{ т};$$

$$M_{\text{MgO}} = M_{\text{Mg}} + M_{\text{O}} = 24 + 16 = 40 \text{ г/моль.}$$

4.4.1.3. Массовая доля оксида магния с учетом п. 4.1.3.

$$\omega_{\text{MgO}} = \frac{m_{\text{MgO}}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{11,40}{138} \cdot 100 = 8,26 \%$$

4.4.2. Расчет магния

4.4.2.1. Количество вещества магния с учетом п. 4.4.1.1.

$$n_{\text{Mg}} = n_{\text{MgO}} = 0,285 \text{ Ммоль.}$$

4.4.2.2. Масса магния

$$m_{\text{Mg}} = n_{\text{Mg}} \cdot M_{\text{Mg}} = 0,285 \cdot 10^6 \cdot 24 = 6,84 \cdot 10^6 \text{ г} = 6,84 \text{ т.}$$



4.4.2.3. Массовая доля магния с учетом п. 4.1.3.

$$\omega_{\text{Mg}} = \frac{m_{\text{Mg}}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{6,84}{138} \cdot 100 = 4,96 \%$$

1 балл

4.5. Расчёт алюминия

4.5.1. Расчет оксида алюминия

4.5.1.1. Количество вещества оксида алюминия с учетом п. 3.3.

$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3} = n_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 0,053 \text{ Ммоль.}$$

4.5.1.2. Масса оксида алюминия

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = n_{\text{Al}_2\text{O}_3} \cdot M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0,053 \cdot 10^6 \cdot 102 = 5,406 \cdot 10^6 \text{ г} = 5,406 \text{ т};$$

$$M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 2 \cdot M_{\text{Al}} + 3 \cdot M_{\text{O}} = 2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 = 102 \text{ г/моль.}$$

4.5.1.3. Массовая доля оксида алюминия с учетом п. 4.1.3.

$$\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{5,406}{138} \cdot 100 = 3,92 \%;$$

4.5.2. Расчет алюминия

4.5.2.1. Количество вещества алюминия с учетом п. 4.5.1.1.

$$n_{\text{Al}} = 2 \cdot n_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 2 \cdot 0,053 = 0,106 \text{ Ммоль.}$$

4.5.2.2. Масса алюминия

$$m_{\text{Al}} = n_{\text{Al}} \cdot M_{\text{Al}} = 0,106 \cdot 10^6 \cdot 27 = 2,862 \cdot 10^6 \text{ г} = 2,862 \text{ т.}$$

4.5.2.3. Массовая доля алюминия с учетом п. 4.1.3.

$$\omega_{\text{Al}} = \frac{m_{\text{Al}}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{2,862}{138} \cdot 100 = 2,07 \%$$

1 балл

4.6. Расчёт кремния

4.6.1. Расчет оксида кремния

4.6.1.1. Количество оксида кремния в шихте рассчитывается как сумма количеств оксида кремния в руде (п. 3.6.), талька (п.3.2.) и каолинита (п.3.3.).

$$\begin{aligned} n_{\text{SiO}_2}^{\Sigma} &= n_{\text{SiO}_2\text{-кварц}} + 4 \cdot n_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}} + 2 \cdot n_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = \\ &= 0,13 + 4 \cdot 0,095 + 2 \cdot 0,053 = 0,616 \text{ Ммоль.} \end{aligned}$$

4.6.1.2. Масса оксида кремния

$$m_{\text{SiO}_2}^{\Sigma} = n_{\text{SiO}_2}^{\Sigma} \cdot M_{\text{SiO}_2} = 0,616 \cdot 10^6 \cdot 60 = 36,96 \cdot 10^6 \text{ г} = 36,96 \text{ т};$$

$$M_{\text{SiO}_2} = M_{\text{Si}} + 2 \cdot M_{\text{O}} = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль.}$$

4.6.1.3. Массовая доля оксида кремния с учетом п. 4.1.3.

$$\omega_{\text{SiO}_2}^{\Sigma} = \frac{m_{\text{SiO}_2}^{\Sigma}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{36,96}{138} \cdot 100 = 26,78 \%$$

4.6.2. Расчет кремния

4.6.2.1. Количество вещества кремния с учетом п. 4.6.1.1.

$$n_{\text{Si}}^{\Sigma} = n_{\text{SiO}_2}^{\Sigma} = 0,616 \text{ Ммоль.}$$

4.6.2.2. Масса кремния

$$m_{\text{Si}}^{\Sigma} = n_{\text{Si}}^{\Sigma} \cdot M_{\text{Si}} = 0,616 \cdot 10^6 \cdot 28 = 17,248 \cdot 10^6 \text{ г} = 17,248 \text{ т.}$$

4.6.2.3. Массовая доля кремния с учетом п. 4.1.3.



$$\omega_{Si}^{\Sigma} = \frac{m_{Si}^{\Sigma}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{17,248}{138} \cdot 100 = 12,50 \%$$

1 балл

4.7. Расчёт гипса

4.7.1. Количество вещества гипса с учётом п. 4.1.1

$$n_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}} = \frac{30 \cdot 10^6}{172} = 0,17 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,17 \text{ Ммоль};$$

$$M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = M_{\text{Ca}} + M_{\text{S}} + 4 \cdot M_{\text{O}} + 2 \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} = 40 + 32 + 4 \cdot 16 + 2 \cdot 18 = 172 \text{ г/моль.}$$

4.7.2. Расчёт кальция

4.7.2.1. Расчет оксида кальция

4.7.2.1.1. Количество вещества оксида кальция с учетом п. 4.7.1.

$$n_{\text{CaO}} = n_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 0,17 \text{ Ммоль.}$$

4.7.2.1.2. Масса оксида кальция

$$m_{\text{CaO}} = n_{\text{CaO}} \cdot M_{\text{CaO}} = 0,17 \cdot 10^6 \cdot 56 = 9,52 \cdot 10^6 \text{ г} = 9,52 \text{ т,}$$

$$M_{\text{CaO}} = M_{\text{Ca}} + M_{\text{O}} = 40 + 16 = 56 \text{ г/моль.}$$

4.7.2.1.3. Массовая доля оксида кальция с учетом п. 4.1.3.

$$\omega_{\text{CaO}} = \frac{m_{\text{CaO}}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{9,52}{138} \cdot 100 = 6,90 \%$$

4.7.2.2. Расчет кальция

4.7.2.2.1. Количество вещества кальция с учетом п. 4.7.2.1.1.

$$n_{\text{Ca}} = n_{\text{CaO}} = 0,17 \text{ Ммоль.}$$

4.7.2.2.2. Масса кальция

$$m_{\text{Ca}} = n_{\text{Ca}} \cdot M_{\text{Ca}} = 0,17 \cdot 10^6 \cdot 40 = 6,8 \cdot 10^6 \text{ г} = 6,8 \text{ т.}$$

4.7.2.2.3. Массовая доля кальция с учетом п. 4.1.3.

$$\omega_{\text{Ca}} = \frac{m_{\text{Ca}}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{6,80}{138} \cdot 100 = 4,93 \%$$

1 балл

4.7.3. Расчёт серы

4.7.3.1. Расчет оксида серы

4.7.3.1.1. Количество вещества оксида серы с учетом п. 4.7.1.

$$n_{\text{SO}_3} = n_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 0,17 \text{ Ммоль.}$$

4.7.3.1.2. Масса оксида серы

$$m_{\text{SO}_3} = n_{\text{SO}_3} \cdot M_{\text{SO}_3} = 0,17 \cdot 10^6 \cdot 80 = 13,60 \cdot 10^6 \text{ г} = 13,60 \text{ т,}$$

$$M_{\text{SO}_3} = M_{\text{S}} + 3 \cdot M_{\text{O}} = 32 + 3 \cdot 16 = 80 \text{ г/моль.}$$

4.7.3.1.3. Массовая доля оксида серы с учетом п. 4.1.3.

$$\omega_{\text{SO}_3} = \frac{m_{\text{SO}_3}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{13,6}{138} \cdot 100 = 9,86 \%$$

4.7.3.2. Расчет серы

4.7.3.2.1. Количество вещества серы с учетом п. 4.7.3.1.1.

$$n_{\text{S}} = n_{\text{SO}_3} = 0,17 \text{ Ммоль.}$$

4.7.3.2.2. Масса серы

$$m_{\text{S}} = n_{\text{S}} \cdot M_{\text{S}} = 0,17 \cdot 10^6 \cdot 32 = 5,44 \cdot 10^6 \text{ г} = 5,44 \text{ т.}$$



4.7.3.2.3. Массовая доля серы с учетом п. 4.1.3.

$$\omega_S = \frac{m_S}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{5,44}{138} \cdot 100 = 3,94 \%$$

1 балл

4.8. Расчёт водорода

4.8.1. Расчет воды

4.8.1.1. Количество вещества воды рассчитывают как сумму количеств веществ бурого железняка (п. 3.1), талька (п. 3.2), каолинита (п. 3.3), гипса (п. 4.7.1), и воды в руде (п. 3.5).

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\Sigma} = n_{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} + n_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}} + 2 \cdot n_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} + 2 \cdot n_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{H}_2\text{O}} = \\ = 0,214 + 0,095 + 2 \cdot 0,053 + 2 \cdot 0,17 + 0,1 = 0,855 \text{ Ммоль.}$$

4.8.1.2. Масса воды

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\Sigma} = n_{\text{H}_2\text{O}}^{\Sigma} \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} = 0,855 \cdot 10^6 \cdot 18 = 15,39 \cdot 10^6 \text{ г} = 15,39 \text{ т}; \\ M_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot M_{\text{H}} + M_{\text{O}} = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ г/моль.}$$

4.8.1.3. Массовая доля воды с учетом п. 4.1.3.

$$\omega_{\text{H}_2\text{O}}^{\Sigma} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}^{\Sigma}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{15,39}{138} \cdot 100 = 11,15 \%$$

4.8.2. Расчет водорода

4.8.2.1. Количество вещества водорода с учетом п. 4.8.1.1.

$$n_{\text{H}}^{\Sigma} = 2 \cdot n_{\text{H}_2\text{O}}^{\Sigma} = 2 \cdot 0,855 = 1,71 \text{ Ммоль.}$$

4.8.2.2. Масса водорода

$$m_{\text{H}}^{\Sigma} = n_{\text{H}}^{\Sigma} \cdot M_{\text{H}} = 1,71 \cdot 10^6 \cdot 1 = 1,71 \cdot 10^6 \text{ г} = 1,71 \text{ т.}$$

4.8.2.3. Массовая доля водорода с учетом п. 4.1.3.

$$\omega_{\text{H}}^{\Sigma} = \frac{m_{\text{H}}^{\Sigma}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{1,71}{138} \cdot 100 = 1,24 \%$$

1 балл

4.9. Расчёт кислорода

4.9.1. Количество вещества кислорода рассчитывается как сумма количеств веществ оксидов никеля (п. 3.4.), железа (п. 4.3.1.1.), магния (п. 4.4.1.1.), алюминия (п. 4.5.1.1.), кремния (п. 4.6.1.1.), гипса (п. 4.7.1.) и воды (п. 4.8.1.1.).

$$n_{\text{O}}^{\Sigma} = n_{\text{NiO}} + 3 \cdot n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + n_{\text{MgO}} + 3 \cdot n_{\text{Al}_2\text{O}_3} + 2 \cdot n_{\text{SiO}_2} + 4 \cdot n_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{H}_2\text{O}}^{\Sigma} = \\ = 0,034 + 3 \cdot 0,214 + 0,285 + 3 \cdot 0,053 + 2 \cdot 0,616 + 4 \cdot 0,17 + 0,855 = 3,89 \text{ Ммоль.}$$

4.9.2. Масса кислорода

$$m_{\text{O}}^{\Sigma} = n_{\text{O}}^{\Sigma} \cdot M_{\text{O}} = 3,89 \cdot 10^6 \cdot 16 = 62,24 \cdot 10^6 \text{ г} = 62,24 \text{ т.}$$

4.9.3. Массовая доля кислорода с учетом п. 4.1.3.

$$\omega_{\text{O}}^{\Sigma} = \frac{m_{\text{O}}^{\Sigma}}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{62,24}{138} \cdot 100 = 45,10 \%$$

1 балл

4.10. Расчет углерода

4.10.1. Масса углерода в шихте равна массе кокса (п. 4.1.2.)

$$m_{\text{C}} = m_{\text{кокс}} = 8 \text{ т.}$$

4.10.2. Массовая доля углерода с учетом п. 4.1.3.



$$\omega_C = \frac{m_C}{m_{\text{ших.}}} \cdot 100 \% = \frac{8}{138} \cdot 100 = 5,80 \%$$

1 балл

4.11. Проверка справедливости расчётов п. 2 - 4.9 (не является обязательным и носит рекомендательный характер)

4.11.1. Элементный состав шихты

А) по массам элементов

$$m_{\text{ших.}} = m_{Ni} + m_{Fe} + m_{Mg} + m_{Al} + m_{Si}^{\Sigma} + m_{Ca} + m_S + m_H^{\Sigma} + m_O^{\Sigma} + m_C = \\ 2,01 + 23,97 + 6,84 + 2,86 + 17,25 + 6,80 + 5,44 + 1,71 + 62,24 + 8 = 137,12 \text{ т.}$$

Б) по массовым долям элементов

$$\omega_{\text{руд.}} = \omega_{Ni} + \omega_{Fe} + \omega_{Mg} + \omega_{Al} + \omega_{Si}^{\Sigma} + \omega_{Ca} + \omega_S + \omega_H^{\Sigma} + \omega_O^{\Sigma} + \omega_C = \\ = 1,46 + 17,37 + 4,96 + 2,07 + 12,50 + 4,93 + 3,94 + 1,24 + 45,10 + 5,80 = 99,37 \%$$

Небольшое расхождение допустимо и связано с точностью вычислений.

4.11.2. Вещественный (в пересчете на оксиды) состав шихты

А) по массам веществ

$$m_{\text{руд.}} = m_{NiO} + m_{Fe_2O_3} + m_{MgO} + m_{Al_2O_3} + m_{SiO_2}^{\Sigma} + m_{CaO} + m_{SO_3} + m_{H_2O}^{\Sigma} + m_C = \\ 2,55 + 34,24 + 11,40 + 5,41 + 36,96 + 9,52 + 13,60 + 15,39 + 8 = 137,07 \text{ т.}$$

Б) по массовым долям веществ

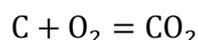
$$\omega_{\text{руд.}} = \omega_{NiO} + \omega_{Fe_2O_3} + \omega_{MgO} + \omega_{Al_2O_3} + \omega_{SiO_2}^{\Sigma} + \omega_{CaO} + \omega_{SO_3} + \omega_{H_2O}^{\Sigma} + \omega_C = \\ = 1,85 + 24,82 + 8,26 + 3,92 + 26,78 + 6,90 + 9,86 + 11,15 + 5,80 = 99,34 \%$$

Небольшое расхождение допустимо и связано с точностью вычислений.

5. Уравнения реакций

5.1. Реакции создания восстановительной атмосферы – образование CO

5.1.1. Сгорание углерода до углекислого газа

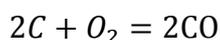


баланс электронов

$$\begin{array}{l} 1 \times | O_2^0 + 4\bar{e} = 2O^{-2} \\ 1 \times | C^0 - 4\bar{e} = C^{+4} \\ \hline O_2^0 + C^0 = 2O^{-2} + C^{+4} \end{array}$$

1 балл

5.1.2. Сгорание углерода до угарного газа



баланс электронов

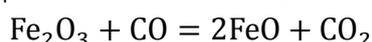
$$\begin{array}{l} 1 \times | O_2^0 + 4\bar{e} = 2O^{-2} \\ 2 \times | C^0 - 2\bar{e} = 2C^{+2} \\ \hline O_2^0 + 2C^0 = 2O^{-2} + 2C^{+2} \end{array}$$

1 балл

5.2. Реакции с угарным газом

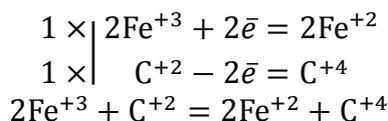
5.2.1. Восстановление бурого железняка

Угарным газом восстанавливают бурый железняк до двухвалентного железа; восстановления никеля и железа до металла на этом этапе не допускают.





баланс электронов

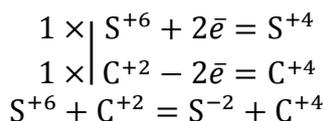


1 балл

5.2.2. Восстановление сульфата кальция



баланс электронов

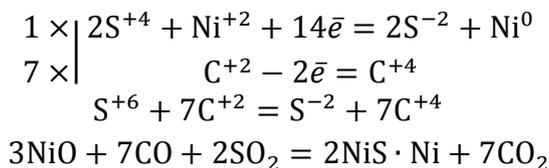


1 балл

5.2.3. Сульфидизация оксида никеля



баланс электронов

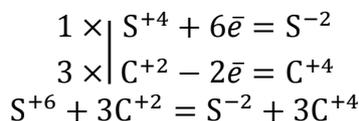


1 балл

5.2.4. Сульфидизация оксида железа



баланс электронов



1 балл

5.4. Разложение известняка



1 балл

6. Расчёт самоплавкого шлака

Шлак содержит элементы в оксидной форме; содержание железа и никеля определяется степенью извлечения в штейн: извлечение никеля в штейн 85 %, извлечение железа в штейн 19 %.

6.1. Расчёт никеля

6.1.1. Количество вещества и масса никеля с учётом п. 4.2.2.1. и степени извлечения в штейн $E_{Ni}^{шт.} = 85\%$

$$\begin{aligned} n_{Ni}^{шл.} &= \frac{(100 - E_{Ni}^{шт.})}{100} \cdot n_{Ni} = \frac{(100 - 85)}{100} \cdot 0,034 = 5,1 \text{ кмоль}; \\ m_{Ni}^{шл.} &= n_{Ni}^{шл.} \cdot M_{Ni} = 5,1 \cdot 10^3 \cdot 59 = 0,30 \cdot 10^6 \text{ г} = 0,30 \text{ т}. \end{aligned}$$

6.1.2. Количество вещества и масса оксида никеля с учетом п. 6.1.1.

$$n_{NiO}^{шл.} = n_{Ni}^{шл.} = 5,1 \text{ кмоль};$$



$$m_{NiO}^{шл.} = n_{NiO}^{шл.} \cdot M_{NiO} = 5,1 \cdot 10^3 \cdot 75 = 0,383 \cdot 10^6 \text{ г} = 0,383 \text{ т.}$$
$$M_{NiO} = M_{Ni} + M_{O} = 59 + 16 = 75 \text{ г/моль.}$$

1 балл

6.2. Расчёт железа

6.2.1. Количество вещества и масса железа с учётом п. 4.3.2.1. и степени извлечения в штейн $E_{Fe}^{шт.} = 19\%$

$$n_{Fe}^{шл.} = \frac{(100 - E_{Fe}^{шт.})}{100} \cdot n_{Fe} = \frac{(100 - 19)}{100} \cdot 0,428 = 0,347 \text{ Ммоль;}$$
$$m_{Fe}^{шл.} = n_{Fe}^{шл.} \cdot M_{Fe} = 0,347 \cdot 10^6 \cdot 56 = 19,432 \cdot 10^6 \text{ г} = 19,432 \text{ т.}$$

6.2.2. Формула оксида железа

6.2.2.1 Количество вещества кислорода на сумму оксидов железа и никеля с учетом того, что масса кислорода в этих двух оксидах составляет 5,633 т.

$$n_{O}^{Fe-Ni} = \frac{m_{O}^{Fe-Ni}}{M_{O}} = \frac{5,633 \cdot 10^6}{16} = 0,352 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,352 \text{ Ммоль.}$$

6.2.2.2 Количество вещества кислорода в оксиде железа с учетом п. 6.1.2.

$$n_{O}^{Fe} = n_{O}^{Fe-Ni} - n_{O}^{Ni} = n_{O}^{Fe-Ni} - n_{NiO}^{шл.} = 0,352 - 0,005 = 0,347 \text{ Ммоль}$$

6.2.2.3 Соотношение количества вещества кислорода и железа

$$n_{Fe}^{шл.} : n_{O}^{Fe} = 0,347 : 0,347 = 1 : 1$$

6.2.2.4 Формула оксида железа: FeO .

6.2.3. Количество вещества и масса оксида железа с учетом п. 6.2.1.

$$n_{FeO}^{шл.} = n_{Fe}^{шл.} = 0,347 \text{ Ммоль;}$$
$$m_{FeO}^{шл.} = n_{FeO}^{шл.} \cdot M_{FeO} = 0,347 \cdot 10^6 \cdot 72 = 24,984 \cdot 10^6 \text{ г} = 24,984 \text{ т.}$$
$$M_{FeO} = M_{Fe} + M_{O} = 56 + 16 = 72 \text{ г/моль.}$$

1 балл

6.3. Остальные компоненты шихты

- оксиды магния, алюминия, кальция, кремния переходят в состав шлака без изменения массы (количества вещества), тогда с учетом п. 4.4.1.2., 4.5.1.2., 4.7.2.1.2. и 4.6.1.2.

$$m_{MgO} = 11,40 \text{ т;}$$

$$m_{Al_2O_3} = 5,406 \text{ т;}$$

$$m_{CaO} = 9,52 \text{ т;}$$

$$m_{SiO_2}^{\Sigma} = 36,96 \text{ т;}$$

6.4. Масса шлака

Рассчитывается как сумма масс оксидов никеля (п. 6.1.2.), железа (п. 6.2.3.), магния (п. 4.4.1.2.), алюминия (п. 4.5.1.2.), кальция (п. 4.7.2.1.2.) и кремния (п. 4.6.1.2.) в шлаке

$$m_{шл.} = m_{NiO}^{шл.} + m_{FeO}^{шл.} + m_{MgO} + m_{Al_2O_3} + m_{CaO} + m_{SiO_2}^{\Sigma} =$$
$$0,383 + 24,984 + 11,40 + 5,406 + 9,52 + 36,96 = 88,653 \text{ т.}$$

6.5. Состав шлака

$$\omega_{NiO}^{шл.} = \frac{m_{NiO}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100\% = \frac{0,383}{88,653} \cdot 100 = 0,43\%;$$
$$\omega_{FeO}^{шл.} = \frac{m_{FeO}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100\% = \frac{24,984}{88,653} \cdot 100 = 28,18\%;$$



$$\omega_{MgO}^{шл.} = \frac{m_{MgO}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100 \% = \frac{11,40}{88,653} \cdot 100 = 12,86 \%;$$
$$\omega_{Al_2O_3}^{шл.} = \frac{m_{Al_2O_3}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100 \% = \frac{5,406}{88,653} \cdot 100 = 6,10 \%;$$
$$\omega_{CaO}^{шл.} = \frac{m_{CaO}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100 \% = \frac{9,52}{88,653} \cdot 100 = 10,74 \%;$$
$$\omega_{SiO_2}^{шл.} = \frac{m_{SiO_2}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100 \% = \frac{36,96}{88,653} \cdot 100 = 41,69 \%$$

Состав шлака не соответствует техническим условиям, предусматривающим массовую долю оксида кремния в составе шлака 46 % и оксида кальция 18 %.

1 балл

7. Расчёт флюсовой добавки

7.1. Масса шлака с составом по ТУ:

$$m_{шл.ТУ} = m_{шл.} + m_{SiO_2}^{\Phi} + m_{CaO}^{\Phi} \quad (1)$$

7.2. Масса оксида кремния в шлаке по ТУ:

$$m_{SiO_2}^{шл.ТУ} = \omega_{SiO_2}^{ТУ} \cdot m_{шл.ТУ} = m_{SiO_2}^{шл.} + m_{SiO_2}^{\Phi} \quad (2)$$

7.3. Масса оксида кальция в шлаке по ТУ:

$$m_{CaO}^{шл.ТУ} = \omega_{CaO}^{ТУ} \cdot m_{шл.ТУ} = m_{CaO}^{шл.} + m_{CaO}^{\Phi} \quad (3)$$

Неизвестными величинами являются $m_{SiO_2}^{\Phi}$ – флюсовая добавка кварца и m_{CaO}^{Φ} , на основании которой можно вычислить массу известняка, в котором $\omega_{CaO} = 56 \%$.

7.4. Подставляя в систему уравнений (1) - (3) известные величины $m_{шл.}$ (п. 6.4.); $\omega_{SiO_2}^{ТУ} = 0,46$; $\omega_{CaO}^{ТУ} = 0,18$; $m_{SiO_2}^{шл.}$ (п. 4.6.1.2.) и $m_{CaO}^{шл.}$ (п. 4.7.2.1.2.) получаем

$$m_{шл.ТУ} = 88,65 + m_{SiO_2}^{\Phi} + m_{CaO}^{\Phi}$$

$$0,46 \cdot m_{шл.ТУ} = 36,96 + m_{SiO_2}^{\Phi}$$

$$0,18 \cdot m_{шл.ТУ} = 9,52 + m_{CaO}^{\Phi}$$

Отсюда

$$m_{SiO_2}^{\Phi} = 0,46 \cdot m_{шл.ТУ} - 36,96$$

$$m_{CaO}^{\Phi} = 0,18 \cdot m_{шл.ТУ} - 9,52$$

Тогда

$$m_{шл.ТУ} = 88,65 + 0,46 \cdot m_{шл.ТУ} - 36,96 + 0,18 \cdot m_{шл.ТУ} - 9,52$$

Получаем

$$0,36 \cdot m_{шл.ТУ} = 42,17$$

$$m_{шл.ТУ} = 117,14 \text{ т.}$$

1 балл

7.5. Масса флюсовой добавки кварца

$$m_{SiO_2}^{\Phi} = 0,46 \cdot m_{шл.ТУ} - 36,96$$

$$m_{SiO_2}^{\Phi} = 16,92 \text{ т.}$$

7.6. Масса флюсовой добавки известняка с учетом массовой доли окиси кальция в нем 56 %

$$m_{CaO}^{\Phi} = 0,18 \cdot m_{шл.ТУ} - 9,52$$

$$m_{CaO}^{\Phi} = 11,57 \text{ т.}$$



$$m_{\text{CaCO}_3} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\Phi}}{\omega_{\text{CaO}}} \cdot 100 = \frac{11,57}{0,56} = 20,66 \text{ т.}$$

1 балл

7.7. Новый состав шлака рассчитывают с учетом масс флюсовых добавок $m_{\text{SiO}_2}^{\Phi}$ (п. 7.5) и m_{CaO}^{Φ} (п. 7.6), а также масс оксида никеля (п. 6.1.2.), оксида железа (п. 6.2.3), оксида магния (п. 4.4.1.2.), оксида алюминия (п. 4.5.1.2.), оксида кальция (4.7.2.1.2.) и оксида кремния (п. 4.6.1.2.) в шлаке. Масса шлака рассчитана в п. 7.4.

$$\omega_{\text{NiO}}^{\text{шл.ту}} = \frac{m_{\text{NiO}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{0,383}{117,15} \cdot 100 = 0,33 \%;$$

$$\omega_{\text{FeO}}^{\text{шл.ту}} = \frac{m_{\text{FeO}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{24,984}{117,15} \cdot 100 = 21,33 \%;$$

$$\omega_{\text{MgO}}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{MgO}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{11,40}{117,15} \cdot 100 = 9,73 \%;$$

$$\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{5,406}{117,15} \cdot 100 = 4,61 \%;$$

$$\omega_{\text{CaO}}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\text{шл.ту}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{21,09}{117,15} \cdot 100 = 18,0 \%;$$

$$m_{\text{CaO}}^{\text{шл.ту}} = m_{\text{CaO}}^{\text{шл.}} + m_{\text{CaO}}^{\Phi} = 9,52 + 11,57 = 21,09 \text{ т.}$$

$$\omega_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{53,89}{117,15} \cdot 100 = 46,0 \%.$$

$$m_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.ту}} = m_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.}} + m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} = 36,96 + 16,93 = 53,89 \text{ т.}$$

1 балл

Всего: 30 баллов

Ответ

1) Элементный и вещественный (в пересчёте на оксиды) состав шихты

элемент	$\omega, \%$	$m, \text{т}$	вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
Ni	1,46	2,01	NiO	2,55	1,85
Fe	17,37	23,97	Fe_2O_3	34,24	24,82
Mg	4,96	6,84	MgO	11,40	8,26
Al	2,07	2,86	Al_2O_3	5,41	3,92
Si	12,50	17,25	SiO ₂	36,96	26,78
Ca	4,93	6,80	CaO	9,52	6,90
S	3,94	5,44	SO ₃	13,60	9,86
H	1,24	1,71	H ₂ O	15,39	11,15
O	45,10	62,24			
C	5,8	8	C	8	5,8
Итого:	99,37	137,12	Итого:	137,07	99,34

2) Вещественный состав самоплавкого шлака

вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
NiO	0,38	0,43



FeO	24,98	28,18
MgO	11,40	12,86
Al ₂ O ₃	5,41	6,10
CaO	9,52	10,74
SiO ₂	36,96	41,69
Итого:	88,65	100

3) Массы флюсовых добавок и уточненный вещественный состав шлака

$$m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} = 16,92 \text{ т.}$$

$$m_{\text{CaCO}_3} = 20,66 \text{ т.}$$

вещество	<i>m</i> , т	ω , %
NiO	0,38	0,33
FeO	24,98	21,33
MgO	11,40	9,73
Al ₂ O ₃	5,41	4,61
CaO	21,09	18,00
SiO ₂	53,89	46,00
Итого:	117,15	100

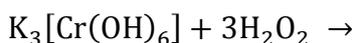


ХИМИЯ

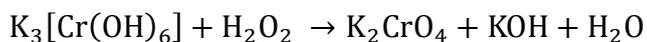
ВАРИАНТ 4

Задание 1 (5 баллов)

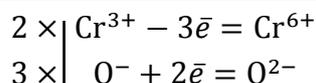
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнять, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, в сокращенной ионно-молекулярной форме:



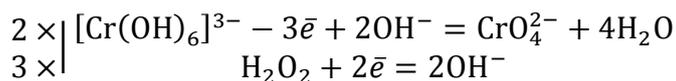
Решение



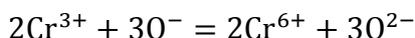
1 балл



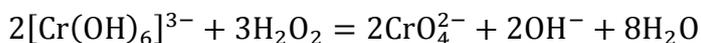
или



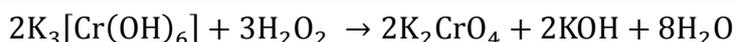
2 балла



или



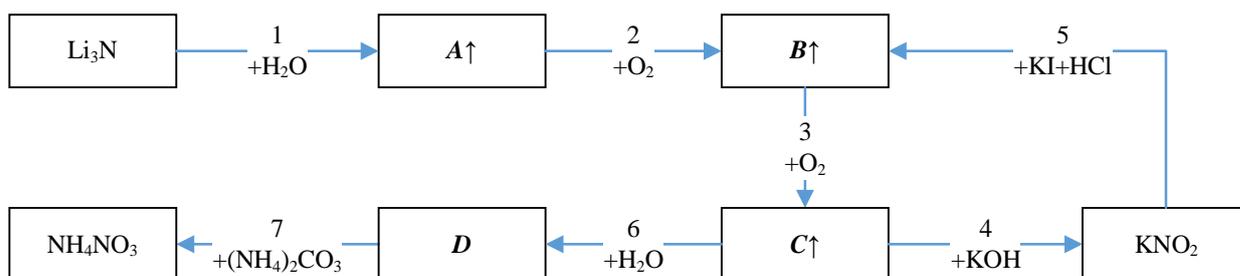
1 балл



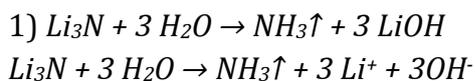
1 балл

Задание 2 (10 баллов)

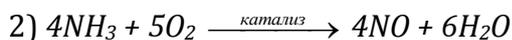
Определите формулы веществ *A*, *B*, *C*, *D*. Напишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакции, с помощью которых можно осуществить следующие превращения. Вещества в цепочке могут находиться как в твердом состоянии, так и в растворе. Окислительно-восстановительные реакции должны сопровождаться методом полуреакций или методом электронного баланса:



Решение:



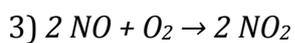
1 балл



$$\begin{array}{l} N^{-3} - 5\bar{e} = N^{+2} \\ O_2^0 + 4\bar{e} = 2O^{-2} \end{array} \left| \begin{array}{l} 4 \\ 5 \end{array} \right.$$

$$4N^{-3} + 5O_2^0 = 4N^{+2} + 10O^{-2}$$

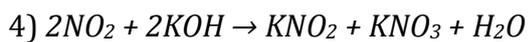
2 балла



$$\begin{array}{l} N^{+2} - 2\bar{e} = N^{+4} \\ O_2^0 + 4\bar{e} = 2O^{-2} \end{array} \left| \begin{array}{l} 2 \\ 1 \end{array} \right.$$

$$2N^{+2} + O_2^0 = 2N^{+4} + 2O^{-2}$$

1 балл

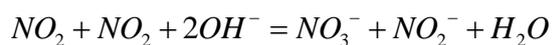


$$\begin{array}{l} N^{+4} + \bar{e} = N^{+3} \\ N^{+4} - \bar{e} = N^{+5} \end{array} \left| \begin{array}{l} 1 \\ 1 \end{array} \right.$$

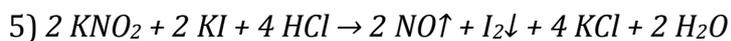
$$N^{+4} + N^{+4} = N^{+3} + N^{+5}$$

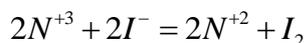
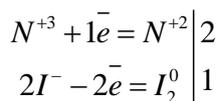
или

$$\begin{array}{l} NO_2 + 2OH^- - \bar{e} = NO_3^- + H_2O \\ NO_2 + \bar{e} = NO_2^- \end{array} \left| \begin{array}{l} 1 \\ 1 \end{array} \right.$$

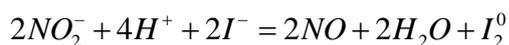
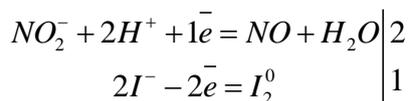


1 балл

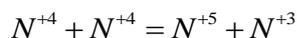
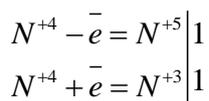
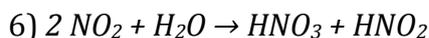




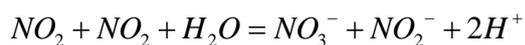
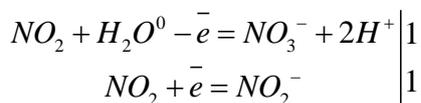
или



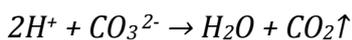
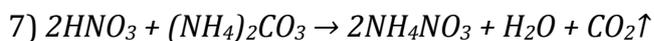
2 балла



или



2 балла



1 балл

Ответ: **A** – NH₃; **B** – NO; **C** – NO₂; **D** – HNO₃.

Задание 3 (15 баллов)

Гидроксид натрия массой 1,6 г реагирует с полигалогенпроизводным углеводорода массой 2,67 г с образованием моногалогенпроизводного углеводорода с тем же числом

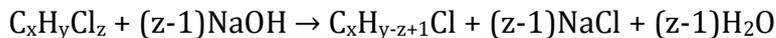


атомов углерода и содержащий 58,68% хлора (по массе). Определить структурные формулы и дать названия исходного и полученного веществ.

Решение:

1. Молекулярная формула полигалогенпроизводного углеводорода: $C_xH_yCl_z$.

Реакция с гидроксидом натрия:



Молярная масса полигалогенпроизводного углеводорода:

$$M_{C_xH_yCl_z} = Ar(C) \cdot x + Ar(H) \cdot y + Ar(Cl) \cdot z = 12 \cdot x + y + 35,5 \cdot z, \text{ г/моль}$$

По реакции количество молей полигалогенпроизводного углеводорода:

$$n_{C_xH_yCl_z} = \frac{m_{C_xH_yCl_z}}{M_{C_xH_yCl_z}} = \frac{2,67}{12 \cdot x + y + 35,5 \cdot z}$$

4 балла

2. По реакции количество молей гидроксида натрия:

$$n_{NaOH} = \frac{m_{NaOH}}{M_{NaOH}} = \frac{1,6}{40} = 0,04, \text{ моль}$$

$$n_{NaOH} = (z-1)n_{C_xH_yCl_z} = \frac{2,67 \cdot (z-1)}{12 \cdot x + y + 35,5 \cdot z} = 0,04, \text{ моль}$$

или

$$12 \cdot x + y = 31,25 \cdot z - 66,75$$

3 балла

3. Содержание хлора в моногалогенпроизводного углеводорода:

$$\omega_{C_xH_{y-z+1}Cl} = \frac{M_{Cl}}{M_{C_xH_{y-z+1}Cl}} \cdot 100\% = \frac{35,5}{12 \cdot x + y - z + 1 + 35,5} \cdot 100 = 58,68$$

или

$$12 \cdot x + y = 24 + z$$

Из системы двух уравнений определяем число z :

$$\begin{cases} 12 \cdot x + y = 31,25 \cdot z - 66,75 \\ 12 \cdot x + y = 24 + z \\ z = 3 \end{cases}$$

Решение уравнения:

$$12 \cdot x + y = 24 + z$$

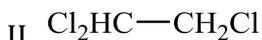
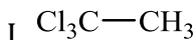
$$12 \cdot x + y = 27$$

Уравнение имеет одно решение, соответствующее возможной формуле химического соединения: $x=2$; $y=3$.

5 баллов

4. Молекулярная формула полигалогенпроизводного углеводорода: $C_2H_3Cl_3$.

Структурные формулы полигалогенпроизводного углеводорода:



Молекулярная формула моногалогенпроизводного углеводорода: C_2HCl .

Структурная формула моногалогенпроизводного углеводорода:



НС≡ССl

3 балла

Задание 4 (20 баллов)

Лаборант взял две одинаковые навески неизвестного металла. Первую поместил в стакан с 160,93 мл 20 % соляной кислоты ($\rho = 1,134$ г/мл), в результате чего металл полностью растворился, образовав 31,84 % раствор своего сульфата. Вторую навеску лаборант полностью растворил в 440 г раствора гидроксида натрия, с образованием соответствующей комплексной соли. Реакции металла с серной кислотой и гидроксидом натрия считать стехиометрическими. Напишите уравнения протекающих реакций. Определите массовую долю образовавшегося в результате реакции со щелочью вещества. Назовите искомый металл и образовавшейся в результате реакции со щелочью продукт.

Решение:

Определим массу исходного раствора соляной кислоты:

$$m_{(\text{раствор HCl})} = \rho \cdot V = 1,134 \text{ г/мл} \cdot 160,93 \text{ мл} = 182,5 \text{ г}$$

Определим массу и количество соляной кислоты в исходном растворе:

$$m_{(\text{HCl})} = \frac{m_{(\text{раствор HCl})} \cdot \omega}{100 \%} = \frac{182,5 \text{ г} \cdot 20 \%}{100 \%} = 36,5 \text{ г}$$

$$n_{(\text{HCl})} = \frac{m_{(\text{HCl})}}{M_{(\text{HCl})}} = \frac{36,5 \text{ г}}{36,5 \text{ г/моль}} = 1,0 \text{ моль}$$

При стехиометрической реакции металла с таким количеством соляной кислоты из раствора выделится водород массой:

$$m_{(\text{H}_2)} = \frac{m_{(\text{HCl})} \cdot M_{(\text{H}_2)}}{2 \cdot M_{(\text{HCl})}} = \frac{36,5 \text{ г} \cdot 2 \text{ г/моль}}{2 \cdot 36,5 \text{ г/моль}} = 1,0 \text{ г}$$

5 баллов

Примем массу металла вступившего в реакцию с кислотой за x . Тогда масса раствора после реакции с металлом:

$$m_{(\text{раствор HCl после реакции с Me})} = m_{(\text{раствор HCl})} + m_{(\text{Me})} - m_{(\text{H}_2)} = (182,5 + x - 1) \text{ г}$$

Тогда масса хлорида в растворе:

$$m_{(\text{хлорид})} = m_{(\text{HCl})} + m_{(\text{Me})} - m_{(\text{H}_2)} = (36,5 + x - 1) \text{ г}$$

Из известной массовой доли хлорида металла в полученном растворе найдем массу металла:

$$\omega_{(\text{хлорид в растворе})} = \frac{m_{(\text{хлорид})}}{m_{(\text{раствор HCl после реакции с Me})}} \cdot 100 \%$$

или

$$31,84\% = \frac{35,5 + x}{181,5 + x} \cdot 100 \%$$

Таким образом, масса металла составит:

$$m_{(\text{Me})} = x = 32,7 \text{ г}$$



Если металл одновалентный, он реагирует с соляной кислотой по реакции (1):



Тогда молярная масса металла с учетом стехиометрии реакции составит:

$$\frac{m_{(Me)}}{M_{(Me)}} = 2 \cdot \frac{m_{(H_2)}}{M_{(H_2)}}$$

или

$$M_{(Me)} = \frac{m_{(Me)} \cdot M_{(H_2)}}{2 \cdot m_{(H_2)}} = \frac{32,7 \cdot 2}{2 \cdot 1} = 32,7 \text{ г / моль}$$

Если металл двухвалентный, он реагирует с соляной кислотой по реакции (2):



Тогда молярная масса металла с учетом стехиометрии реакции составит:

$$\frac{m_{(Me)}}{M_{(Me)}} = \frac{m_{(H_2)}}{M_{(H_2)}}$$

или

$$M_{(Me)} = \frac{m_{(Me)}}{m_{(H_2)} / M_{(H_2)}} = \frac{32,7}{1/2} = 65,4 \text{ г / моль}$$

Если металл трехвалентный, он реагирует с соляной кислотой по реакции (3):



Тогда молярная масса металла с учетом стехиометрии реакции составит:

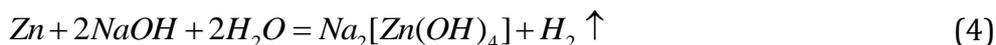
$$3 \cdot \frac{m_{(Me)}}{M_{(Me)}} = 2 \cdot \frac{m_{(H_2)}}{M_{(H_2)}}$$

или

$$M_{(Me)} = \frac{3}{2} \cdot \frac{m_{(Me)} \cdot M_{(H_2)}}{m_{(H_2)}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{65,4 \cdot 2}{1} = 98,1 \text{ г / моль}$$

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, о том, что искомый металл – цинк, так как металла с молярной массой 32,7 и 98,1 не существует.

Цинк реагирует со щелочью по реакции (4):



В соответствии со стехиометрией реакции (4) образуется тетрагидроксоцинкат натрия массой:

$$m_{(Na_2[Zn(OH)_4])} = \frac{m_{(Me)} \cdot M_{Na_2[Zn(OH)_4]}}{M_{Me}} = \frac{32,7 \text{ г} \cdot 179,4 \text{ г/моль}}{65,4 \text{ г/моль}} = 89,7 \text{ г}$$

В соответствии со стехиометрией реакции (4) из раствора выделяется водород массой:



$$m_{(H_2)} = \frac{m_{(Me)} \cdot M_{H_2}}{M_{Me}} = \frac{32,7 \text{ г} \cdot 2 \text{ г/моль}}{65,4 \text{ г/моль}} = 1 \text{ г}$$

Тогда масса раствора после реакции цинка со щелочью:

$$m_{(\text{раствор } 2)} = m_{(\text{раствор NaOH})} + m_{(Me)} - m_{(H_2)} = (440 + 32,7 - 1) = 471,7 \text{ г}$$

Следовательно, массовая доля тетрагидроксоцинката натрия в растворе:

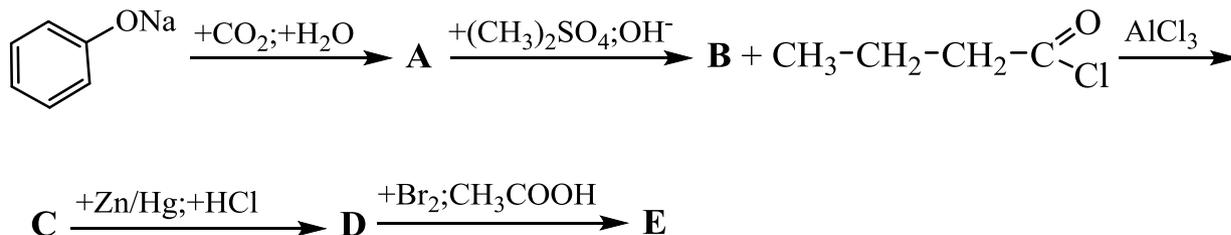
$$\omega_{(Na_2[Zn(OH)_4] \text{ в растворе})} = \frac{m_{(Na_2[Zn(OH)_4])}}{m_{(\text{раствор } 2)}} \cdot 100 \% = \frac{89,7}{471,7} \cdot 100 \% = 19,02 \%$$

_____ 5 баллов

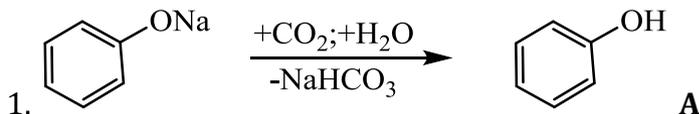
Ответ: искомый металл – цинк (Zn), продукт реакции со щелочью – тетрагидроксоцинкат натрия ($Na_2[Zn(OH)_4]$), процентное содержание тетрагидроксоцинката натрия в итоговом растворе – $\omega_{(Na_2[Zn(OH)_4] \text{ в растворе})} = 19,02 \%$

Задание 5 (20 баллов)

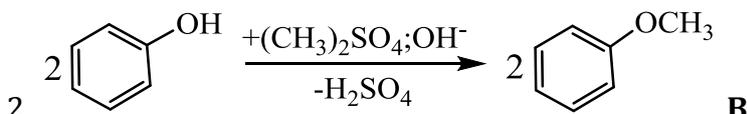
Предложите формулы органических веществ и уравнения химических реакций в соответствии со схемой превращений.



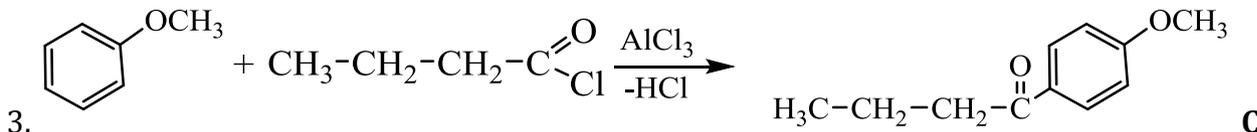
Решение:



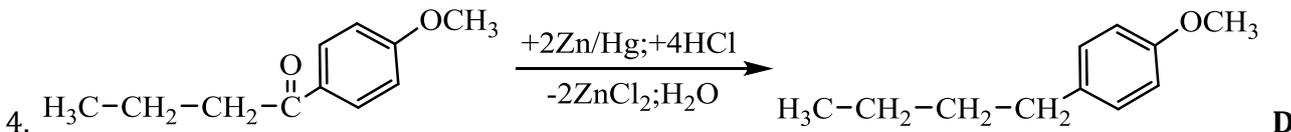
4 балла



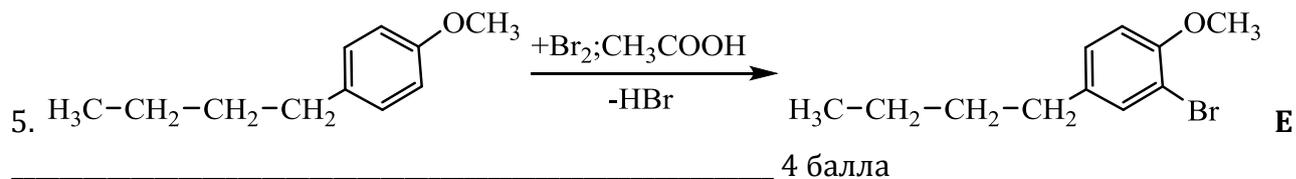
4 балла



4 балла



4 балла



Задание 6 (30 баллов)

Плавку на штейн сульфидных никелевых концентратов выполняют в рудно-термических электрических печах, что требует тщательной подготовки шихты, например, методом агломерирующего обжига. В этом процессе происходит сушка шихты, диссоциация высших сульфидов никеля, меди, железа; окисление серы и частичное окисление низшего сульфида железа (47,44 % от общего количества железа). Окисление достигается продувкой шихты кислородом или смесью азота и кислорода (объёмная доля кислорода 21 %). При обжиге удаляют 60 % серы. Отходящие газы агломерирующего обжига утилизируют с получением серной кислоты. Для этого их пропускают через слой ванадиевого катализатора, на котором происходит окисление до серного ангидрида с выходом 86 %, далее серный ангидрид направляют в поглотительные башни и получают серную кислоту.

Для 100 т сульфидного никелевого концентрата влажностью 3,34 %, содержащего (массовые доли) 6,43 % никеля, 4,43 % меди; 21,88 % железа; 25 % серы; 5 % магния в форме талька (моногидрат силиката магния с массовой долей оксида магния 31,7 %, оксида кремния 63,5 %); 2,65 % алюминия в форме каолинита (двухводный силикат алюминия с массовой долей оксида алюминия 40 %, оксида кремния 46 %), 10,53 % кремния.

1) определить вещественный состав (массовые доли) концентрата, если никель содержится в виде сульфида с массовой долей серы 35,75 %, железа 31,28 %; сульфид меди содержит массовую долю серы 34,88 %, железа 30,52 %; железо находится в сульфидной форме.

2) составить уравнения реакций, протекающих при агломерирующем обжиге;

3) определить массу и выход продукта обжига – агломерата, его вещественный состав в пересчёте на сульфиды и оксиды элементов; массовая доля серы в сульфиде меди 20,1 %, никеля 26,6 %.

4) Рассчитать стехиометрический расход (приведённый к н.у.) кислородно-азотной смеси (объёмная доля кислорода 21 %), требуемой для проведения агломерирующего обжига и состав отходящих газов (приведённый к н.у.) без учёта горения топлива.



Решение

1. Расчёт состава концентрата

1.1. Расчёт никеля

1.1.1. Вывод формулы сульфида никеля с массовой долей серы 35,75 %, железа 31,28 %

1.1.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_S = 35,75 \text{ г};$$

$$m_{Fe} = 31,28 \text{ г};$$

$$m_{Ni} = 100 - m_S - m_{Fe} = 100 - 35,75 - 31,28 = 32,97 \text{ г}.$$

1.1.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{Ni} = \frac{m_{Ni}}{M_{Ni}} = \frac{32,97}{59} = 0,56 \text{ моль};$$

$$n_{Fe} = \frac{m_{Fe}}{M_{Fe}} = \frac{31,28}{56} = 0,56 \text{ моль};$$

$$n_S = \frac{m_S}{M_S} = \frac{35,75}{32} = 1,12 \text{ моль}.$$

1.1.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{Ni} : n_{Fe} : n_S = 0,56 : 0,56 : 1,12 = 1 : 1 : 2$$

1.1.1.4. Формула сульфида никеля: $NiFeS_2$.

1 балл

1.1.2. Расчёт массы и количества вещества никеля с учетом его массовой доли в концентрате 6,43 % и массы концентрата 100 т.

$$m_{Ni}^{конц.} = \frac{\omega_{Ni}^{конц.}}{100} \cdot m_{конц.} = \frac{6,43}{100} \cdot 100 = 6,43 \text{ т};$$

$$n_{Ni}^{конц.} = \frac{m_{Ni}^{конц.}}{M_{Ni}} = \frac{6,43 \cdot 10^6}{59} = 0,11 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,11 \text{ Ммоль}.$$

1.1.3 Расчёт сульфида никеля

1.1.3.1. Количество вещества сульфида никеля с учетом п. 1.1.2.

$$n_{NiFeS_2}^{конц.} = n_{Ni}^{конц.} = 0,11 \text{ Ммоль}.$$

1.1.3.2. Масса сульфида никеля

$$m_{NiFeS_2}^{конц.} = n_{NiFeS_2}^{конц.} \cdot M_{NiFeS_2} = 0,11 \cdot 10^6 \cdot 179 = 19,69 \cdot 10^6 \text{ г} = 19,69 \text{ т};$$

$$M_{NiFeS_2} = M_{Ni} + M_{Fe} + 2 \cdot M_S = 59 + 56 + 2 \cdot 32 = 179 \text{ г/моль}.$$

1.1.3.3. Массовая доля сульфида никеля

$$\omega_{NiFeS_2}^{конц.} = \frac{m_{NiFeS_2}^{конц.}}{m_{конц.}} \cdot 100 \% = \frac{19,69}{100} \cdot 100 = 19,69 \%.$$

 $m_{конц.}$ - масса концентрата, 100т.

1 балл

1.2. Расчёт меди

1.2.1. Вывод формулы сульфида меди с массовой долей серы 34,88 % и железа 30,52 %

1.2.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_S = 34,88 \text{ г};$$

$$m_{Fe} = 30,52 \text{ г};$$



$$m_{\text{Cu}} = 100 - m_{\text{S}} - m_{\text{Fe}} = 100 - 34,88 - 30,52 = 34,60 \text{ г.}$$

1.2.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{\text{Cu}} = \frac{m_{\text{Cu}}}{M_{\text{Cu}}} = \frac{34,60}{63,5} = 0,54 \text{ моль;}$$

$$n_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{30,52}{56} = 0,55 \text{ моль;}$$

$$n_{\text{S}} = \frac{m_{\text{S}}}{M_{\text{S}}} = \frac{34,88}{32} = 1,09 \text{ моль.}$$

1.2.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Cu}} : n_{\text{Fe}} : n_{\text{S}} = 0,54 : 0,55 : 1,09 = 1 : 1 : 2$$

1.2.1.4. Формула сульфида меди: CuFeS_2 .

1 балл

1.2.2. Расчёт массы и количества вещества меди с учетом ее массовой доли в концентрате 4,43 % и массы концентрата 100 т.

$$m_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Cu}}^{\text{конц.}}}{100} \cdot m_{\text{конц.}} = \frac{4,43}{100} \cdot 100 = 4,43 \text{ т;}$$

$$n_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Cu}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Cu}}} = \frac{4,43 \cdot 10^6}{63,5} = 0,07 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,07 \text{ Ммоль.}$$

1.2.3 Расчёт сульфида меди

1.2.3.1. Количество вещества сульфида меди с учетом п. 1.2.2.

$$n_{\text{CuFeS}_2}^{\text{конц.}} = n_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = 0,07 \text{ Ммоль.}$$

1.2.3.2. Масса сульфида меди

$$m_{\text{CuFeS}_2}^{\text{конц.}} = n_{\text{CuFeS}_2}^{\text{конц.}} \cdot M_{\text{CuFeS}_2} = 0,07 \cdot 10^6 \cdot 183,5 = 12,845 \cdot 10^6 \text{ г} = 12,845 \text{ т;}$$

$$M_{\text{CuFeS}_2} = M_{\text{Cu}} + M_{\text{Fe}} + 2 \cdot M_{\text{S}} = 63,5 + 56 + 2 \cdot 32 = 183,5 \text{ г/моль.}$$

1.2.3.3. Массовая доля сульфида меди

$$\omega_{\text{CuFeS}_2}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{CuFeS}_2}^{\text{конц.}}}{m_{\text{конц.}}} \cdot 100 \% = \frac{12,845}{100} \cdot 100 = 12,85 \%.$$

$m_{\text{конц.}}$ - масса концентрата, 100т.

1 балл

1.3. Расчёт железа

1.3.1. Вывод формулы сульфида железа

1.3.1.1. Масса и количество вещества общего железа с учетом его массовой доли в концентрате 21,88 % и массы концентрата 100 т.

$$m_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Fe}}^{\text{конц.}}}{100} \cdot m_{\text{конц.}} = \frac{21,88}{100} \cdot 100 = 21,88 \text{ т;}$$

$$n_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Fe}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{21,88 \cdot 10^6}{56} = 0,39 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,39 \text{ Ммоль.}$$

1.3.1.2. Масса и количество общей серы железа с учетом ее массовой доли в концентрате 25 % и массы концентрата 100 т.

$$m_{\text{S}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{S}}^{\text{конц.}}}{100} \cdot m_{\text{конц.}} = \frac{25,0}{100} \cdot 100 = 25,0 \text{ т;}$$



$$n_S^{\text{конц.}} = \frac{m_S^{\text{конц.}}}{M_S} = \frac{25,0 \cdot 10^6}{32} = 0,78 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,78 \text{ Ммоль.}$$

1.3.1.3. Количество вещества железа в его сульфиде с учетом п. 1.3.1.1., 1.1.3.1. и 1.2.3.1.

$$n_{Fe}^{Fe_xS_y} = n_{Fe}^{\text{конц.}} - n_{Fe}^{NiFeS_2} - n_{Fe}^{CuFeS_2} = n_{Fe}^{\text{конц.}} - n_{NiFeS_2}^{\text{конц.}} - n_{CuFeS_2}^{\text{конц.}} = \\ = 0,39 - 0,11 - 0,07 = 0,21 \text{ Ммоль.}$$

1.3.1.4. Количество серы в сульфиде железа с учетом п. 1.3.1.2., 1.1.3.1. и 1.2.3.1.

$$n_S^{Fe_xS_y} = n_S^{\text{конц.}} - n_S^{NiFeS_2} - n_S^{CuFeS_2} = n_S^{\text{конц.}} - 2 \cdot n_{NiFeS_2}^{\text{конц.}} - 2 \cdot n_{CuFeS_2}^{\text{конц.}} = \\ = 0,78 - 2 \cdot 0,11 - 2 \cdot 0,07 = 0,42 \text{ Ммоль.}$$

1.3.1.5. Соотношение количества вещества железа и серы

$$n_{Fe}^{Fe_xS_y} : n_S^{Fe_xS_y} = 0,21 : 0,42 = 1 : 2.$$

1.3.1.6. Формула сульфида железа (пирит): FeS_2 .

1 балл

1.3.2. Расчёт сульфида железа

1.3.2.1. Количество вещества сульфида железа с учетом п. 1.3.1.3.

$$n_{FeS_2}^{\text{конц.}} = n_{Fe}^{Fe_xS_y} = 0,21 \text{ Ммоль.}$$

1.3.2.2. Масса сульфида железа

$$m_{FeS_2}^{\text{конц.}} = n_{FeS_2}^{\text{конц.}} \cdot M_{FeS_2} = 0,21 \cdot 10^6 \cdot 120 = 25,2 \cdot 10^6 \text{ г} = 25,2 \text{ т}; \\ M_{FeS_2} = M_{Fe} + 2 \cdot M_S = 56 + 2 \cdot 32 = 120 \text{ г/моль.}$$

1.3.2.3. Массовая доля сульфида железа

$$\omega_{FeS_2}^{\text{конц.}} = \frac{m_{FeS_2}^{\text{конц.}}}{m_{\text{конц.}}} \cdot 100 \% = \frac{25,2}{100} \cdot 100 = 25,20 \%.$$

$m_{\text{конц.}}$ - масса концентрата, 100т.

1 балл

1.4. Расчёт магнезия

1.4.1. Вывод формулы талька - моногидрат силиката магнезия с массовой долей оксида магнезия 31,7 %, оксида кремния 63,5 %

1.4.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г - 100 %. Следовательно

$$m_{MgO} = 31,7 \text{ г};$$

$$m_{SiO_2} = 63,5 \text{ г};$$

$$m_{H_2O} = 100 - m_{MgO} - m_{SiO_2} = 100 - 31,7 - 63,5 = 4,8 \text{ г.}$$

1.4.1.2. Количество вещества

$$n_{MgO} = \frac{m_{MgO}}{M_{MgO}} = \frac{31,7}{40} = 0,8 \text{ моль,}$$

$$M_{MgO} = M_{Mg} + M_O = 24 + 16 = 40 \text{ г/моль};$$

$$n_{SiO_2} = \frac{m_{SiO_2}}{M_{SiO_2}} = \frac{63,5}{60} = 1,06 \text{ моль,}$$

$$M_{SiO_2} = M_{Si} + 2 \cdot M_O = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль};$$

$$n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} = \frac{4,8}{18} = 0,27 \text{ моль,}$$

$$M_{H_2O} = 2 \cdot M_H + M_O = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ г/моль.}$$



1.4.1.3. Соотношение количества вещества

$$n_{\text{MgO}} : n_{\text{SiO}_2} : n_{\text{H}_2\text{O}} = 0,8 : 1,06 : 0,27 = 3 : 4 : 1$$

1.4.1.4. Формула талька: $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

1 балл

1.4.2. Расчёт массы и количества вещества магнезия с учетом его массовой доли в концентрате 5 % и массы концентрата 100т.

$$m_{\text{Mg}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Mg}}^{\text{конц.}}}{100} \cdot m_{\text{конц.}} = \frac{5,0}{100} \cdot 100 = 5,0 \text{ т};$$
$$n_{\text{Mg}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Mg}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Mg}}} = \frac{5,0 \cdot 10^6}{24} = 0,21 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,21 \text{ Ммоль.}$$

1.4.3. Расчёт талька

1.4.3.1. Количество вещества талька с учетом п. 1.4.2.

$$n_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} = n_{\text{Mg}}^{\text{конц.}} / 3 = 0,21/3 = 0,07 \text{ Ммоль.}$$

1.4.3.2. Масса талька

$$m_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} = n_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} \cdot M_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 0,07 \cdot 10^6 \cdot 378 = 26,46 \text{ т.}$$

$$M_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 3 \cdot M_{\text{MgO}} + 4 \cdot M_{\text{SiO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} = 3 \cdot 40 + 4 \cdot 60 + 18 = 378 \text{ г/моль.}$$

1.4.3.3. Массовая доля талька

$$\omega_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}}}{m_{\text{конц.}}} \cdot 100 \% = \frac{26,46}{100} \cdot 100 = 26,46 \%.$$

$m_{\text{конц.}}$ - масса концентрата, 100т.

1 балл

1.5. Расчёт алюминия

1.5.1. Вывод формулы каолинита - двухводного силиката алюминия с массовой долей оксида алюминия 40 %, оксида кремния 46 %

1.5.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 40 \text{ г};$$

$$m_{\text{SiO}_2} = 46 \text{ г};$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 100 - m_{\text{Al}_2\text{O}_3} - m_{\text{SiO}_2} = 100 - 40 - 46 = 14 \text{ г.}$$

1.5.1.2. Количество вещества

$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{M_{\text{Al}_2\text{O}_3}} = \frac{40}{102} = 0,39 \text{ моль,}$$

$$M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 2 \cdot M_{\text{Al}} + 3 \cdot M_{\text{O}} = 2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 = 102 \text{ г/моль;}$$

$$n_{\text{SiO}_2} = \frac{m_{\text{SiO}_2}}{M_{\text{SiO}_2}} = \frac{46}{60} = 0,77 \text{ моль,}$$

$$M_{\text{SiO}_2} = M_{\text{Si}} + 2 \cdot M_{\text{O}} = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль;}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{14}{18} = 0,78 \text{ моль,}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot M_{\text{H}} + M_{\text{O}} = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ г/моль.}$$

1.5.1.3. Соотношение количества вещества

$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3} : n_{\text{SiO}_2} : n_{\text{H}_2\text{O}} = 0,39 : 0,77 : 0,78 = 1 : 2 : 2$$



1.5.1.4. Формула каолинита: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

1 балл

1.5.2. Расчёт массы и количества вещества алюминия с учетом его массовой доли в концентрате 2,65 % и массы концентрата 100 т.

$$m_{Al}^{конц.} = \frac{\omega_{Al}^{конц.}}{100} \cdot m_{конц.} = \frac{2,65}{100} \cdot 100 = 2,65 \text{ т};$$

$$n_{Al}^{конц.} = \frac{m_{Al}^{конц.}}{M_{Al}} = \frac{2,65 \cdot 10^6}{27} = 0,10 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,10 \text{ Ммоль}.$$

1.5.3. Расчёт каолинита

1.5.3.1. Количество вещества каолинита с учетом п. 1.5.2.

$$n_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}^{конц.} = n_{Al}^{конц.} / 2 = 0,10 / 2 = 0,05 \text{ Ммоль}.$$

1.5.3.2. Масса каолинита

$$m_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}^{конц.} = n_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}^{конц.} \cdot M_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} = 0,05 \cdot 10^6 \cdot 258 = 12,9 \text{ т};$$

$$M_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} = M_{Al_2O_3} + 2 \cdot M_{SiO_2} + 2 \cdot M_{H_2O} = 102 + 2 \cdot 60 + 2 \cdot 18 = 258 \text{ г/моль}.$$

1.5.3.3. Массовая доля каолинита

$$\omega_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}^{конц.} = \frac{m_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}^{конц.}}{m_{конц.}} \cdot 100 \% = \frac{12,9}{100} \cdot 100 = 12,9 \ %.$$

$m_{конц.}$ - масса концентрата, 100т.

1 балл

1.6. Проверка справедливости расчётов п. 1.1 – 1.5 (не является обязательным и носит рекомендательный характер)

1.6.1. Вещественный состав концентрата

А) по массам веществ

$$m_{конц.} = m_{NiFeS_2}^{конц.} + m_{CuFeS_2}^{конц.} + m_{FeS_2}^{конц.} + m_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O}^{конц.} + m_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}^{конц.} + m_{H_2O}^{конц.} =$$

$$= 19,69 + 12,85 + 25,20 + 26,46 + 12,90 + 3,34 = 100,44 \text{ т}.$$

Б) по массовым долям веществ

$$\omega_{конц.} = \omega_{NiFeS_2}^{конц.} + \omega_{CuFeS_2}^{конц.} + \omega_{FeS_2}^{конц.} + \omega_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O}^{конц.} + \omega_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}^{конц.} + \omega_{H_2O}^{конц.} =$$

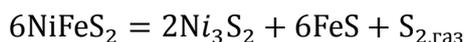
$$= 19,69 + 12,85 + 25,20 + 26,46 + 12,90 + 3,34 = 100,44 \ %$$

Небольшое расхождение допустимо и связано с точностью вычислений.

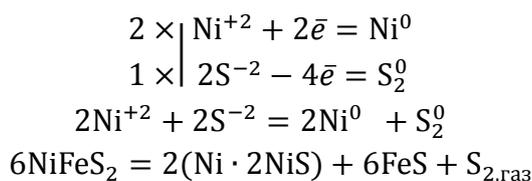
2. Уравнения реакций, протекающих при агломерирующем обжиге

2.1. Диссоциация высших сульфидов никеля, меди, железа

2.1.1. Диссоциация сульфида никеля



баланс электронов



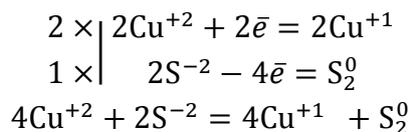
1 балл

2.1.2. Диссоциация халькопирита



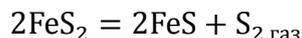


баланс электронов

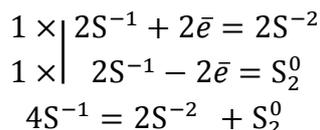


1 балл

2.1.3. Диссоциация пирита

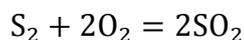


баланс электронов

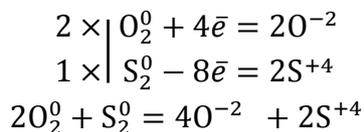


1 балл

2.2. Горение паров серы

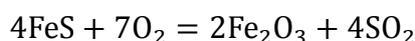


баланс электронов

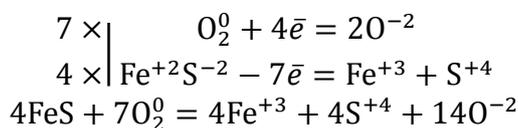


1 балл

2.3. Окисление сульфида железа



баланс электронов



1 балл

3. Расчёт агломерата

3.1. Расчёт никеля

3.1.1. Вывод формулы сульфида никеля, массовая доля серы 26,6 %

3.1.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_{\text{S}} = 26,60 \text{ г};$$

$$m_{\text{Ni}} = 100 - m_{\text{S}} = 100 - 26,60 = 73,40 \text{ г}.$$

3.1.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{\text{Ni}} = \frac{m_{\text{Ni}}}{M_{\text{Ni}}} = \frac{73,4}{59} = 1,24 \text{ моль};$$

$$n_{\text{S}} = \frac{m_{\text{S}}}{M_{\text{S}}} = \frac{26,6}{32} = 0,83 \text{ моль}.$$

3.1.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Ni}} : n_{\text{S}} = 1,24 : 0,83 = 1,5 : 1 = 3 : 2$$

3.1.1.4. Формула сульфида никеля: Ni_3S_2 .

1 балл



3.1.2. Количество вещества и масса сульфида никеля с учётом п. 1.1.2

$$n_{Ni_3S_2} = n_{Ni}^{конц.} / 3 = 0,11 / 3 = 0,036 \text{ Ммоль.}$$

3.1.3. Масса сульфида никеля

$$m_{Ni_3S_2} = n_{Ni_3S_2} \cdot M_{Ni_3S_2} = 0,036 \cdot 10^6 \cdot 241 = 8,676 \cdot 10^6 \text{ г} = 8,676 \text{ т;}$$

$$M_{Ni_3S_2} = 3 \cdot M_{Ni} + 2 \cdot M_S = 3 \cdot 59 + 2 \cdot 32 = 241 \text{ г/моль.}$$

1 балл

3.2. Расчёт меди

3.2.1. Вывод формулы сульфида меди, массовая доля серы 20,1 %

3.2.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_S = 20,1 \text{ г;}$$

$$m_{Cu} = 100 - m_S = 100 - 20,1 = 79,9 \text{ г.}$$

3.2.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{Cu} = \frac{m_{Cu}}{M_{Cu}} = \frac{79,9}{63,5} = 1,26 \text{ моль;}$$

$$n_S = \frac{m_S}{M_S} = \frac{20,1}{32} = 0,63 \text{ моль.}$$

3.2.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{Cu} : n_S = 1,26 : 0,63 = 2 : 1$$

3.2.1.4. Формула сульфида меди: Cu_2S .

1 балл

3.2.2. Количество вещества и масса сульфида меди с учётом п. 1.2.2

$$n_{Cu_2S} = n_{Cu}^{конц.} / 2 = 0,07 / 2 = 0,035 \text{ Ммоль.}$$

3.2.3. Масса сульфида меди

$$m_{Cu_2S} = n_{Cu_2S} \cdot M_{Cu_2S} = 0,035 \cdot 10^6 \cdot 159 = 5,565 \cdot 10^6 \text{ г} = 5,565 \text{ т;}$$

$$M_{Cu_2S} = 2 \cdot M_{Cu} + M_S = 2 \cdot 63,5 + 32 = 159 \text{ г/моль.}$$

1 балл

3.3. Расчёт серы

Количество вещества серы в агломерате вычисляют по величине десульфуризации $D_S = 60\%$ с учетом п. 1.3.1.2.

$$n_S^{агл.} = \frac{100 - D_S}{100} \cdot n_S^{конц.} = \frac{100 - 60}{100} \cdot 0,78 = 0,312 \text{ Ммоль.}$$

1 балл

3.4. Расчёт железа

3.4.1. Вывод формулы сульфида железа

3.4.1.1. Количество вещества железа в агломерате согласно п. 1.3.1.1.

$$n_{Fe}^{агл.} = n_{Fe}^{конц.} = 0,39 \text{ Ммоль.}$$

3.4.1.2. Количество вещества железа в сульфиде вычисляют по доле окисленного железа $E_{Fe}^{ox} = 47,44\%$ с учетом п. 1.3.1.1.

$$n_{Fe}^{Fe_xS_y} = \frac{100 - E_{Fe}^{ox}}{100} \cdot n_{Fe}^{конц.} = \frac{100 - 47,44}{100} \cdot 0,39 = 0,205 \text{ Ммоль.}$$

3.4.1.3. Количество серы в сульфиде железа с учетом п.3.3, 3.1.2. и 3.2.2.

$$n_S^{Fe_xS_y} = n_S^{агл.} - n_{Ni_3S_2} - n_{Cu_2S} = n_S^{агл.} - 2 \cdot n_{Ni_3S_2} - n_{Cu_2S} =$$



$$= 0,312 - 2 \cdot 0,036 - 0,035 = 0,205 \text{ Ммоль.}$$

3.4.1.4. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Fe}} : n_{\text{S}} = 0,205 : 0,205 = 1 : 1$$

3.4.1.5. Формула сульфида железа: FeS .

3.4.2. Количество вещества и масса сульфида железа с учетом п. 3.4.1.2.

$$n_{\text{FeS}} = n_{\text{Fe}}^{\text{Fe}_x\text{S}_y} = 0,205 \text{ Ммоль};$$

$$m_{\text{FeS}} = n_{\text{FeS}} \cdot M_{\text{FeS}} = 0,205 \cdot 10^6 \cdot 88 = 18,04 \cdot 10^6 \text{ г} = 18,04 \text{ т};$$

$$M_{\text{FeS}} = M_{\text{Fe}} + M_{\text{S}} = 56 + 32 = 88 \text{ г/моль.}$$

3.4.3. Количество вещества железа в оксиде с учетом п. 3.4.1.1. и 3.4.2.

$$n_{\text{Fe}}^{\text{Fe}_2\text{O}_3} = n_{\text{Fe}}^{\text{арл.}} - n_{\text{Fe}}^{\text{FeS}} = n_{\text{Fe}}^{\text{арл.}} - n_{\text{FeS}} = 0,39 - 0,205 = 0,185 \text{ Ммоль.}$$

1 балл

3.4.4. Расчет оксида железа

3.4.4.1. Количество вещества оксида железа с учетом п. 3.4.3.

$$n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = n_{\text{Fe}}^{\text{Fe}_2\text{O}_3} / 2 = 0,185 / 2 = 0,0925 \text{ Ммоль.}$$

3.4.4.2. Масса оксида железа

$$m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} \cdot M_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 0,0925 \cdot 10^6 \cdot 160 = 14,80 \cdot 10^6 \text{ г} = 14,80 \text{ т};$$

$$M_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 2 \cdot M_{\text{Fe}} + 3 \cdot M_{\text{O}} = 2 \cdot 56 + 3 \cdot 16 = 160 \text{ г/моль.}$$

1 балл

3.5. Расчёт магния

Количество вещества и масса оксида магния (п. 1.4.2)

$$n_{\text{MgO}}^{\text{арл.}} = n_{\text{Mg}}^{\text{конц.}} = 0,21 \text{ Ммоль};$$

$$m_{\text{MgO}}^{\text{арл.}} = n_{\text{MgO}}^{\text{арл.}} \cdot M_{\text{MgO}} = 0,21 \cdot 10^6 \cdot 40 = 8,4 \cdot 10^6 \text{ г} = 8,4 \text{ т};$$

$$M_{\text{MgO}} = M_{\text{Mg}} + M_{\text{O}} = 24 + 16 = 40 \text{ г/моль.}$$

1 балл

3.6. Расчёт алюминия

Количество вещества и масса оксида алюминия (п. 1.5.2)

$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{арл.}} = n_{\text{Al}}^{\text{конц.}} / 2 = 0,10 / 2 = 0,05 \text{ Ммоль};$$

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{арл.}} = n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{арл.}} \cdot M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0,05 \cdot 10^6 \cdot 102 = 5,1 \cdot 10^6 \text{ г} = 5,1 \text{ т};$$

$$M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 2 \cdot M_{\text{Al}} + 3 \cdot M_{\text{O}} = 2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 = 102 \text{ г/моль.}$$

1 балл

3.7. Расчёт кремния

3.7.1. Количество вещества оксида кремния с учетом п. 1.4.3.1. и 1.5.3.1.

$$n_{\text{SiO}_2}^{\text{арл.}} = 4 \cdot n_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} + 2 \cdot n_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} = 4 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,05 = 0,38 \text{ Ммоль.}$$

ИЛИ:

Масса кремния с учетом его массовой доли в концентрате 10,53 % и массы концентрата 100 т.

$$m_{\text{Si}}^{\text{арл.}} = m_{\text{Si}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Si}}^{\text{конц.}}}{100} \cdot m_{\text{конц.}} = \frac{10,53}{100} \cdot 100 = 10,53 \text{ т.}$$

Количество вещества кремния



$$n_{Si}^{арл.} = \frac{m_{Si}^{арл.}}{M_{Si}} = \frac{10,53 \cdot 10^6}{28} = 0,38 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,38 \text{ Ммоль.}$$

Количество вещества оксида кремния

$$n_{SiO_2}^{арл.} = n_{Si}^{арл.} = 0,38 \text{ Ммоль.}$$

3.7.2. Масса оксида кремния

$$m_{SiO_2}^{арл.} = n_{SiO_2}^{арл.} \cdot M_{SiO_2} = 0,38 \cdot 10^6 \cdot 60 = 22,8 \cdot 10^6 \text{ г} = 22,8 \text{ т;}$$

$$M_{SiO_2} = M_{Si} + 2 \cdot M_O = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль.}$$

1 балл

3.8. Масса агломерата

Рассчитывается как сумма масс сульфидов никеля (п. 3.1.3.), меди (п. 3.2.3.), железа (п. 3.4.2.) и оксидов железа (п. 3.4.4.2.), магния (п.3.5.), алюминия (п. 3.6.), кремния (п. 3.7.2.)

$$\begin{aligned} m_{арл.} &= m_{Ni_3S_2} + m_{Cu_2S} + m_{FeS} + m_{Fe_2O_3} + m_{MgO}^{арл.} + m_{Al_2O_3}^{арл.} + m_{SiO_2}^{арл.} = \\ &= 8,676 + 5,565 + 18,04 + 14,80 + 8,4 + 5,1 + 22,8 = 83,38 \text{ т.} \end{aligned}$$

3.9. Выход агломерата

Рассчитывается с учетом массы агломерата п.3.8. и массы концентрата 100 т.

$$E_{арл.} = \frac{m_{арл.}}{m_{конц.}} \cdot 100 \% = \frac{83,38}{100} \cdot 100 = 83,38 \%$$

1 балл

3.10. Состав агломерата

Рассчитывается с учетом масс сульфидов никеля (п. 3.1.3.), меди (п. 3.2.3.), железа (п. 3.4.2.) и оксидов железа (п. 3.4.4.2.), магния (п.3.5.), алюминия (п. 3.6.), кремния (п. 3.7.2.) и массы агломерата (п. 3.8.)

$$\omega_{Ni_3S_2} = \frac{m_{Ni_3S_2}}{m_{арл.}} \cdot 100 \% = \frac{8,676}{83,38} \cdot 100 = 10,40 \%;$$

$$\omega_{Cu_2S} = \frac{m_{Cu_2S}}{m_{арл.}} \cdot 100 \% = \frac{5,565}{83,38} \cdot 100 = 6,67 \%;$$

$$\omega_{FeS} = \frac{m_{FeS}}{m_{арл.}} \cdot 100 \% = \frac{18,04}{83,38} \cdot 100 = 21,64 \%;$$

$$\omega_{Fe_2O_3} = \frac{m_{Fe_2O_3}}{m_{арл.}} \cdot 100 \% = \frac{14,80}{83,38} \cdot 100 = 17,75 \%;$$

$$\omega_{MgO}^{арл.} = \frac{m_{MgO}^{арл.}}{m_{арл.}} \cdot 100 \% = \frac{8,40}{83,38} \cdot 100 = 10,07 \%;$$

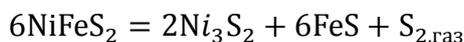
$$\omega_{Al_2O_3}^{арл.} = \frac{m_{Al_2O_3}^{арл.}}{m_{арл.}} \cdot 100 \% = \frac{5,10}{83,38} \cdot 100 = 6,12 \%;$$

$$\omega_{SiO_2}^{арл.} = \frac{m_{SiO_2}^{арл.}}{m_{арл.}} \cdot 100 \% = \frac{22,80}{83,38} \cdot 100 = 27,34 \%.$$

1 балл

4. Расчёт расхода кислородно-азотной смеси

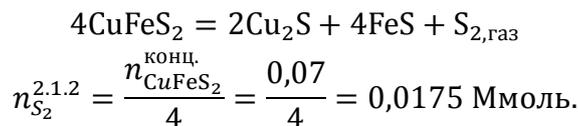
4.1. По реакции 2.1.1. с учётом п. 1.1.3.1.



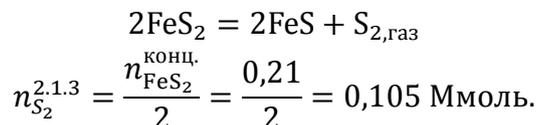
$$n_{S_2}^{2.1.1} = \frac{n_{NiFeS_2}^{конц.}}{6} = \frac{0,11}{6} = 0,018 \text{ Ммоль.}$$



4.2. По реакции 2.1.2. с учётом п. 1.2.3.1.



4.3. По реакции 2.1.3 с учётом 1.3.2.1.

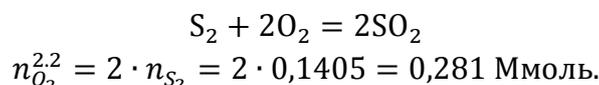


4.4. Количество вещества $\text{S}_{2,\text{газ}}$

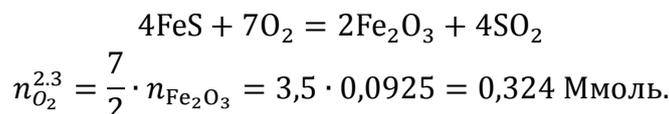
$$n_{\text{S}_2} = n_{\text{S}_2}^{2.1.1} + n_{\text{S}_2}^{2.1.2} + n_{\text{S}_2}^{2.1.3} = 0,018 + 0,0175 + 0,105 = 0,1405 \text{ Ммоль.}$$

1 балл

4.5. По реакции 2.2.



4.6. По реакции 2.3 с учётом п. 3.4.4.1.



4.7. Общее количество кислорода

$$n_{\text{O}_2} = n_{\text{O}_2}^{2.2} + n_{\text{O}_2}^{2.3} = 0,281 + 0,324 = 0,605 \text{ Ммоль.}$$

4.8. Объём кислорода (н.у.)

$$V_{\text{O}_2} = n_{\text{O}_2} \cdot V_M = 0,605 \cdot 10^6 \cdot 22,4 = 13,552 \cdot 10^6 \text{ л} = 13\,552 \text{ м}^3.$$

4.9. Объём азотно-кислородной смеси с объёмной долей кислорода $\varphi_{\text{O}_2} = 21 \%$

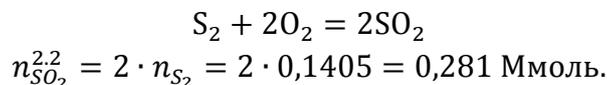
$$V_{\Gamma} = \frac{V_{\text{O}_2}}{\varphi_{\text{O}_2}} \cdot 100 = \frac{13\,552}{21} \cdot 100 = 64\,533 \text{ м}^3.$$

1 балл

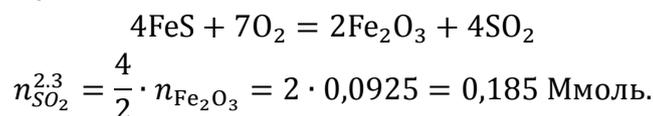
5. Состав отходящих газов

Отходящие газы: сернистый ангидрид и азот

5.1. По реакции 2.2. с учётом п. 4.4



5.2. По реакции 2.3 с учётом п. 3.4.4.1.



5.3. Общее количество сернистого ангидрида

$$n_{\text{SO}_2} = n_{\text{SO}_2}^{2.2} + n_{\text{SO}_2}^{2.3} = 0,281 + 0,185 = 0,466 \text{ Ммоль.}$$

5.4. Объём сернистого ангидрида (н.у.)

$$V_{\text{SO}_2} = n_{\text{SO}_2} \cdot V_M = 0,466 \cdot 10^6 \cdot 22,4 = 10,438 \cdot 10^6 \text{ л} = 10\,438 \text{ м}^3.$$

5.4. Объём азота с учетом п. 4.8. и 4.9.

$$V_{\text{N}_2} = V_{\Gamma} - V_{\text{O}_2} = 64\,533 - 13\,552 = 50\,981 \text{ м}^3.$$

5.5. Объём отходящих газов



$$V_{\text{ог}} = V_{N_2} + V_{SO_2} = 50\,981 + 10\,438 = 61\,419 \text{ м}^3.$$

5.6. Состав отходящих газов

$$\varphi_{SO_2} = \frac{V_{SO_2}}{V_{\text{ог}}} \cdot 100\% = \frac{10\,438}{61\,419} \cdot 100 = 17\%.$$

$$\varphi_{N_2} = \frac{V_{N_2}}{V_{\text{ог}}} \cdot 100\% = \frac{50\,981}{61\,419} \cdot 100 = 83\%.$$

1 балл

Всего: 30 баллов

Ответ

1) Вещественный состав концентрата

вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
NiFeS ₂	19,69	19,69
CuFeS ₂	12,85	12,85
FeS ₂	25,20	25,20
3MgO · 4SiO ₂ · H ₂ O	26,46	26,46
Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ · 2H ₂ O	12,90	12,90
H ₂ O	3,34	3,34
Итого:	100,44	100,44

2) Масса и выход продукта обжига – агломерата, его вещественный состав

$$m_{\text{агл.}} = 83,38 \text{ т.}$$

$$E_{\text{агл.}} = 83,38\%.$$

вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
Ni ₃ S ₂	8,68	10,40
Cu ₂ S	5,57	6,67
FeS	18,04	21,64
Fe ₂ O ₃	14,80	17,75
MgO	8,40	10,07
Al ₂ O ₃	5,10	6,12
SiO ₂	22,80	27,34
Итого:	83,38	99,99

3) Расход кислородно-азотной смеси и состав отходящих газов

$$V_{\Gamma} = 64\,533 \text{ м}^3.$$

Состав отходящих газов

$$\varphi_{SO_2} = 17\%.$$

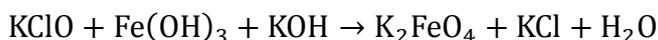
$$\varphi_{N_2} = 83\%.$$

**ХИМИЯ****ВАРИАНТ 5****Задание 1 (5 баллов)**

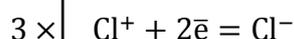
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнять, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, в сокращенной ионно-молекулярной форме:



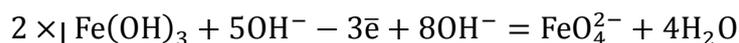
Решение



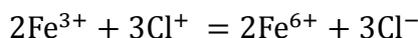
1 балл



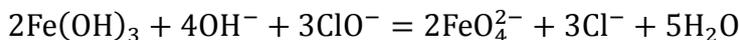
или



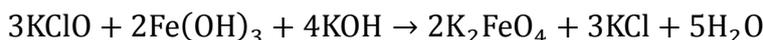
2 балла



или



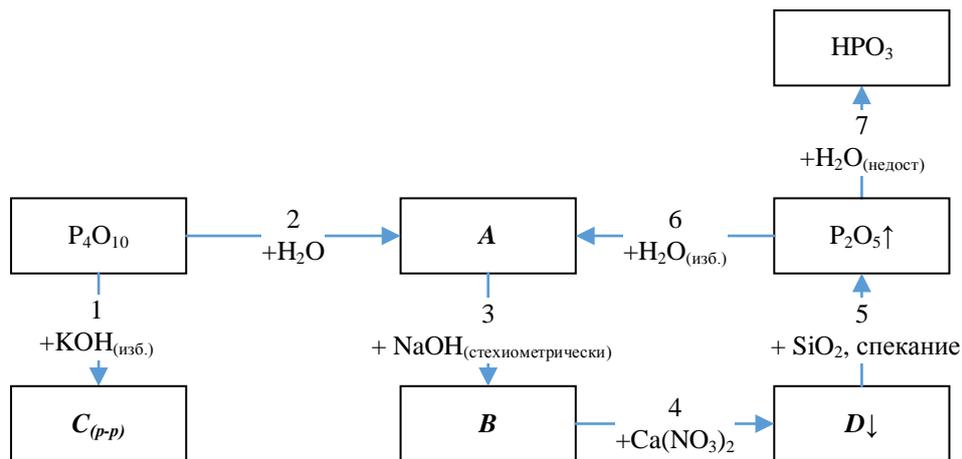
1 балл



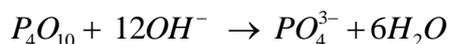
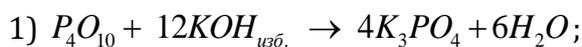
1 балл

Задание 2 (10 баллов)

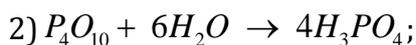
Определите формулы веществ *A*, *B*, *C*, *D*. Напишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакции, с помощью которых можно осуществить следующие химические превращения. Вещества в цепочке могут находиться как в твердом состоянии, так и в растворе. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полуреакций:



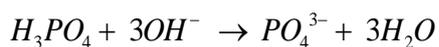
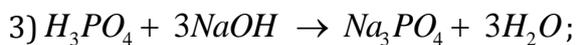
Решение:



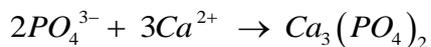
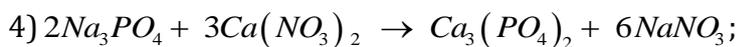
2 балла



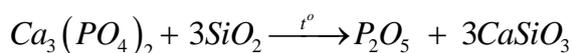
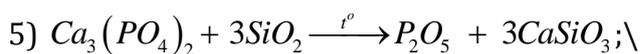
1 балл



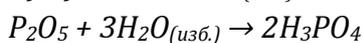
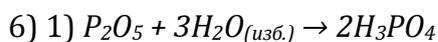
1 балл



1 балл



2 балла



1 балл



2 балла

Ответ: **A** – H_3PO_4 ; **B** – Na_3PO_4 ; **C** – K_3PO_4 ; **D** – $Ca_3(PO_4)_2$.

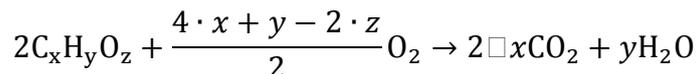
Задание 3 (15 баллов)

Органическое соединение состоит из углерода, водорода и кислорода. Относительная молярная масса 88. При полном сгорании 0,44 г вещества образуется 560 мл углекислого газа измеренного при нормальных условиях. Определить молекулярную формулу органического соединения и написать возможные структурные формулы его изомеров.

Решение:

1. Молекулярная формула органического соединения: $C_xH_yO_z$.

Реакция сгорания:



По реакции количество молей при сжигании органического соединения:

$$n_{C_xH_yO_z} = \frac{m_{C_xH_yO_z}}{Mr_{C_xH_yO_z}} = \frac{0,44}{88} = 0,005 \text{ моль}$$

4 балла

2. По реакции количество молей образовавшегося CO_2 :

$$n_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_M} = \frac{0,56}{22,4} = 0,025, \text{ моль}$$

По уравнению реакции соотношение количества молей органического соединения и углекислого газа:

$$n_{CO_2} = \frac{n_{CO_2}}{n_{C_xH_yO_z}} = \frac{1}{x} = \frac{0,005}{0,025}$$

$$x = 5$$

4 балла

3. Молярная масса органического соединения:

$$M_{C_xH_yO_z} = Ar(C) \square x + Ar(H) \square y + Ar(O) \square z = 12 \square x + y + 16 \square z, \text{ г/моль}$$

$$12 \square x + y + 16 \square z = 88$$

При $x=5$ получим:

$$y = 88 - 16 \square z$$

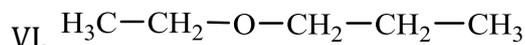
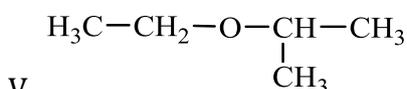
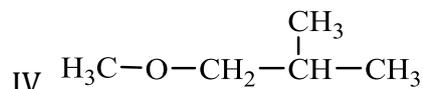
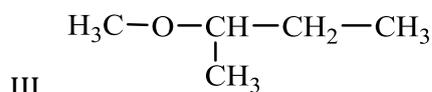
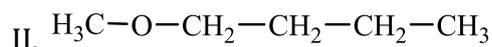
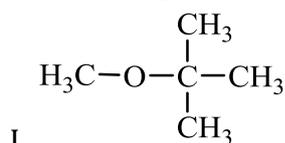


Уравнение имеет одно решение, соответствующее возможной формуле химического соединения при соблюдении условий, что y и z больше единицы и целые числа: $y=12$; $z=1$

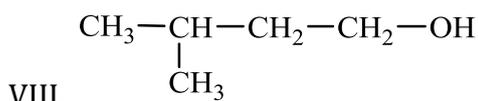
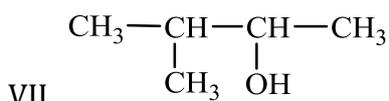
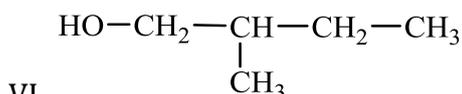
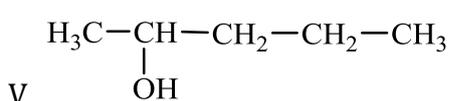
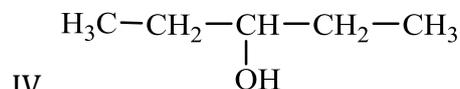
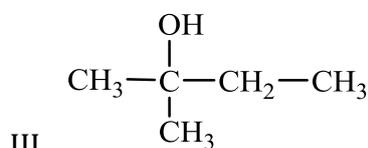
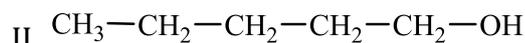
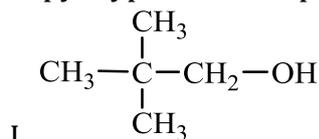
Молекулярная формула органического соединения – $C_5H_{12}O$. Этой формуле соответствуют насыщенные простые эфиры и спирты.

4 балла

4. Структурные изомеры насыщенных простых эфиров:



Структурные изомеры спиртов:



3 балла

Задание 4 (20 баллов)

Лаборант отдал пробу, состоящую исключительно из карбидов алюминия и кальция на неинвазивный количественный анализ, после чего получил пробу и результаты обратно. По результатам анализа определили, что суммарная масса кальция и алюминия в смеси карбидов составляет 37,6 г, однако точные массовые доли двух металлов в смеси карбидов установить не удалось. Для точного определения состава лаборант поместил всю смесь карбидов, содержащую 37,6 г алюминия и кальция в раствор 10 % соляной кислоты, в которой она полностью растворилась, при этом выделилось 22,4 л газа (н.у.). Определите массовые доли алюминия и кальция в исходной смеси карбидов и объемные доли полученных при реакции с соляной кислотой газов. Свои размышления подтвердите химическими реакциями.

Реакция:



Карбиды алюминия и кальция реагируют с соляной кислотой по реакциям (1) и (2):



_____ 5 баллов

Общее количество выделившегося газа:

$$n(\text{газа}) = 22,4/22,4 = 1,0 \text{ моль}$$

Пусть метана выделилось x моль, тогда ацетилена выделилось $(1,0 - x)$ моль. На это было израсходовано $(1/3) \square x$ моль Al_4C_3 и $(1,0 - x)$ моль CaC_2 . В этих карбидах содержится $(4/3) \square x$ моль Al и $(1 - x)$ моль Ca .

_____ 5 баллов

Тогда справедливо равенство:

$$37,6 = \left(\frac{4}{3} \cdot x\right) \cdot 27 + (1,0 - x) \cdot 40$$

Решим относительно x :

$$x = 0,6 \text{ моль}$$

Тогда, в исходной смеси было:

$$n(\text{Al}) = (4/3) \square x = (4/3) \square 0,6 = 0,8 \text{ моль};$$

$$n(\text{Ca}) = (1,0 - x) = (1,0 - 0,6) = 0,4 \text{ моль};$$

$$m(\text{Al}) = 0,8 \square 27 = 21,6 \text{ г};$$

$$m(\text{Ca}) = 0,4 \square 40 = 16 \text{ г}$$

Получим массу карбида алюминия и кальция:

$$m(\text{Al}_4\text{C}_3) = (1/3) \square 0,6 \square M(\text{Al}_4\text{C}_3) = (1/3) \square 0,6 \square 144 = 28,8 \text{ г}$$

$$m(\text{CaC}_2) = (1,0 - 0,6) \square M(\text{CaC}_2) = (1,0 - 0,6) \square 64 = 25,6 \text{ г}$$

_____ 5 баллов

Массовые доли алюминия и кальция в смеси карбидов:

$$\omega_{\text{Al в смеси}} = 21,6 \square 100\% / (28,8 + 25,6) = 39,71 \%$$

$$\omega_{\text{Ca в смеси}} = 16,0 \square 100\% / (28,8 + 25,6) = 29,41 \%$$

выделилось газа:

$$n(\text{CH}_4) = x = 0,6 \text{ моль}$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_2) = (1,0 - x) = 0,4 \text{ моль}$$

$$\omega_{\text{CH}_4} = 0,6 \square 100\% / 1 = 60,00 \%$$

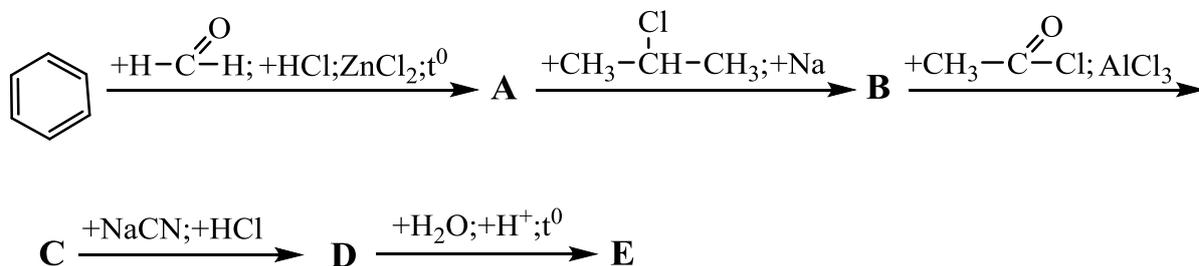
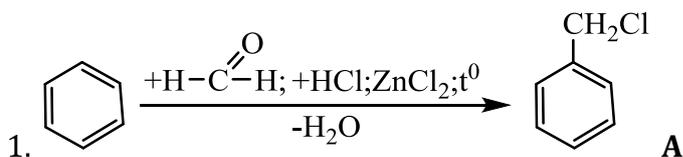
$$\omega_{\text{C}_2\text{H}_2} = 0,4 \square 100\% / (1) = 40,00 \%$$

_____ 5 баллов

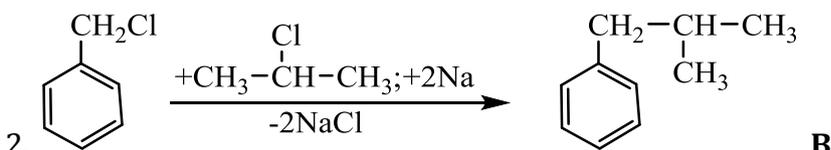
Ответ: в исходной смеси: $\omega_{\text{Al в смеси}} = 39,71 \%$; $\omega_{\text{Ca в смеси}} = 29,41 \%$; в полученном газе:
 $\omega_{\text{CH}_4} = 60,00 \%$; $\omega_{\text{C}_2\text{H}_2} = 40,00 \%$

**Задание 5 (20 баллов)**

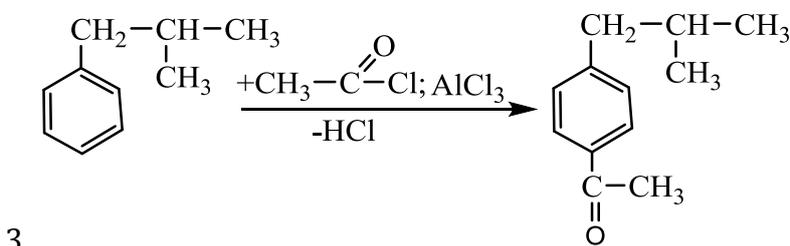
Предложите формулы органических веществ и уравнения химических реакций в соответствии со схемой превращений.

**Решение:**

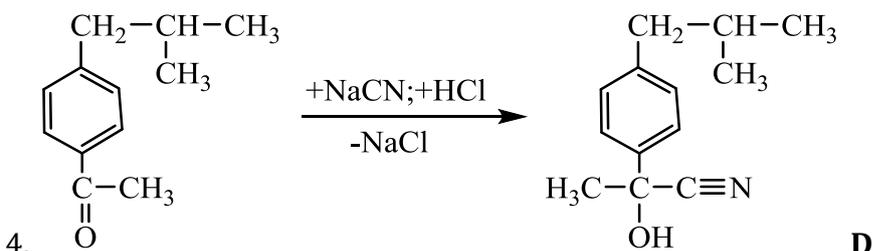
4 балла



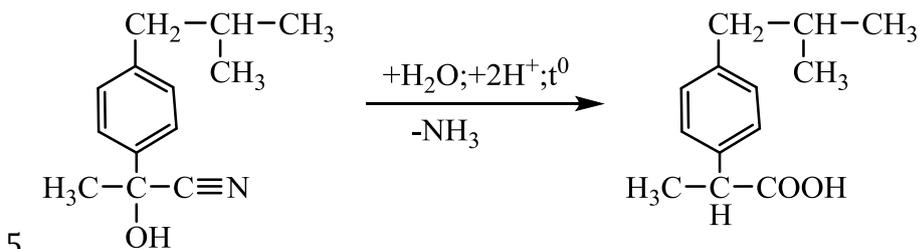
4 балла



4 балла



4 балла



4 балла

E



Задание 6 (30 баллов)

Плавку на штейн сульфидных никелевых концентратов выполняют в рудно-термических электрических печах, что требует тщательной подготовки шихты, например, методом агломерирующего обжига. В этом процессе происходит сушка шихты, диссоциация высших сульфидов никеля, меди, железа и окисление серы. Окисление достигается продувкой шихты кислородом или смесью азота и кислорода. При обжиге удаляют 60 % серы. Подготовленную шихту направляют на плавку на штейн, которую проводят в нейтральной атмосфере. Назначение плавки на штейн – концентрирование в штейне никеля и меди в форме низших сульфидов и удаление пустой породы и части железа (71,54 %) в оксидной форме (массовая доля кислорода 22 %) в шлак. Для более полного отделения примесей в шихту для плавки добавляют флюс – кварц и/или известняк. Флюс добавляют, если состав шлака, получаемого непосредственно при плавке концентрата, не соответствует оптимальному заводскому составу. Степень удаления серы при плавке на штейн составляет 30 % от её массы в агломерате.

Для 100 т сульфидного никелевого концентрата влажностью 3,34 %, содержащего (массовые доли) 6,43 % никеля, 4,43 % меди; 21,88 % железа; 25 % серы; 5 % магния в форме талька (моногидрат силиката магния с массовой долей оксида магния 31,7 %, оксида кремния 63,5 %); 2,65 % алюминия в форме каолинита (двухводный силикат алюминия с массовой долей оксида алюминия 40 %, оксида кремния 46 %), 10,53 % кремния.

1) Определить вещественный состав (массовые доли) концентрата, если никель содержится в виде сульфида с массовой долей серы 35,75 %, железа 31,28 %; сульфид меди содержит массовую долю серы 34,88 %, железа 30,52 %; железо находится в сульфидной форме.

2) Составить уравнения реакций, протекающих при агломерирующем обжиге и плавке на штейн.

3) Установить вещественный состав самоплавкого шлака (массовые доли оксидов элементов), получаемого без флюсовых добавок, без учета потерь никеля и меди в составе шлака.

4) Определить соответствие состава шлака заводским требованиям: массовая доля оксида кремния 48 %, массовая доля оксида кальция 5 %.

5) Рассчитать флюсовые добавки известняка (массовая доля окиси кальция 56 %) и кварца (100 % двуокись кремния) к шихте при плавке, массу и состав шлака (массовые доли оксидов элементов), получаемого с флюсовыми добавками.



Решение

1. Расчёт состава концентрата

1.1. Расчёт никеля

1.1.1. Вывод формулы сульфида никеля с массовой долей серы 35,75 %, железа 31,28 %

1.1.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_S = 35,75 \text{ г};$$

$$m_{Fe} = 31,28 \text{ г};$$

$$m_{Ni} = 100 - m_S - m_{Fe} = 100 - 35,75 - 31,28 = 32,97 \text{ г}.$$

1.1.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{Ni} = \frac{m_{Ni}}{M_{Ni}} = \frac{32,97}{59} = 0,56 \text{ моль};$$

$$n_{Fe} = \frac{m_{Fe}}{M_{Fe}} = \frac{31,28}{56} = 0,56 \text{ моль};$$

$$n_S = \frac{m_S}{M_S} = \frac{35,75}{32} = 1,12 \text{ моль}.$$

1.1.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{Ni} : n_{Fe} : n_S = 0,56 : 0,56 : 1,12 = 1 : 1 : 2$$

1.1.1.4. Формула сульфида никеля: $NiFeS_2$.

1 балл

1.1.2. Расчёт массы и количества вещества никеля с учетом его массовой доли в концентрате 6,43 % и массы концентрата 100 т.

$$m_{Ni}^{конц.} = \frac{\omega_{Ni}^{конц.}}{100} \cdot m_{конц.} = \frac{6,43}{100} \cdot 100 = 6,43 \text{ т};$$

$$n_{Ni}^{конц.} = \frac{m_{Ni}^{конц.}}{M_{Ni}} = \frac{6,43 \cdot 10^6}{59} = 0,11 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,11 \text{ Ммоль}.$$

1.1.3 Расчёт сульфида никеля

1.1.3.1. Количество вещества сульфида никеля с учетом п. 1.1.2.

$$n_{NiFeS_2}^{конц.} = n_{Ni}^{конц.} = 0,11 \text{ Ммоль}.$$

1.1.3.2. Масса сульфида никеля

$$m_{NiFeS_2}^{конц.} = n_{NiFeS_2}^{конц.} \cdot M_{NiFeS_2} = 0,11 \cdot 10^6 \cdot 179 = 19,69 \cdot 10^6 \text{ г} = 19,69 \text{ т};$$

$$M_{NiFeS_2} = M_{Ni} + M_{Fe} + 2 \cdot M_S = 59 + 56 + 2 \cdot 32 = 179 \text{ г/моль}.$$

1.1.3.3. Массовая доля сульфида никеля

$$\omega_{NiFeS_2}^{конц.} = \frac{m_{NiFeS_2}^{конц.}}{m_{конц.}} \cdot 100 \% = \frac{19,69}{100} \cdot 100 = 19,69 \%$$

 $m_{конц.}$ - масса концентрата, 100 т.

1 балл

1.2. Расчёт меди

1.2.1. Вывод формулы сульфида меди с массовой долей серы 34,88 % и железа 30,52 %

1.2.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_S = 34,88 \text{ г};$$

$$m_{Fe} = 30,52 \text{ г};$$



$$m_{\text{Cu}} = 100 - m_{\text{S}} - m_{\text{Fe}} = 100 - 34,88 - 30,52 = 34,60 \text{ г.}$$

1.2.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{\text{Cu}} = \frac{m_{\text{Cu}}}{M_{\text{Cu}}} = \frac{34,60}{63,5} = 0,54 \text{ моль;}$$

$$n_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{30,52}{56} = 0,55 \text{ моль;}$$

$$n_{\text{S}} = \frac{m_{\text{S}}}{M_{\text{S}}} = \frac{34,88}{32} = 1,09 \text{ моль.}$$

1.2.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Cu}} : n_{\text{Fe}} : n_{\text{S}} = 0,54 : 0,55 : 1,09 = 1 : 1 : 2$$

1.2.1.4. Формула сульфида меди: CuFeS_2 .

1 балл

1.2.2. Расчёт массы и количества вещества меди с учетом ее массовой доли в концентрате 4,43 и массы концентрата 100 т.

$$m_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Cu}}^{\text{конц.}}}{100} \cdot m_{\text{конц.}} = \frac{4,43}{100} \cdot 100 = 4,43 \text{ т;}$$

$$n_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Cu}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Cu}}} = \frac{4,43 \cdot 10^6}{63,5} = 0,07 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,07 \text{ Ммоль.}$$

1.2.3 Расчёт сульфида меди

1.2.3.1. Количество вещества сульфида меди с учетом п. 1.2.2.

$$n_{\text{CuFeS}_2}^{\text{конц.}} = n_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = 0,07 \text{ Ммоль.}$$

1.2.3.2. Масса сульфида меди

$$m_{\text{CuFeS}_2}^{\text{конц.}} = n_{\text{CuFeS}_2}^{\text{конц.}} \cdot M_{\text{CuFeS}_2} = 0,07 \cdot 10^6 \cdot 183,5 = 12,845 \cdot 10^6 \text{ г} = 12,845 \text{ т;}$$

$$M_{\text{CuFeS}_2} = M_{\text{Cu}} + M_{\text{Fe}} + 2 \cdot M_{\text{S}} = 63,5 + 56 + 2 \cdot 32 = 183,5 \text{ г/моль.}$$

1.2.3.3. Массовая доля сульфида меди

$$\omega_{\text{CuFeS}_2}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{CuFeS}_2}^{\text{конц.}}}{m_{\text{конц.}}} \cdot 100 \% = \frac{12,845}{100} \cdot 100 = 12,85 \%.$$

$m_{\text{конц.}}$ - масса концентрата, 100 т.

1 балл

1.3. Расчёт железа

1.3.1. Вывод формулы сульфида железа

1.3.1.1. Масса и количество вещества общего железа с учетом его массовой доли 21,88 % и массы концентрата 100 т.

$$m_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Fe}}^{\text{конц.}}}{100} \cdot m_{\text{конц.}} = \frac{21,88}{100} \cdot 100 = 21,88 \text{ т.}$$

$$n_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Fe}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{21,88 \cdot 10^6}{56} = 0,39 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,39 \text{ Ммоль.}$$

1.3.1.2. Масса и количество общей серы с учетом ее массовой доли 25 % и массы концентрата 100 т.

$$m_{\text{S}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{S}}^{\text{конц.}}}{100} \cdot m_{\text{конц.}} = \frac{25,0}{100} \cdot 100 = 25,0 \text{ т.}$$



$$n_S^{\text{конц.}} = \frac{m_S^{\text{конц.}}}{M_S} = \frac{25,0 \cdot 10^6}{32} = 0,78 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,78 \text{ Ммоль.}$$

1.3.1.3. Количество вещества железа в его сульфиде с учетом п. 1.3.1.1., 1.1.3.1. и 1.2.3.1.

$$\begin{aligned} n_{Fe}^{Fe_xS_y} &= n_{Fe}^{\text{конц.}} - n_{Fe}^{NiFeS_2} - n_{Fe}^{CuFeS_2} = n_{Fe}^{\text{конц.}} - n_{NiFeS_2}^{\text{конц.}} - n_{CuFeS_2}^{\text{конц.}} = \\ &= 0,39 - 0,11 - 0,07 = 0,21 \text{ Ммоль.} \end{aligned}$$

1.3.1.4. Количество серы в сульфиде железа с учетом п. 1.3.1.2., 1.1.3.1. и 1.2.3.1.

$$\begin{aligned} n_S^{Fe_xS_y} &= n_S^{\text{конц.}} - n_S^{NiFeS_2} - n_S^{CuFeS_2} = n_S^{\text{конц.}} - 2 \cdot n_{NiFeS_2}^{\text{конц.}} - 2 \cdot n_{CuFeS_2}^{\text{конц.}} = \\ &= 0,78 - 2 \cdot 0,11 - 2 \cdot 0,07 = 0,42 \text{ Ммоль.} \end{aligned}$$

1.3.1.5. Соотношение количества вещества железа и серы

$$n_{Fe}^{Fe_xS_y} : n_S^{Fe_xS_y} = 0,21 : 0,42 = 1 : 2.$$

1.3.1.6. Формула сульфида железа (пирит): FeS_2 .

1 балл

1.3.2. Расчёт сульфида железа

1.3.2.1. Количество вещества сульфида железа с учетом п. 1.3.1.3.

$$n_{FeS_2}^{\text{конц.}} = n_{Fe}^{Fe_xS_y} = 0,21 \text{ Ммоль.}$$

1.3.2.2. Масса сульфида железа

$$\begin{aligned} m_{FeS_2}^{\text{конц.}} &= n_{FeS_2}^{\text{конц.}} \cdot M_{FeS_2} = 0,21 \cdot 10^6 \cdot 120 = 25,2 \cdot 10^6 \text{ г} = 25,2 \text{ т}; \\ M_{FeS_2} &= M_{Fe} + 2 \cdot M_S = 56 + 2 \cdot 32 = 120 \text{ г/моль.} \end{aligned}$$

1.3.2.3. Массовая доля сульфида железа

$$\omega_{FeS_2}^{\text{конц.}} = \frac{m_{FeS_2}^{\text{конц.}}}{m_{\text{конц.}}} \cdot 100 \% = \frac{25,2}{100} \cdot 100 = 25,20 \%$$

$m_{\text{конц.}}$ - масса концентрата, 100 т.

1 балл

1.4. Расчёт магнезия

1.4.1. Вывод формулы талька - моногидрата силиката магнезия с массовой долей оксида магнезия 31,7 %, оксида кремния 63,5 %

1.4.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г - 100 %. Следовательно

$$m_{MgO} = 31,7 \text{ г};$$

$$m_{SiO_2} = 63,5 \text{ г};$$

$$m_{H_2O} = 100 - m_{MgO} - m_{SiO_2} = 100 - 31,7 - 63,5 = 4,8 \text{ г.}$$

1.4.1.2. Количество вещества

$$n_{MgO} = \frac{m_{MgO}}{M_{MgO}} = \frac{31,7}{40} = 0,8 \text{ моль,}$$

$$M_{MgO} = M_{Mg} + M_O = 24 + 16 = 40 \text{ г/моль};$$

$$n_{SiO_2} = \frac{m_{SiO_2}}{M_{SiO_2}} = \frac{63,5}{60} = 1,06 \text{ моль,}$$

$$M_{SiO_2} = M_{Si} + 2 \cdot M_O = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль};$$

$$n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} = \frac{4,8}{18} = 0,27 \text{ моль,}$$

$$M_{H_2O} = 2 \cdot M_H + M_O = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ г/моль.}$$



1.4.1.3. Соотношение количества вещества

$$n_{\text{MgO}} : n_{\text{SiO}_2} : n_{\text{H}_2\text{O}} = 0,8 : 1,06 : 0,27 = 3 : 4 : 1$$

1.4.1.4. Формула талька: $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

2 балл

1.4.2. Расчёт массы и количества вещества магнезия с учетом его массовой доли 5 % и массы концентрата 100 т.

$$m_{\text{Mg}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Mg}}^{\text{конц.}}}{100} \cdot m_{\text{конц.}} = \frac{5,0}{100} \cdot 100 = 5,0 \text{ т};$$
$$n_{\text{Mg}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Mg}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Mg}}} = \frac{5,0 \cdot 10^6}{24} = 0,21 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,21 \text{ Ммоль.}$$

1.4.3. Расчёт талька

1.4.3.1. Количество вещества талька с учетом п. 1.4.2.

$$n_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} = n_{\text{Mg}}^{\text{конц.}} / 3 = 0,21 / 3 = 0,07 \text{ Ммоль.}$$

1.4.3.2. Масса талька

$$m_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} = n_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} \cdot M_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 0,07 \cdot 10^6 \cdot 378 = 26,46 \text{ т.}$$

$$M_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 3 \cdot M_{\text{MgO}} + 4 \cdot M_{\text{SiO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} = 3 \cdot 40 + 4 \cdot 60 + 18 = 378 \text{ г/моль.}$$

1.4.3.3. Массовая доля талька

$$\omega_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}}}{m_{\text{конц.}}} \cdot 100 \% = \frac{26,46}{100} \cdot 100 = 26,46 \%.$$

$m_{\text{конц.}}$ - масса концентрата, 100 т.

1 балл

1.5. Расчёт алюминия

1.5.1. Вывод формулы каолинита - двухводного силиката алюминия с массовой долей оксида алюминия 40 %, оксида кремния 46 %

1.5.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 40 \text{ г};$$

$$m_{\text{SiO}_2} = 46 \text{ г};$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 100 - m_{\text{Al}_2\text{O}_3} - m_{\text{SiO}_2} = 100 - 40 - 46 = 14 \text{ г.}$$

1.5.1.2. Количество вещества

$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{M_{\text{Al}_2\text{O}_3}} = \frac{40}{102} = 0,39 \text{ моль,}$$

$$M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 2 \cdot M_{\text{Al}} + 3 \cdot M_{\text{O}} = 2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 = 102 \text{ г/моль;}$$

$$n_{\text{SiO}_2} = \frac{m_{\text{SiO}_2}}{M_{\text{SiO}_2}} = \frac{46}{60} = 0,77 \text{ моль,}$$

$$M_{\text{SiO}_2} = M_{\text{Si}} + 2 \cdot M_{\text{O}} = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль;}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{14}{18} = 0,78 \text{ моль,}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot M_{\text{H}} + M_{\text{O}} = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ г/моль.}$$

1.5.1.3. Соотношение количества вещества

$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3} : n_{\text{SiO}_2} : n_{\text{H}_2\text{O}} = 0,39 : 0,77 : 0,78 = 1 : 2 : 2$$

1.5.1.4. Формула каолинита: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

2 балл

1.5.2. Расчёт массы и количества вещества алюминия с учетом его массовой доли 2,65 % и массы концентрата 100 т.

$$m_{Al}^{конц.} = \frac{\omega_{Al}^{конц.}}{100} \cdot m_{конц.} = \frac{2,65}{100} \cdot 100 = 2,65 \text{ т};$$
$$n_{Al}^{конц.} = \frac{m_{Al}^{конц.}}{M_{Al}} = \frac{2,65 \cdot 10^6}{27} = 0,10 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,10 \text{ Ммоль}.$$

1.5.3. Расчёт каолинита

1.5.3.1. Количество вещества каолинита с учетом п. 1.5.2.

$$n_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}^{конц.} = n_{Al}^{конц.} / 2 = 0,10 / 2 = 0,05 \text{ Ммоль}.$$

1.5.3.2. Масса каолинита

$$m_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}^{конц.} = n_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}^{конц.} \cdot M_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} = 0,05 \cdot 10^6 \cdot 258 = 12,9 \text{ Ммоль};$$

$$M_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} = M_{Al_2O_3} + 2 \cdot M_{SiO_2} + 2 \cdot M_{H_2O} = 102 + 2 \cdot 60 + 2 \cdot 18 = 258 \text{ г/моль}.$$

1.5.3.3. Массовая доля каолинита

$$\omega_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}^{конц.} = \frac{m_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}^{конц.}}{m_{конц.}} \cdot 100 \% = \frac{12,9}{100} \cdot 100 = 12,9 \%$$

$m_{конц.}$ - масса концентрата, 100 т.

1 балл

1.6. Проверка справедливости расчётов п. 1.1 – 1.5 (не является обязательным и носит рекомендательный характер)

1.6.1. Вещественный состав концентрата

А) по массам веществ

$$m_{конц.} = m_{NiFeS_2}^{конц.} + m_{CuFeS_2}^{конц.} + m_{FeS_2}^{конц.} + m_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O}^{конц.} + m_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}^{конц.} + m_{H_2O}^{конц.} =$$
$$= 19,69 + 12,85 + 25,20 + 26,46 + 12,90 + 3,34 = 100,44 \text{ т}.$$

Б) по массовым долям веществ

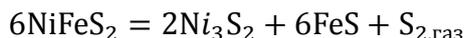
$$\omega_{конц.} = \omega_{NiFeS_2}^{конц.} + \omega_{CuFeS_2}^{конц.} + \omega_{FeS_2}^{конц.} + \omega_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O}^{конц.} + \omega_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}^{конц.} + \omega_{H_2O}^{конц.} =$$
$$= 19,69 + 12,85 + 25,20 + 26,46 + 12,90 + 3,34 = 100,44 \%$$

Небольшое расхождение допустимо и связано с точностью вычислений.

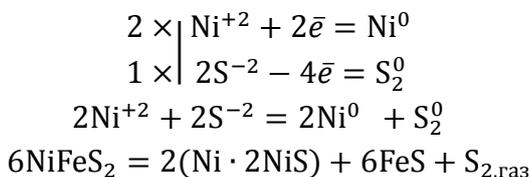
2. Уравнения реакций, протекающих при агломерирующем обжиге

2.1. Диссоциация высших сульфидов никеля, меди, железа

2.1.1. Диссоциация сульфида никеля



баланс электронов



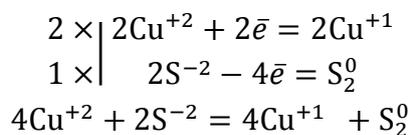
1 балл



2.1.2. Диссоциация халькопирита

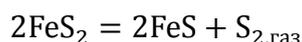


баланс электронов

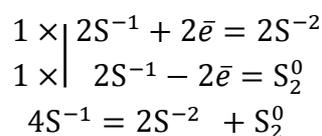


1 балл

2.1.3. Диссоциация пирита

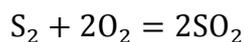


баланс электронов

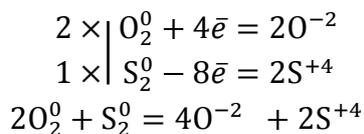


1 балл

2.2. Горение паров серы

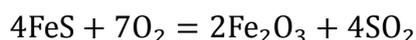


баланс электронов

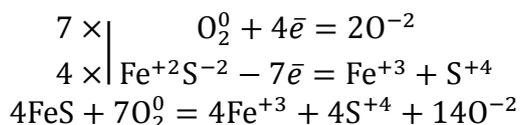


1 балл

2.3. Окисление сульфида железа

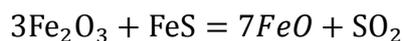


баланс электронов

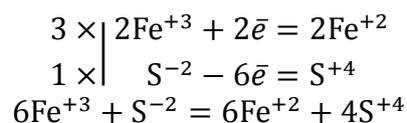


1 балл

2.4. При плавке на штейн – восстановление оксида железа



баланс электронов



1 балл

2.4.1. Вывод формулы оксида железа с массовой долей кислорода 22 %

2.4.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно



$$m_O = 22 \text{ г};$$

$$m_{Fe} = 100 - m_S = 100 - 22 = 78 \text{ г}.$$

2.4.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{Fe} = \frac{m_{Fe}}{M_{Fe}} = \frac{78}{56} = 1,39 \text{ моль};$$

$$n_O = \frac{m_O}{M_O} = \frac{22}{16} = 1,38 \text{ моль}.$$

2.4.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{Fe} : n_O = 1,39 : 1,38 = 1 : 1$$

2.4.1.4. Формула сульфида железа: FeO .

1 балл

3. Расчёт самоплавкого шлака

3.1. Расчёт железа

3.1.1. Количество вещества железа в шлаке вычисляют по степени извлечения железа в шлак $E_{Fe}^{шл.} = 71,54 \%$ с учетом п. 1.3.1.1.

$$n_{Fe}^{шл.} = \frac{E_{Fe}^{шл.}}{100} \cdot n_{Fe}^{конц.} = \frac{71,54}{100} \cdot 0,39 = 0,28 \text{ Ммоль}.$$

3.1.2. Количество вещества оксида железа в шлаке

$$n_{FeO}^{шл.} = n_{Fe}^{шл.} = 0,28 \text{ Ммоль}.$$

3.1.3. Масса оксида железа в шлаке

$$m_{FeO}^{шл.} = n_{FeO}^{шл.} \cdot M_{FeO} = 0,28 \cdot 10^6 \cdot 72 = 20,16 \cdot 10^6 \text{ г} = 20,16 \text{ т};$$
$$M_{FeO} = M_{Fe} + M_O = 56 + 16 = 72 \text{ г/моль}.$$

1 балл

3.2. Расчёт магния

Количество вещества и масса оксида магния с учетом п. 1.4.2.

$$n_{MgO}^{шл.} = n_{Mg}^{конц.} = 0,21 \text{ Ммоль};$$

$$m_{MgO}^{шл.} = n_{MgO}^{шл.} \cdot M_{MgO} = 0,21 \cdot 10^6 \cdot 40 = 8,4 \cdot 10^6 \text{ г} = 8,4 \text{ т};$$

$$M_{MgO} = M_{Mg} + M_O = 24 + 16 = 40 \text{ г/моль}.$$

1 балл

3.3. Расчёт алюминия

Количество вещества и масса оксида алюминия с учетом п. 1.5.2.

$$n_{Al_2O_3}^{шл.} = n_{Al}^{конц.} / 2 = 0,10 / 2 = 0,05 \text{ Ммоль};$$

$$m_{Al_2O_3}^{шл.} = n_{Al_2O_3}^{шл.} \cdot M_{Al_2O_3} = 0,05 \cdot 10^6 \cdot 102 = 5,1 \cdot 10^6 \text{ г} = 5,1 \text{ т};$$

$$M_{Al_2O_3} = 2 \cdot M_{Al} + 3 \cdot M_O = 2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 = 102 \text{ г/моль}.$$

1 балл

3.7. Расчёт кремния

3.7.1. Масса кремния с учетом его массовой доле в концентрате 10,53 % и массы концентрата 100 т.

$$m_{Si}^{шл.} = m_{Si}^{конц.} = \frac{\omega_{Si}^{конц.}}{100} \cdot m_{конц.} = \frac{10,53}{100} \cdot 100 = 10,53 \text{ т}.$$

3.7.2. Количество вещества оксида кремния



$$n_{SiO_2}^{шл.} = n_{Si}^{шл.} = \frac{m_{Si}^{шл.}}{M_{Si}} = \frac{10,53 \cdot 10^6}{28} = 0,38 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,38 \text{ Ммоль.}$$

3.7.3. Масса оксида кремния

$$m_{SiO_2}^{шл.} = n_{SiO_2}^{шл.} \cdot M_{SiO_2} = 0,38 \cdot 10^6 \cdot 60 = 22,8 \cdot 10^6 \text{ г} = 22,8 \text{ т};$$

$$M_{SiO_2} = M_{Si} + 2 \cdot M_O = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль.}$$

1 балл

3.8. Масса шлака

Рассчитывается как сумма масс оксидов железа (п. 3.1.3.), магния (п. 3.2.), алюминия (п. 3.3.) и кремния (п.3.7.3.)

$$\begin{aligned} m_{шл.} &= m_{FeO}^{шл.} + m_{MgO}^{шл.} + m_{Al_2O_3}^{шл.} + m_{SiO_2}^{шл.} = \\ &= 20,16 + 8,4 + 5,1 + 22,8 = 56,46 \text{ т.} \end{aligned}$$

1 балл

3.9. Состав шлака

Рассчитывается с учетом масс оксидов железа (п. 3.1.3.), магния (п. 3.2.), алюминия (п. 3.3.) и кремния (п.3.7.3.) и массы шлака (п. 3.9.)

$$\omega_{FeO}^{шл.} = \frac{m_{FeO}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100 \% = \frac{20,16}{56,46} \cdot 100 = 35,71 \%;$$

$$\omega_{MgO}^{шл.} = \frac{m_{MgO}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100 \% = \frac{8,40}{56,46} \cdot 100 = 14,88 \%;$$

$$\omega_{Al_2O_3}^{шл.} = \frac{m_{Al_2O_3}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100 \% = \frac{5,10}{56,46} \cdot 100 = 9,03 \%;$$

$$\omega_{SiO_2}^{шл.} = \frac{m_{SiO_2}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100 \% = \frac{22,80}{56,46} \cdot 100 = 40,38 \%.$$

Массовая доля оксида кремния не соответствует ТУ, согласно которым массовая доля оксида кремния должна составлять 48 %.

Оксид кальция в шлаке отсутствует, что также не соответствует ТУ, согласно которым массовая доля оксида кальция должна составлять 5 %.

1 балл

4. Расчёт флюсовой добавки

4.1. Масса шлака с составом по ТУ:

$$m_{шл.ТУ} = m_{шл.} + m_{SiO_2}^{\Phi} + m_{CaO}^{\Phi} \quad (1)$$

4.2. Масса оксида кремния в шлаке по ТУ:

$$m_{SiO_2}^{шл.ТУ} = \omega_{SiO_2}^{ТУ} \cdot m_{шл.ТУ} = m_{SiO_2}^{шл.} + m_{SiO_2}^{\Phi} \quad (2)$$

4.3. Масса оксида кальция в шлаке по ТУ:

$$m_{CaO}^{шл.ТУ} = \omega_{CaO}^{ТУ} \cdot m_{шл.ТУ} = m_{CaO}^{шл.} + m_{CaO}^{\Phi} \quad (3)$$

Неизвестными величинами являются $m_{SiO_2}^{\Phi}$ – флюсовая добавка кварца и m_{CaO}^{Φ} , на основании которой можно вычислить массу известняка, в котором $\omega_{CaO} = 56 \%$.

1 балл

4.4. Подставляя в систему уравнений (1) - (3) известные величины $m_{шл.}$ (п. 3.8.)

$\omega_{SiO_2}^{ТУ} = 0,48$; $\omega_{CaO}^{ТУ} = 0,05$; $m_{SiO_2}^{шл.}$ (п. 3.7.3.) и $m_{CaO}^{шл.} = 0$ получаем

$$m_{шл.ТУ} = 56,46 + m_{SiO_2}^{\Phi} + m_{CaO}^{\Phi}$$



$$0,48 \cdot m_{\text{шл.ту}} = 22,80 + m_{\text{SiO}_2}^{\Phi}$$

$$0,05 \cdot m_{\text{шл.ту}} = m_{\text{CaO}}^{\Phi}$$

Отсюда

$$m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} = 0,48 \cdot m_{\text{шл.ту}} - 22,80$$

$$m_{\text{CaO}}^{\Phi} = 0,05 \cdot m_{\text{шл.ту}}$$

Тогда

$$m_{\text{шл.ту}} = 56,46 + 0,48 \cdot m_{\text{шл.ту}} - 22,80 + 0,05 \cdot m_{\text{шл.ту}}$$

Получаем

$$0,47 \cdot m_{\text{шл.ту}} = 33,66$$

$$m_{\text{шл.ту}} = 71,62 \text{ т.}$$

1 балл

4.5. Масса флюсовой добавки кварца

$$m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} = 0,48 \cdot m_{\text{шл.ту}} - 22,80$$

$$m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} = 11,58 \text{ т.}$$

1 балл

4.6. Масса флюсовой добавки известняка с учетом массовой доли окиси кальция в нем 56 %

$$m_{\text{CaO}}^{\Phi} = 0,05 \cdot m_{\text{шл.ту}}$$

$$m_{\text{CaO}}^{\Phi} = 3,58 \text{ т;}$$

$$m_{\text{CaCO}_3} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\Phi}}{\omega_{\text{CaO}}} \cdot 100 = \frac{3,58}{0,56} = 6,39 \text{ т.}$$

1 балл

4.7. Новый состав шлака рассчитывают с учетом масс флюсовых добавок $m_{\text{SiO}_2}^{\Phi}$ (п. 4.5) и m_{CaO}^{Φ} (п. 4.6), а также масс оксидов железа (п. 3.1.3.), магния (п. 3.2.), алюминия (п. 3.3.) и кремния (п.3.7.3.) и массы шлака (п. 3.9.). Масса шлака рассчитана в п. 4.4.

$$\omega_{\text{FeO}}^{\text{шл.ту}} = \frac{m_{\text{FeO}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{20,16}{71,62} \cdot 100 = 28,15 \%;$$

$$\omega_{\text{MgO}}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{MgO}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{8,40}{71,62} \cdot 100 = 11,73 \%;$$

$$\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{5,10}{71,62} \cdot 100 = 7,12 \%;$$

$$\omega_{\text{CaO}}^{\text{шл.}} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{3,58}{71,62} \cdot 100 = 5,0 \%;$$

$$\omega_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.ту}} = \frac{m_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.ту}}}{m_{\text{шл.}}} \cdot 100 \% = \frac{34,38}{71,62} \cdot 100 = 48,0 \%.$$

$$m_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.ту}} = m_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.}} + m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} = 22,80 + 11,58 = 34,38 \text{ т.}$$

1 балл

Всего: 30 баллов



Ответ

1) Вещественный состав концентрата

вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
NiFeS_2	19,69	19,69
CuFeS_2	12,85	12,85
FeS_2	25,20	25,20
$3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	26,46	26,46
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	12,90	12,90
H_2O	3,34	3,34
Итого:	100,44	100,44

2) Вещественный состав самоплавкого шлака

вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
FeO	20,16	35,71
MgO	8,40	14,88
Al_2O_3	5,10	9,03
SiO_2	22,80	40,38
Итого:	56,46	100

3) Масса флюсовых добавок к шихте при плавке, масса и состав шлака с флюсовыми добавками.

$$m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} = 11,58 \text{ т.}$$

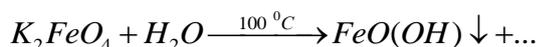
$$m_{\text{CaCO}_3} = 6,39 \text{ т.}$$

$$m_{\text{шл.ту}} = 71,62 \text{ т.}$$

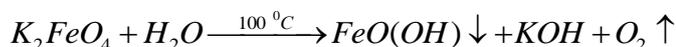
вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
FeO	20,16	28,15
MgO	8,40	11,73
Al_2O_3	5,10	7,12
CaO	3,58	5,00
SiO_2	34,38	48,00
Итого:	71,62	100

**ХИМИЯ****ВАРИАНТ 6****Задание 1 (5 баллов)**

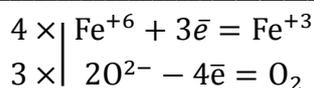
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнять, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, в сокращенной ионно-молекулярной форме:



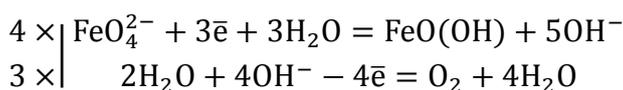
Решение



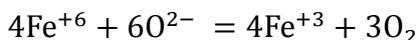
1 балл



или



2 балла



или



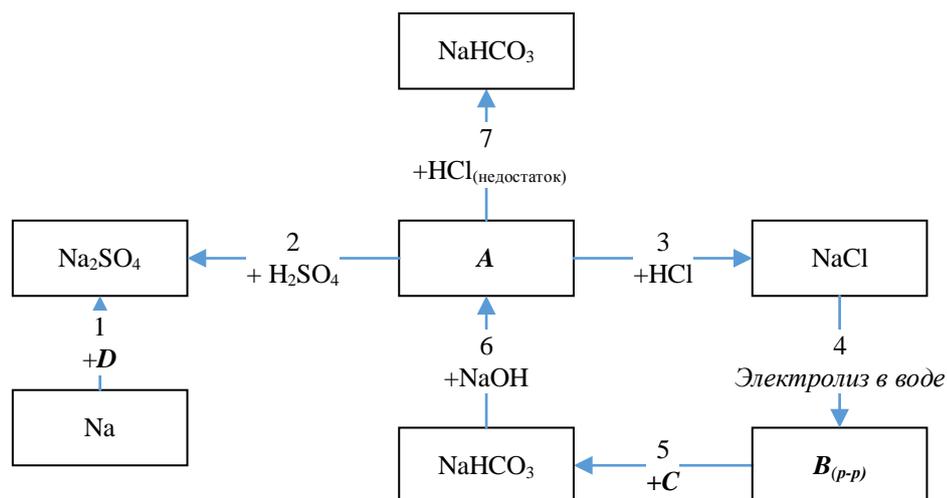
1 балл



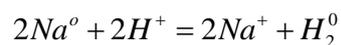
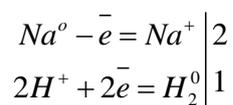
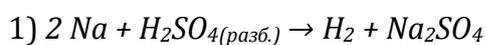
1 балл

Задание 2 (10 баллов)

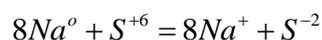
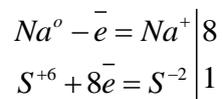
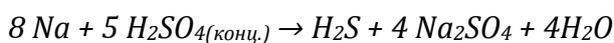
Определите формулы веществ *A*, *B*, *C*, *D*. Напишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакции, с помощью которых можно осуществить следующие химические превращения. Вещества в цепочке могут находиться как в твердом состоянии, так и в растворе. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полуреакций:



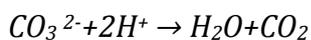
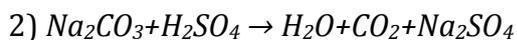
Решение:



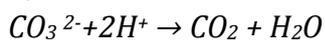
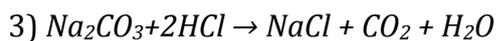
или



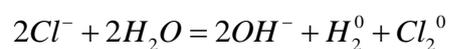
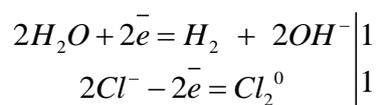
2 балл



1 балл



2 балл





	2 балла
5) $\text{NaOH}_{(\text{недостаток})} + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{OH}^- + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	
6) $\text{NaOH} + \text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{OH}^- + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	1 балл
7) $\text{HCl}_{(\text{недостаток})} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	1 балл

Ответ: **A** – Na_2CO_3 ; **B** - NaOH ; **C** – H_2CO_3 ; **D** - H_2SO_4 .

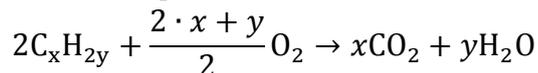
Задание 3 (15 баллов)

Углеводород ациклического строения и кислород находятся при давлении P_0 в закрытом герметичном сосуде в стехиометрических количествах. После полного сгорания углеводорода в сосуде давление стало P . Написать возможные формулы углеводорода, удовлетворяющие условию $P \leq P_0$, если вода находится в виде пара и температура системы не изменилась.

Решение:

1. Молекулярная формула углеводорода ациклического строения: C_xH_{2y} .

Реакция взаимодействия с кислородом:



По уравнению Менделеева-Клайперона при $V, T = \text{const}$ давление прямопропорционально числу молей газообразных веществ:

$$n_{\text{O}_2} = \frac{2 \cdot x + y}{2} \cdot n_{\text{C}_x\text{H}_{2y}} \text{ моль}$$

$$n_{\text{CO}_2} = x \cdot n_{\text{C}_x\text{H}_{2y}} \text{ моль}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = y \cdot n_{\text{C}_x\text{H}_{2y}} \text{ моль}$$

5 балла

2. При условии $P \leq P_0$ число молей образующихся веществ не должно превышать числа молей исходных:

$$n_{\text{C}_x\text{H}_{2y}} + \frac{2 \cdot x + y}{2} \cdot n_{\text{C}_x\text{H}_{2y}} \geq x \cdot n_{\text{C}_x\text{H}_{2y}} + y \cdot n_{\text{C}_x\text{H}_{2y}}$$

$$y \leq 2$$

y может принимать только целочисленные значения: $y=1$.



5 балла

3. Соответствующее возможной формуле химического соединения при соблюдения условия, что $y=1$ значение $x=1$.

Формула органического соединения: C_2H_2 .

При $y=2$ формула органического соединения имеет вид – C_xH_4 . Соответствующее возможной формуле химического соединения при соблюдения условия, что $y=2$ могут быть три значения x :

$x=1$ – CH_4 ; $x=2$ – C_2H_4 ; $x=3$ – C_3H_4 .

5 балла

Задание 4 (20 баллов)

Лаборант отдал пробу, состоящую исключительно из карбидов магния и кальция на неинвазивный количественный анализ, после чего получил пробу и результаты обратно. По результатам анализа определили, что суммарная масса магния и кальция в смеси карбидов составляет 44,3 г, однако точные массовые доли двух металлов в смеси карбидов установить не удалось. Для точного определения состава лаборант поместил всю смесь карбидов, содержащую 44,3 г магния и кальция в раствор 10 % соляной кислоты, в которой она полностью растворилась, при этом выделилось 22,4 л газа (н.у.). Определите массовые доли магния и кальция в исходной смеси карбидов и объемные доли полученных при реакции с соляной кислотой газов. Свои размышления подтвердите химическими реакциями.

Реакция:

Карбиды алюминия и кальция реагируют с соляной кислотой по реакциям (1) и (2):



5 баллов

Общее количество выделившегося газа:

$$n(\text{газа}) = 22,4/22,4 = 1,0 \text{ моль}$$

Пусть метана выделилось x моль, тогда ацетилена выделилось $(1,0 - x)$ моль. На это было израсходовано x моль Mg_2C и $(1,0 - x)$ моль CaC_2 . В этих карбидах содержится $2x$ моль Mg и $(1 - x)$ моль Ca.

5 баллов

Тогда справедливо равенство:

$$44,3 = (2 \cdot x) \cdot M_{(Mg)} + (1,0 - x) \cdot M_{(Ca)}$$

$$44,3 = (2 \cdot x) \cdot 24,3 + (1,0 - x) \cdot 40,0$$

Решим относительно x :

$$x = 0,5 \text{ моль}$$

Тогда, в исходной смеси было:

$$n(Mg) = 2x = 1,0 \text{ моль};$$

$$n(Ca) = (1,0 - x) = (1,0 - 0,5) = 0,5 \text{ моль};$$



$$m(\text{Mg}) = 1,0 \cdot 24,3 = 24,3 \text{ г};$$

$$m(\text{Ca}) = 0,5 \cdot 40 = 20 \text{ г}$$

Получим массу карбида магния и кальция:

$$m(\text{Mg}_2\text{C}) = 0,5 \cdot M(\text{Mg}_2\text{C}) = 0,5 \cdot 60,6 = 30,3 \text{ г}$$

$$m(\text{CaC}_2) = (1,0 - 0,5) \cdot M(\text{CaC}_2) = (1,0 - 0,5) \cdot 64 = 32,0 \text{ г}$$

5 баллов

Массовые доли магния и кальция в смеси карбидов:

$$\omega_{\text{Mg в смеси}} = 24,3 \cdot 100\% / (30,3 + 32,0) = 39,00 \%$$

$$\omega_{\text{Ca в смеси}} = 20,0 \cdot 100\% / (30,3 + 32,0) = 32,10 \%$$

выделилось газа:

$$n(\text{CH}_4) = x = 0,5 \text{ моль}$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_2) = (1,0 - x) = 0,5 \text{ моль}$$

$$\omega_{\text{CH}_4} = 0,5 \cdot 100\% / 1 = 50,00 \%$$

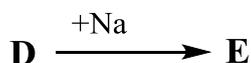
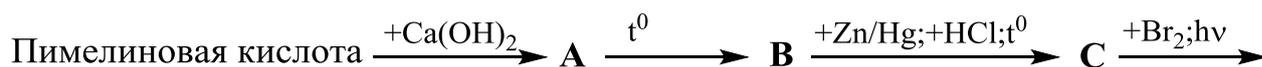
$$\omega_{\text{C}_2\text{H}_2} = 0,5 \cdot 100\% / (1) = 50,00 \%$$

5 баллов

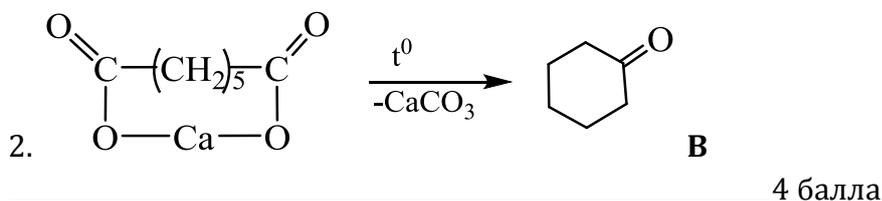
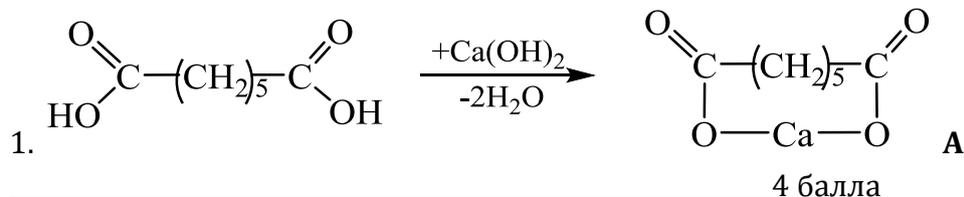
Ответ: в исходной смеси: $\omega_{\text{Mg в смеси}} = 39,00 \%$; $\omega_{\text{Ca в смеси}} = 32,10 \%$; в полученном газе: $\omega_{\text{CH}_4} = 50,00 \%$; $\omega_{\text{C}_2\text{H}_2} = 50,00 \%$

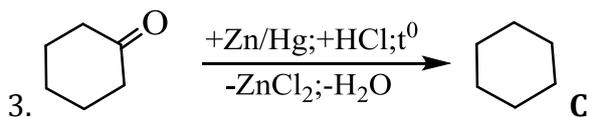
Задание 5 (20 баллов)

Предложите формулы органических веществ и уравнения химических реакций в соответствии со схемой превращений.

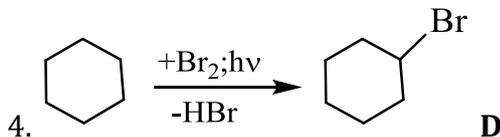


Решение:

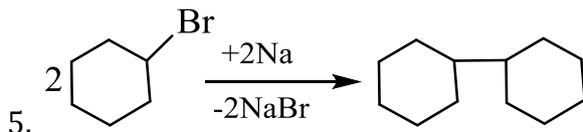




4 балла



4 балла



E

4 балла

Задание 6 (30 баллов)

Конвертирование штейнов является завершающей стадией получения черновой меди в пирометаллургическом переделе сульфидных руд. Выход штейна составляет 30 % от массы рудного концентрата, суточный расход которого составляет около 1000 т.

Процесс конвертирования медных штейнов делится на два периода. Первый период – набор сульфидной массы. При этом происходит горение сульфида железа и сульфида никеля, образование оксида железа с массовой долей кислорода 22 %, который переходит в шлак в форме силиката железа (II) с массовой долей оксида кремния 29 %, вместе с оксидами кремния, кальция и алюминия. Частично в шлак в оксидной форме переходит никель. Процесс протекает при температуре от 1200 до 1280 °С.

Второй период – получение черновой меди за счёт взаимодействия низшего сульфида меди с кислородом. Готовую черновую медь разливают в слитки массой 2 тонны и отправляют на рафинировочные заводы. Черновая медь содержит 99,5 % меди. Примеси представлены никелем.

Для медного штейна, содержащего (массовые доли) 40,22 % меди в виде сульфида с массовой долей серы 20,13 %; 2,95 % никеля в виде сульфида с массовой долей серы 21,42 %; 27,5 % железа – частично в форме сульфида с массовой долей серы 36 %, частично в форме железной окалины с массовой долей кислорода 27,6 %; 1,52 % кремния в оксидной форме; 25,13 % серы и 2,7 % кислорода.

1) Рассчитать вещественный состав штейна.

2) Составить уравнения реакций, происходящих при конвертировании.

3) Рассчитать вещественный состав самоплавкого шлака (массовые доли оксидов элементов), получаемого без флюсовых добавок (потерями меди в шлак пренебречь) и сравнить полученный результат с заводскими показателями по массовой доле оксида кремния – 35 % и оксида кальция – 5 %.

4) Рассчитать количество флюсовых добавок – известняка (массовая доля окиси кальция 56 %) и кварца (100 % двуокись кремния), необходимых для приведения состава шлака к



заводским показателям. Рассчитать массу и состав шлака (массовые доли оксидов элементов), получаемого с флюсовыми добавками.

Решение

1. Расчёт штейна

1.1. Расчёт массы штейна

Ведут по величине выхода штейна $E_{\text{шт.}} = 30\%$ и массе рудного концентрата 1000 т.

$$m_{\text{шт.}} = \frac{E_{\text{шт.}}}{100} \cdot m_{\text{конц.}} = \frac{30}{100} \cdot 1000 = 300 \text{ т.}$$

1.2. Расчёт меди

1.2.1. Вывод формулы сульфида меди, массовая доля серы 20,13 %

1.2.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_S = 20,13 \text{ г;}$$

$$m_{Cu} = 100 - m_S = 100 - 20,13 = 79,87 \text{ г.}$$

1.2.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{Cu} = \frac{m_{Cu}}{M_{Cu}} = \frac{79,87}{63,5} = 1,26 \text{ моль;}$$

$$n_S = \frac{m_S}{M_S} = \frac{20,13}{32} = 0,63 \text{ моль.}$$

1.2.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{Cu} : n_S = 1,26 : 0,63 = 2 : 1$$

1.2.1.4. Формула сульфида меди: Cu_2S .

1 балл

1.2.2. Расчёт сульфида меди

1.2.2.1 Масса меди с учетом ее массовой доли в штейне 40,22 % и п.1.1.

$$m_{Cu}^{\text{шт.}} = \frac{\omega_{Cu}^{\text{шт.}}}{100} \cdot m_{\text{шт.}} = \frac{40,22}{100} \cdot 300 = 120,66 \text{ т.}$$

1.2.2.2 Количество вещества меди

$$n_{Cu}^{\text{шт.}} = \frac{m_{Cu}^{\text{шт.}}}{M_{Cu}} = \frac{120,66 \cdot 10^6}{63,5} = 1,9 \cdot 10^6 \text{ моль} = 1,9 \text{ Ммоль}$$

1.2.2.3 Количество вещества сульфида меди

$$n_{Cu_2S}^{\text{шт.}} = n_{Cu}^{\text{шт.}} / 2 = 1,9 / 2 = 0,95 \text{ Ммоль.}$$

1.2.2.4 Масса сульфида меди

$$m_{Cu_2S}^{\text{шт.}} = n_{Cu_2S}^{\text{шт.}} \cdot M_{Cu_2S} = 0,95 \cdot 10^6 \cdot 159 = 151,05 \cdot 10^6 \text{ г} = 151,05 \text{ т;}$$

$$M_{Cu_2S} = 2 \cdot M_{Cu} + M_S = 2 \cdot 63,5 + 32 = 159 \text{ г/моль.}$$

1.2.2.5 Массовая доля сульфида меди с учетом п. 1.1.

$$\omega_{Cu_2S}^{\text{шт.}} = \frac{m_{Cu_2S}^{\text{шт.}}}{m_{\text{шт.}}} \cdot 100\% = \frac{151,05}{300} \cdot 100 = 50,35\%.$$

1 балл

1.3. Расчёт никеля

1.3.1. Вывод формулы сульфида никеля, массовая доля серы 21,42 %

1.3.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_S = 21,42 \text{ г;}$$



$$m_{Ni} = 100 - m_S = 100 - 21,42 = 78,58 \text{ г.}$$

1.3.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{Ni} = \frac{m_{Ni}}{M_{Ni}} = \frac{78,58}{59} = 1,33 \text{ моль;}$$

$$n_S = \frac{m_S}{M_S} = \frac{21,42}{32} = 0,67 \text{ моль.}$$

1.3.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{Ni} : n_S = 1,33 : 0,67 = 2 : 1$$

1.3.1.4. Формула сульфида никеля: Ni_2S .

1 балл

1.3.2. Расчёт сульфида никеля

1.3.2.1 Масса никеля с учетом его массовой доли 2,95 % и п.1.1.

$$m_{Ni}^{шт.} = \frac{\omega_{Ni}^{шт.}}{100} \cdot m_{шт.} = \frac{2,95}{100} \cdot 300 = 8,85 \text{ т.}$$

1.3.2.2 Количество вещества никеля

$$n_{Ni}^{шт.} = \frac{m_{Ni}^{шт.}}{M_{Ni}} = \frac{8,85 \cdot 10^6}{59} = 0,15 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,15 \text{ Ммоль}$$

1.3.2.3 Количество вещества сульфида никеля

$$n_{Ni_2S}^{шт.} = n_{Ni}^{шт.} / 2 = 0,15 / 2 = 0,075 \text{ Ммоль.}$$

1.3.2.4 Масса сульфида никеля

$$m_{Ni_2S}^{шт.} = n_{Ni_2S}^{шт.} \cdot M_{Ni_2S} = 0,075 \cdot 10^6 \cdot 150 = 11,25 \cdot 10^6 \text{ г} = 11,25 \text{ т;}$$

$$M_{Ni_2S} = 2 \cdot M_{Ni} + M_S = 2 \cdot 59 + 32 = 150 \text{ г/моль.}$$

1.2.2.5 Массовая доля сульфида никеля с учетом п. 1.1.

$$\omega_{Ni_2S}^{шт.} = \frac{m_{Ni_2S}^{шт.}}{m_{шт.}} \cdot 100 \% = \frac{11,25}{300} \cdot 100 = 3,75 \%.$$

1 балл

1.4. Расчёт серы

1.4.1. Масса серы с учетом ее массовой доли 25,13 % и п. 1.1.

$$m_S^{шт.} = \frac{\omega_S^{шт.}}{100} \cdot m_{шт.} = \frac{25,13}{100} \cdot 300 = 75,39 \text{ т.}$$

1.4.2 Количество вещества серы

$$n_S^{шт.} = \frac{m_S^{шт.}}{M_S} = \frac{75,39 \cdot 10^6}{32} = 2,36 \cdot 10^6 \text{ моль} = 2,36 \text{ Ммоль}$$

1 балл

1.5. Расчёт железа

1.5.1. Масса железа с учетом его массовой доли 27,5 % и п. 1.1.

$$m_{Fe}^{шт.} = \frac{\omega_{Fe}^{шт.}}{100} \cdot m_{шт.} = \frac{27,5}{100} \cdot 300 = 82,5 \text{ т.}$$

1.5.2 Количество вещества железа

$$n_{Fe}^{шт.} = \frac{m_{Fe}^{шт.}}{M_{Fe}} = \frac{82,5 \cdot 10^6}{56} = 1,47 \cdot 10^6 \text{ моль} = 1,47 \text{ Ммоль.}$$



1.5.3. Вывод формулы сульфида железа, массовая доля серы 36,0 %

1.5.3.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_S = 36,0 \text{ г};$$

$$m_{Fe} = 100 - m_S = 100 - 36,0 = 64,0 \text{ г.}$$

1.5.3.2. Количество вещества элементов

$$n_{Fe} = \frac{m_{Fe}}{M_{Fe}} = \frac{64,0}{56} = 1,14 \text{ моль};$$

$$n_S = \frac{m_S}{M_S} = \frac{36}{32} = 1,13 \text{ моль.}$$

1.5.3.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{Fe}:n_S = 1,14 : 1,13 = 1 : 1$$

1.5.3.4. Формула сульфида железа: FeS .

1 балл

1.5.4. Расчёт массовой доли сульфида железа

1.5.4.1 Количество вещества серы в сульфиде железа с учётом п.п. 1.4.2, 1.2.2.3, 1.3.2.3

$$n_S^{FeS} = n_S^{шт.} - n_{Cu_2S}^{шт.} - n_{Ni_2S}^{шт.} = 2,36 - 0,95 - 0,075 = 1,335 \text{ Ммоль.}$$

1.5.4.2. Количество вещества сульфида железа

$$n_{FeS}^{шт.} = n_S^{FeS} = 1,335 \text{ Ммоль.}$$

1.5.4.3. Масса сульфида железа

$$m_{FeS}^{шт.} = n_{FeS}^{шт.} \cdot M_{FeS} = 1,335 \cdot 10^6 \cdot 88 = 117,48 \cdot 10^6 \text{ г} = 117,48 \text{ т};$$

$$M_{FeS} = M_{Fe} + M_S = 56 + 32 = 88 \text{ г/моль.}$$

1.2.2.5 Массовая доля сульфида железа с учетом п. 1.1.

$$\omega_{FeS}^{шт.} = \frac{m_{FeS}^{шт.}}{m_{шт.}} \cdot 100 \% = \frac{117,48}{300} \cdot 100 = 39,16 \%.$$

2 балл

1.5.5. Вывод формулы оксида железа, массовая доля кислорода 27,6 %

1.5.5.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_O = 27,6 \text{ г};$$

$$m_{Fe} = 100 - m_O = 100 - 27,6 = 72,4 \text{ г.}$$

1.5.5.2. Количество вещества элементов

$$n_{Fe} = \frac{m_{Fe}}{M_{Fe}} = \frac{72,4}{56} = 1,3 \text{ моль};$$

$$n_O = \frac{m_O}{M_O} = \frac{27,6}{16} = 1,7 \text{ моль.}$$

1.5.5.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{Fe}:n_O = 1,3:1,7 = 1 : 1,3 = 3 : 4.$$

1.5.5.4. Формула оксида железа: Fe_3O_4 .

1 балл

1.5.6. Расчёт оксида железа (железной окалины)

1.5.6.1. Количество железа в оксиде с учётом п.п. 1.5.2, 1.5.4.2

$$n_{Fe}^{Fe_3O_4} = n_{Fe}^{шт.} - n_{FeS}^{шт.} = 1,47 - 1,335 = 0,135 \text{ Ммоль.}$$

1.5.6.2. Количество вещества железной окалины



$$n_{Fe_3O_4}^{шт.} = n_{Fe}^{Fe_3O_4} / 3 = 0,135 / 3 = 0,045 \text{ Ммоль.}$$

1.5.6.3 Масса железной окалины

$$m_{Fe_3O_4}^{шт.} = n_{Fe_3O_4}^{шт.} \cdot M_{Fe_3O_4} = 0,045 \cdot 10^6 \cdot 232 = 10,44 \cdot 10^6 \text{ г} = 10,44 \text{ т};$$

$$M_{Fe_3O_4} = 3 \cdot M_{Fe} + 4 \cdot M_O = 3 \cdot 56 + 4 \cdot 16 = 232 \text{ г/моль.}$$

1.5.6.4. Массовая доля железной окалины с учетом п. 1.1.

$$\omega_{Fe_3O_4}^{шт.} = \frac{m_{Fe_3O_4}^{шт.}}{m_{шт.}} \cdot 100 \% = \frac{10,44}{300} \cdot 100 = 3,48 \%.$$

1 балл

1.6. Расчёт кремния

1.6.1. Масса кремния с учетом его массовой доли 1,52 % и п. 1.1.

$$m_{Si}^{шт.} = \frac{\omega_{Si}^{шт.}}{100} \cdot m_{шт.} = \frac{1,52}{100} \cdot 300 = 4,56 \text{ т.}$$

1.6.2. Количество вещества кремния

$$n_{Si}^{шт.} = \frac{m_{Si}^{шт.}}{M_{Si}} = \frac{4,56 \cdot 10^6}{28} = 0,16 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,16 \text{ Ммоль.}$$

1.6.3. Количество вещества оксида кремния

$$n_{SiO_2}^{шт.} = n_{Si}^{шт.} = 0,16 \text{ Ммоль.}$$

1.6.4. Масса оксида кремния

$$m_{SiO_2}^{шт.} = n_{SiO_2}^{шт.} \cdot M_{SiO_2} = 0,16 \cdot 10^6 \cdot 60 = 9,6 \cdot 10^6 \text{ г} = 9,6 \text{ т};$$

$$M_{SiO_2} = M_{Si} + 2 \cdot M_O = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль.}$$

1.6.5. Массовая доля оксида кремния с учетом п. 1.1.

$$\omega_{SiO_2}^{шт.} = \frac{m_{SiO_2}^{шт.}}{m_{шт.}} \cdot 100 \% = \frac{9,6}{300} \cdot 100 = 3,2 \%.$$

1 балл

1.7. Проверка справедливости расчётов п. 1.1 – 1.5 (не является обязательным и носит рекомендательный характер)

1.7.1. Вещественный состав штейна

А) по массам веществ

$$m_{шт.} = m_{Cu_2S}^{шт.} + m_{Ni_2S}^{шт.} + m_{FeS}^{шт.} + m_{Fe_3O_4}^{шт.} + m_{SiO_2}^{шт.} = \\ = 151,05 + 11,25 + 117,48 + 10,44 + 9,6 = 299,82 \text{ т.}$$

Б) по массовым долям веществ

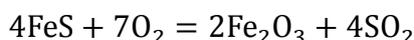
$$\omega_{шт.} = \omega_{Cu_2S}^{шт.} + \omega_{Ni_2S}^{шт.} + \omega_{FeS}^{шт.} + \omega_{Fe_3O_4}^{шт.} + \omega_{SiO_2}^{шт.} = \\ = 50,35 + 3,75 + 39,16 + 3,48 + 3,2 = 99,94 \%$$

Небольшое расхождение допустимо и связано с точностью вычислений.

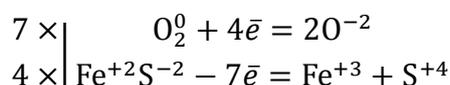
2. Уравнения реакций, происходящих при конвертировании

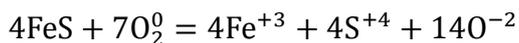
2.1. Первый период

2.1.1. Горение сульфида железа



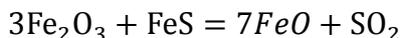
баланс электронов



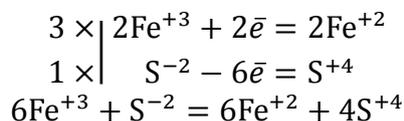


1 балл

2.1.2. Восстановление оксида железа



баланс электронов



1 балл

2.1.3. Образование силиката железа

Вывод формулы силиката железа с массовой долей оксида кремния $\omega_{\text{SiO}_2} = 29\%$

1 балл

2.1.3.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_{\text{SiO}_2} = 29,0 \text{ г};$$

$$m_{\text{FeO}} = 100 - m_{\text{SiO}_2} = 100 - 29,0 = 71,0 \text{ г}.$$

2.1.3.2. Количество вещества элементов

$$n_{\text{FeO}} = \frac{m_{\text{FeO}}}{M_{\text{FeO}}} = \frac{71,0}{72} = 0,99 \text{ моль};$$

$$n_{\text{SiO}_2} = \frac{m_{\text{SiO}_2}}{M_{\text{SiO}_2}} = \frac{29,0}{28} = 0,48 \text{ моль}.$$

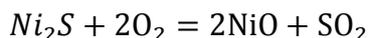
2.1.3.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{FeO}} : n_{\text{SiO}_2} = 0,99 : 0,48 = 2 : 1$$

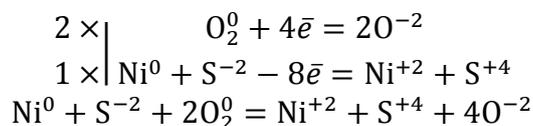
2.1.3.4. Формула силиката железа: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$.

1 балл

2.1.4. Горение сульфида никеля

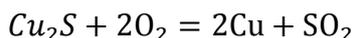


баланс электронов

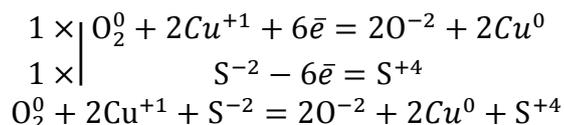


1 балл

2.2. Второй период – получение черновой меди



баланс электронов



1 балл

3. Расчёт самоплавкого шлака

3.1. Расчёт никеля

3.1.1. Масса меди в черновой меди согласно п. 1.2.2.1



$$m_{Cu}^{ч.м.} = m_{Cu}^{шт.} = 120,66 \text{ т.}$$

3.1.2. Масса черновой меди с учетом массовой доли меди 99,5 %

$$m_{ч.м.} = \frac{m_{Cu}^{ч.м.}}{\omega_{Cu}^{ч.м.}} \cdot 100 = \frac{120,66}{99,5} \cdot 100 = 121,27 \text{ т.}$$

1 балл

3.1.3. Масса примеси – никель, вычисляют по массовой доле меди в продукте $\omega_{Cu}^{ч.м.} = 99,5 \%$

$$m_{Ni}^{ч.м.} = \frac{100 - \omega_{Cu}^{ч.м.}}{100} \cdot m_{ч.м.} = \frac{100 - 99,5}{100} \cdot 121,27 = 0,61 \text{ т.}$$

или по разности масс чистой и черновой меди:

$$m_{Ni}^{ч.м.} = m_{ч.м.} - m_{Cu}^{ч.м.} = 121,27 - 120,66 = 0,61 \text{ т.}$$

1 балл

3.1.4. Масса никеля в шлаке с учётом п. 1.3.2.1

$$m_{Ni}^{шл.} = m_{Ni}^{шт.} - m_{Ni}^{ч.м.} = 8,85 - 0,61 = 8,24 \text{ т.}$$

3.1.5. Количество вещества оксида никеля в шлаке

$$n_{NiO}^{шл.} = n_{Ni}^{шл.} = \frac{m_{Ni}^{шл.}}{M_{Ni}} = \frac{8,24 \cdot 10^6}{59} = 0,14 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,14 \text{ Ммоль.}$$

3.1.6. Масса оксида никеля в шлаке

$$m_{NiO}^{шл.} = n_{NiO}^{шл.} \cdot M_{NiO} = 0,14 \cdot 10^6 \cdot 75 = 10,5 \cdot 10^6 \text{ г} = 10,5 \text{ т};$$
$$M_{NiO} = M_{Ni} + M_{O} = 59 + 16 = 72 \text{ г/моль.}$$

1 балл

3.2. Расчёт кремния

Масса оксида кремния в шлаке с учетом п. 1.6.4.

$$m_{SiO_2}^{шл.} = m_{SiO_2}^{шт.} = 9,6 \text{ т.}$$

1 балл

3.3. Расчёт железа

3.3.1. Вывод формулы оксида железа, массовая доля кислорода 22 %

3.3.1.1. Принимают массу вещества равной 100 г – 100 %. Следовательно

$$m_{O} = 22 \text{ г};$$

$$m_{Fe} = 100 - m_{O} = 100 - 22 = 78 \text{ г.}$$

3.3.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{Fe} = \frac{m_{Fe}}{M_{Fe}} = \frac{78}{56} = 1,4 \text{ моль};$$

$$n_{O} = \frac{m_{O}}{M_{O}} = \frac{22}{16} = 1,4 \text{ моль.}$$

3.3.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{Fe} : n_{O} = 1,4 : 1,4 = 1 : 1.$$

3.3.1.4. Формула оксида железа: FeO .

1 балл

3.3.2. Масса железа согласно п. 1.5.1

$$m_{Fe}^{шл.} = m_{Fe}^{шт.} = 82,5 \text{ т.}$$



3.3.3. Количество вещества оксида железа согласно п. 1.5.2

$$n_{FeO}^{шл.} = n_{Fe}^{шл.} = n_{Fe}^{шт.} = 1,47 \text{ Ммоль}$$

3.3.4. Масса оксида железа

$$m_{FeO}^{шл.} = n_{FeO}^{шл.} \cdot M_{FeO} = 1,47 \cdot 10^6 \cdot 72 = 105,84 \cdot 10^6 \text{ г} = 105,84 \text{ т};$$
$$M_{FeO} = M_{Fe} + M_{O} = 56 + 16 = 72 \text{ г/моль.}$$

1 балл

3.4. Масса самоплавкого шлака

Рассчитывается как сумма масс оксидов никеля (п. 3.1.6.), железа (п. 3.3.4.) и кремния (п. 3.2.)

$$m_{шл.} = m_{NiO}^{шл.} + m_{FeO}^{шл.} + m_{SiO_2}^{шт.} = 10,5 + 105,84 + 9,6 = 125,94 \text{ т.}$$

1 балл

3.5. Состав самоплавкого шлака

Рассчитывается с учетом масс оксидов никеля (п. 3.1.6.), железа (п. 3.3.4.) и кремния (п. 3.2.) и массы шлака (п. 3.4.)

$$\omega_{NiO}^{шт.} = \frac{m_{NiO}^{шт.}}{m_{шл.}} \cdot 100 \% = \frac{10,5}{125,94} \cdot 100 = 8,34 \%$$
$$\omega_{FeO}^{шт.} = \frac{m_{FeO}^{шт.}}{m_{шл.}} \cdot 100 \% = \frac{105,84}{125,94} \cdot 100 = 84,04 \%$$
$$\omega_{SiO_2}^{шт.} = \frac{m_{SiO_2}^{шт.}}{m_{шл.}} \cdot 100 \% = \frac{9,6}{125,94} \cdot 100 = 7,62 \%$$

Состав самоплавкого шлака не соответствует ТУ по массовой доле оксида кремния 35 % и оксида кальция 5 %.

1 балл

4. Расчёт флюса

4.1. Масса шлака с составом по ТУ:

$$m_{шл.ТУ} = m_{шл.} + m_{SiO_2}^{\Phi} + m_{CaO}^{\Phi} \quad (1)$$

4.2. Масса оксида кремния в шлаке по ТУ:

$$m_{SiO_2}^{шл.ТУ} = \omega_{SiO_2}^{ТУ} \cdot m_{шл.ТУ} = m_{SiO_2}^{шл.} + m_{SiO_2}^{\Phi} \quad (2)$$

4.3. Масса оксида кальция в шлаке по ТУ:

$$m_{CaO}^{шл.ТУ} = \omega_{CaO}^{ТУ} \cdot m_{шл.ТУ} = m_{CaO}^{шл.} + m_{CaO}^{\Phi} \quad (3)$$

Неизвестными величинами являются $m_{SiO_2}^{\Phi}$ - флюсовая добавка кварца и m_{CaO}^{Φ} , на основании которой можно вычислить массу известняка, в котором $\omega_{CaO} = 56 \%$.

1 балл

4.4. Подставляя в систему уравнений (1) - (3) известные величины $m_{шл.}$ (п. 3.4.) $\omega_{SiO_2}^{ТУ} = 0,35$; $\omega_{CaO}^{ТУ} = 0,05$; $m_{SiO_2}^{шл.}$ (п. 3.2.) и $m_{CaO}^{шл.} = 0$ получаем

$$m_{шл.ТУ} = 125,94 + m_{SiO_2}^{\Phi} + m_{CaO}^{\Phi}$$
$$0,35 \cdot m_{шл.ТУ} = 9,6 + m_{SiO_2}^{\Phi}$$
$$0,05 \cdot m_{шл.ТУ} = m_{CaO}^{\Phi}$$

Отсюда

$$m_{SiO_2}^{\Phi} = 0,35 \cdot m_{шл.ТУ} - 9,6$$
$$m_{CaO}^{\Phi} = 0,05 \cdot m_{шл.ТУ}$$



Тогда

$$m_{\text{шл.ту}} = 125,94 + 0,35 \cdot m_{\text{шл.ту}} - 9,6 + 0,05 \cdot m_{\text{шл.ту}}$$

Получаем

$$0,60 \cdot m_{\text{шл.ту}} = 116,34$$

$$m_{\text{шл.ту}} = 193,9 \text{ т.}$$

1 балл

4.5. Масса флюсовой добавки кварца

$$m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} = 0,35 \cdot m_{\text{шл.ту}} - 9,6$$

$$m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} = 58,27 \text{ т.}$$

1 балл

4.6. Масса флюсовой добавки известняка с учетом массовой доли окиси кальция в нем 56 %

$$m_{\text{CaO}}^{\Phi} = 0,05 \cdot m_{\text{шл.ту}}$$

$$m_{\text{CaO}}^{\Phi} = 9,70 \text{ т;}$$

$$m_{\text{CaCO}_3} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\Phi}}{\omega_{\text{CaO}}} \cdot 100 = \frac{9,70}{0,56} = 17,32 \text{ т.}$$

1 балл

4.7. Новый состав шлака рассчитывают с учетом масс флюсовых добавок $m_{\text{SiO}_2}^{\Phi}$ (п. 4.5) и m_{CaO}^{Φ} (п. 4.6), оксидов никеля (п. 3.1.6.), железа (п. 3.3.4.) и кремния (п. 3.2.). Масса шлака рассчитана в п. 4.4.

$$\omega_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.ту.}} = \frac{m_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.ту.}}}{m_{\text{шл.ту}}} \cdot 100 \% = \frac{m_{\text{SiO}_2}^{\text{шл.}} + m_{\text{SiO}_2}^{\Phi}}{m_{\text{шл.ту}}} \cdot 100 \% = \frac{9,6 + 58,27}{193,9} \cdot 100 = 35,0 \%;$$

$$\omega_{\text{CaO}}^{\text{шл.ту.}} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\Phi}}{m_{\text{шл.ту}}} \cdot 100 \% = \frac{9,7}{193,9} \cdot 100 = 5,0 \%;$$

$$\omega_{\text{FeO}}^{\text{шл.ту.}} = \frac{m_{\text{FeO}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.ту}}} \cdot 100 \% = \frac{105,84}{193,9} \cdot 100 = 54,58 \%;$$

$$\omega_{\text{NiO}}^{\text{шл.ту.}} = \frac{m_{\text{NiO}}^{\text{шл.}}}{m_{\text{шл.ту}}} \cdot 100 \% = \frac{10,5}{193,9} \cdot 100 = 5,41 \%.$$

1 балл

Всего: 30 баллов



Ответ

1) Вещественный состав штейна

вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
Cu_2S	151,05	50,35
Ni_2S	11,25	3,75
FeS	117,48	39,16
Fe_3O_4	10,44	3,48
SiO_2	9,6	3,2
Итого:	299,82	99,94

2) Вещественный состав самоплавкого шлака

вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
NiO	10,50	8,34
FeO	105,84	84,04
SiO_2	9,60	7,62
Итого:	125,94	100

3) Масса флюсовых добавок к шлаку, масса и состав шлака с флюсовыми добавками.

$$m_{\text{SiO}_2}^{\text{ф}} = 58,27 \text{ т.}$$

$$m_{\text{CaCO}_3} = 17,32 \text{ т.}$$

$$m_{\text{шл.ту}} = 193,9 \text{ т.}$$

вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
FeO	105,84	54,58
NiO	10,50	5,41
CaO	9,70	5,00
SiO_2	67,87	35,00
Итого:	193,91	99,99