

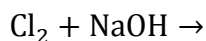


**ХИМИЯ**

**ВАРИАНТ 1**

**Задание 1 (5 баллов)**

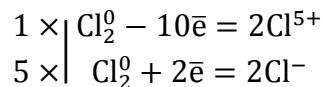
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнять, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции протекающей в растворе, сокращенной ионной формах:



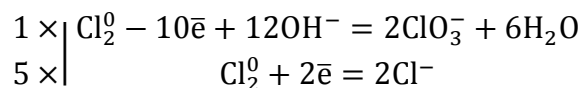
Решение



\_\_\_\_\_ 1 балл



или



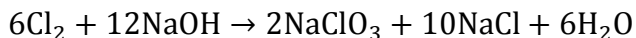
\_\_\_\_\_ 2 балла



или



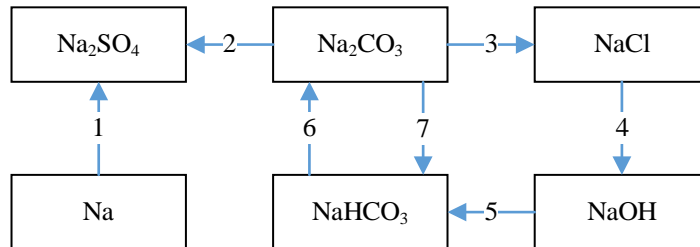
\_\_\_\_\_ 1 балл



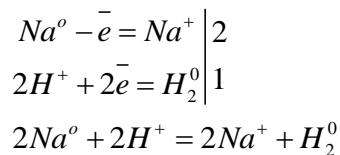
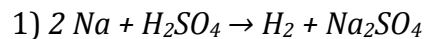
\_\_\_\_\_ 1 балл

**Задание 2 (10 баллов)**

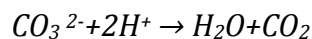
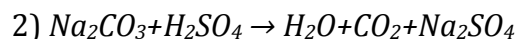
Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения (прямое и обратное превращения должны быть разными). Окислительно-восстановительные реакции должны сопровождаться методом полуреакций или электронного баланса:



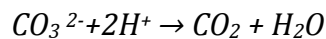
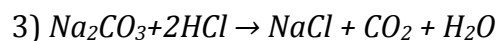
Решение:



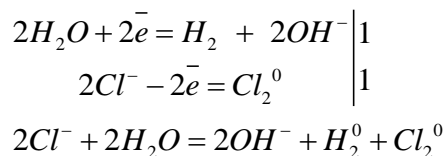
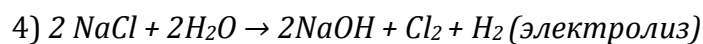
2 балла



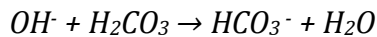
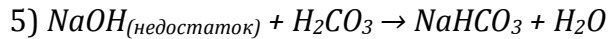
1 балл



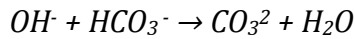
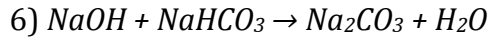
1 балл



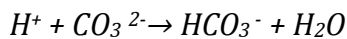
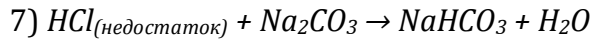
2 балла



2 балла



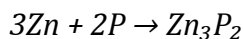
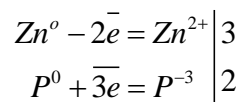
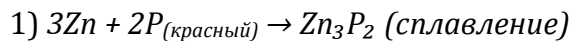
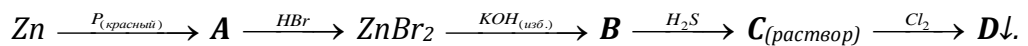
1 балл



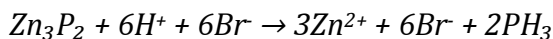
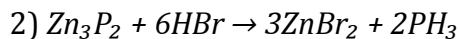
1 балл

**Задание 3 (15 баллов)**

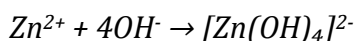
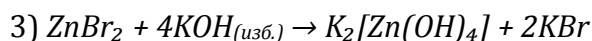
Определите формулы веществ *A*, *B*, *C*, *D*. Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения. Вещества в цепочке могут находиться как в твердом состоянии, так и в растворе. Окислительно-восстановительные реакции должны сопровождаться методом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



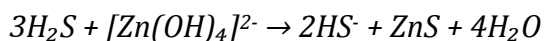
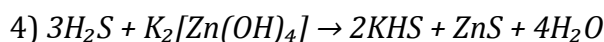
3 балла



3 балла

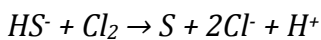
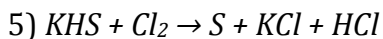


3 балла





3 балла



3 балла

Ответ: **A** -  $Zn_3P_2$ ; **B** -  $K_2[Zn(OH)_4]$ ; **C** -  $KHS$ ; **D** -  $S$ .

#### Задание 4 (20 баллов)

Имеется бесцветная соль щелочноземельного металла «А» хорошо растворимая в воде с массовой долей металла 65,9%, которая окрашивает пламя в желто-зеленый цвет. При взаимодействии раствора этой соли с хроматом калия образуется малорастворимый желтый осадок, который растворяется при добавлении соляной кислоты с образованием красного раствора и соли «А». Если раствор исходного вещества «А» смешать с нитратом серебра, то выпадает нерастворимый в воде осадок белого цвета. Также белый осадок и углекислый газ можно получить при смешивании раствора исходного вещества «А» и гидрокарбоната натрия. Определить массу осадка соли серебра и объём углекислого (н.у.), который может образоваться в результате реакции, если массовая доля «А» в растворе составляет 10%, плотность раствора  $1,1 \text{ г/см}^3$ , на проведение реакций было взято 20,0 л раствора «А». Написать все уравнения реакций в молекулярной и ионной форме. Полученные значения в расчетах округлять до десятых.

#### Решение

1. Соли бария хорошо растворимы окрашивают пламя в желто-зеленый цвет. При взаимодействии с раствором хромата калия образуется хромат бария – осадок желтого цвета, который растворяется в сильных минеральных кислотах с образованием дихромата бария красного цвета. Белые осадки — хлорид серебра и карбонат бария.

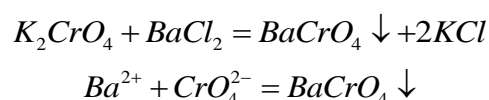
2. Искомое вещество «А» это хлорид бария -  $BaCl_2$ , массовая доля бария в веществе:

$$\omega_{Ba} = \frac{100 \cdot M_{Ba}}{M_{BaCl_2}} = \frac{100 \cdot 137}{208} = 65,9\%$$

2 балла

3. Уравнения реакций

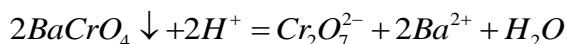
3.1. Реакция с хроматом калия:



2 балла

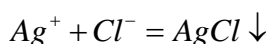
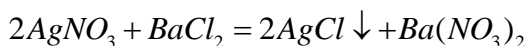


3.2. Реакции превращения хромата в дихромат:



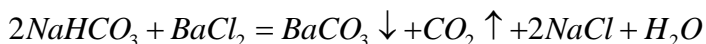
\_\_\_\_\_ 2 балла

3.3. Реакция осаждения хлорида серебра



\_\_\_\_\_ 2 балла

3.4. Реакция образования карбоната бария и углекислого газа



\_\_\_\_\_ 2 балла

4. Расчёт количества вещества хлорида бария в исходном растворе

4.1. Расчёт массы хлорида бария по массовой доле

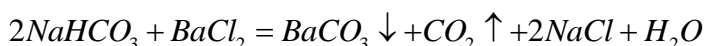
$$m_{BaCl_2} = \frac{\omega_{BaCl_2}}{100} \cdot m_{p-p} = \frac{\omega_{BaCl_2}}{100} \cdot V_{p-p} \cdot d_{p-p} = \frac{10 \cdot 20 \cdot 1,1 \cdot 10^3}{100} = 2200 \text{ г}$$

4.2. Расчёт количества вещества хлорида бария

$$n_{BaCl_2} = \frac{m_{BaCl_2}}{M_{BaCl_2}} = \frac{2200}{208} = 10,57 \text{ моль}$$

4.3. Расчёт количества вещества углекислого газа

по уравнению реакции п. 3.4



$$n_{BaCl_2} = n_{CO_2} = 10,57 \text{ моль}$$

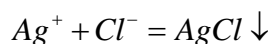
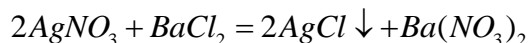
4.4. Расчёт объёма углекислого газа

$$V_{Cl_2} = 10,57 \cdot 22,4 = 236,77 \text{ л}$$

5. Расчёт массы хлорида серебра

5.1. Расчёт количества вещества хлорида серебра

по уравнению 3.3.



$$n_{AgCl} = 2n_{BaCl_2} = 21,14 \text{ моль}$$

5.2. Расчёт массы хлорида серебра

$$m_{AgCl} = M_{AgCl} \cdot n_{AgCl} = 143,5 \cdot 21,14 = 3033,59 \text{ г}$$

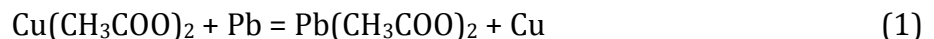
\_\_\_\_\_ 10 баллов

**Задание 5 (20 баллов)**

Для изучения свойств металлов ученик опустил образец металлического свинца в раствор ацетата меди (II) с массовой долей 20% и массой 250 г. После реакции масса промытого и высушенного образца уменьшилась на 3,4 г. К образовавшемуся раствору он добавил 200 мл раствора едкого натра с массовой долей 20% и плотностью 1,22 г/см<sup>3</sup>. Вычислите массовую долю едкого натра в получившемся в итоге растворе.

**Решение:**

После того, как в раствор опустили образец, началась реакция (1):



Определим количество соли в исходном растворе:

$$m(\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2) = m(\text{раствора}) \cdot \omega(\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2) = 250 \cdot 0,2 = 50 \text{ г}$$

$$n(\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2) = m / M = 50 / 182 = 0,275 \text{ моль}$$

\_\_\_\_\_ 4 балла

Пусть в результате взаимодействия с образцомросло  $x$  моль  $\text{Cu}$ , следовательно,  $x$  моль  $\text{Pb}$  перешло в раствор.

$$n(\text{Pb}) = n(\text{Cu}) = x \text{ моль}$$

$$m(\text{Cu}) = n M = 64x$$

$$m(\text{Pb}) = n M = 207x$$

$$\Delta m(\text{образца}) = m(\text{Pb}) - m(\text{Cu}) = 207x - 64x = 3,4$$

$$x = 0,024 \text{ моль}$$

Получаем:

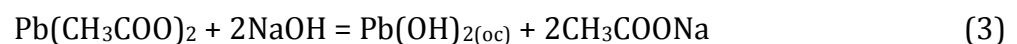
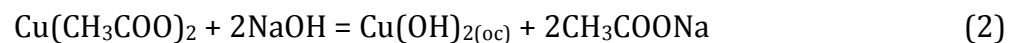
$$n(\text{Pb}) \text{ перешло в раствор } (\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2) = x = 0,024 \text{ моль}$$

$$n(\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2) \text{ прореагировало} = x = 0,024 \text{ моль}$$

$$n(\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2) \text{ осталось} = 0,275 - 0,024 = 0,251 \text{ моль}$$

\_\_\_\_\_ 4 балла

Оставшийся ацетат меди (II) и ацетат свинца реагируют с раствором едкого натра по реакциям 2 и 3:



\_\_\_\_\_ 4 балла

$$m(\text{NaOH})_{\text{исходный раствор}} = V_{\text{р-ра}} \cdot \rho_{\text{р-ра}} \cdot \omega = 200 \cdot 1,22 \cdot 0,2 = 48,8 \text{ г}$$

$$n(\text{NaOH})_{\text{исходный раствор}} = m/M = 48,8/40 = 1,22 \text{ моль}$$



$$n(\text{NaOH})_{\text{потрачено на ацетат свинца}} = 2n \text{Pb}(\text{OH})_{2(\text{ос})} = 0,048 \text{ моль}$$

$$n(\text{NaOH})_{\text{потрачено на ацетат меди}} = 2n \text{Cu}(\text{OH})_{2(\text{ос})} = 0,502 \text{ моль}$$

$$n(\text{NaOH})_{\text{осталось в растворе}} = 1,22 - 0,048 - 0,502 = 0,67 \text{ моль}$$

$$m(\text{NaOH})_{\text{осталось в растворе}} = n \cdot M = 0,67 \cdot 40 = 26,8 \text{ г}$$

4 балла

Масса исходного раствора ацетата меди (II) возросла за счет добавленного раствора едкого натра и свинца, растворившегося с образца, а уменьшилась за счет осадков гидроксида свинца, гидроксида меди и металлической меди, осевшей на образце:

$$m(\text{Cu}(\text{OH})_2) = n \cdot M = 0,251 \cdot 98 = 24,598 \text{ г}$$

$$m(\text{Pb}(\text{OH})_2) = n \cdot M = 0,024 \cdot 241 = 5,784 \text{ г}$$

$$m(\text{NaOH})_{\text{раствора}} = V_{\text{р-ра}} \cdot \rho_{\text{р-ра}} = 200 \cdot 1,22 = 244 \text{ г}$$

$$m(\text{Pb})_{\text{в раствор}} = n \cdot M = 0,024 \cdot 207 = 4,968 \text{ г}$$

$$m(\text{Cu})_{\text{осело}} = n \cdot M = 0,024 \cdot 64 = 1,536 \text{ г}$$

$$m(\text{раствора})_{\text{итоговая}} = 250 + 244 + 4,968 - 1,536 - 24,598 - 5,784 = 467,05 \text{ г}$$

$$\omega(\text{NaOH})_{\text{в итоговом растворе}} = (26,8 / 467,05) 100\% = 5,74 \%$$

4 балла

**Ответ:** массовая доля едкого натра в итоговом растворе – 5,74 %.

### Задание 6 (30 баллов)

Одной из основных операций пирометаллургической 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. Основной целью плавки является получение двух жидких продуктов – штейна и шлака. 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. При окислительной плавке расплав продувают воздухом или смесью азота и кислорода. При этом происходит диссоциация высших сульфидов, горение серы и сульфидов, по реакциям с сульфидом железа происходит образование железной окалины и восстановление низшего сульфида меди (реакция обмена). Плавку на штейн ведут при температуре от 1500 до 1600 °С. Производительность печей плавки на штейн составляет не менее 600 т рудного медного концентрата в сутки.

Для медного концентрата, содержащего массовые доли меди – 14,19 %; цинка – 1,5 %; железа – 35,5 %, серы – 41,31 %; кремния – 2,33 %; кальция – 0,72 %; алюминия – 0,79 %; кислорода – 3,66 %



1) определить вещественный состав рудного концентрата, учитывая, что медь представлена халькопиритом с массовой долей серы 34,88 % и массовой долей железа 30,52 %, железо распределено между пиритом и халькопиритом, цинк содержится в виде сфалерита;

2) составить уравнения реакций, протекающих при плавке на штейн в окислительных условиях, отметив процессы, приводящие к концентрированию меди в составе штейна;

3) рассчитать степень десульфуризации концентрата, если из отходящих газов плавки на штейн может быть получено 372,3 м<sup>3</sup> технической серной кислоты с массовой долей основного вещества 92 % и плотностью 1,83 г/см<sup>3</sup>;

4) определить массу штейна и его вещественный состав (массовые доли); при расчёте штейна учесть, что медь содержится в форме халькозина с массовой долей серы 20,12 %, степень извлечения меди составляет 81,18 %; цинк распределяется между шлаком (оксид) и штейном (сфалерит) поровну; железо в составе штейна распределено между оксидной (железная окалина) и сульфидной (низший сульфид) формами, массовая доля кремния 1,49 %, кислорода – 3,04 %, серы – 25,13 %, кальций и алюминий полностью переходят в шлак.

### 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  $\omega_i$  – массовая доля элемента, %;  $m_{\Sigma}$  – масса рудного концентрата, т.

$$1.1.1. m_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Cu}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{14,19}{100} \times 600 = 85,14 \text{ т;}$$

$$1.1.2. m_{\text{Zn}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Zn}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{1,50}{100} \times 600 = 9,00 \text{ т;}$$

$$1.1.3. m_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Fe}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{35,50}{100} \times 600 = 213,00 \text{ т;}$$

$$1.1.4. m_{\text{S}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{S}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{41,31}{100} \times 600 = 247,86 \text{ т;}$$

$$1.1.5. m_{\text{Si}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Si}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{2,33}{100} \times 600 = 13,98 \text{ т;}$$

$$1.1.6. m_{\text{Ca}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Ca}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{0,72}{100} \times 600 = 4,32 \text{ т;}$$

$$1.1.7. m_{\text{Al}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Al}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{0,79}{100} \times 600 = 4,74 \text{ т;}$$

$$1.1.8. m_{\text{O}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{O}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{3,66}{100} \times 600 = 21,96 \text{ т.}$$

1 балл

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.

$$1.2.1. n_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Cu}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Cu}}} = \frac{85,14 \cdot 10^6}{63,5} = 1,34 \cdot 10^6 \text{ моль} = 1,34 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.2. n_{\text{Zn}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Zn}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Zn}}} = \frac{9,00 \cdot 10^6}{65} = 0,14 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,14 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.3. n_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Fe}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{213,00 \cdot 10^6}{56} = 3,8 \cdot 10^6 \text{ моль} = 3,80 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.4. n_{\text{S}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{S}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{S}}} = \frac{247,86 \cdot 10^6}{32} = 7,75 \cdot 10^6 \text{ моль} = 7,75 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.5. n_{\text{Si}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Si}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Si}}} = \frac{13,98 \cdot 10^6}{28} = 0,5 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,5 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.6. n_{\text{Ca}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Ca}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Ca}}} = \frac{4,32 \cdot 10^6}{40} = 0,11 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,11 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.7. n_{\text{Al}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Al}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Al}}} = \frac{4,74 \cdot 10^6}{27} = 0,18 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,18 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.8. n_{\text{O}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{O}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{O}}} = \frac{21,96 \cdot 10^6}{16} = 1,37 \cdot 10^6 \text{ моль} = 1,37 \text{ Ммоль}.$$

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:  $\text{CuFeS}_2$

1 балл

1.3.2. Количество вещества халькопирита  $\text{CuFeS}_2$  в рудном концентрате по пункту 1.2.1



$$n_{\text{CuFeS}_2} = n_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = 1,34 \text{ Ммоль};$$

## 1.3.3. Масса халькопирита

$$m_{\text{CuFeS}_2} = n_{\text{CuFeS}_2} \cdot M_{\text{CuFeS}_2} = 1,34 \cdot 10^6 \cdot 183,5 = 246,07 \cdot 10^6 \text{ г} = 246,07 \text{ т};$$

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

## 1.3.4. Массовая доля халькопирита

$$\omega_{\text{CuFeS}_2} = \frac{m_{\text{CuFeS}_2}}{m_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{246,07}{600} \cdot 100 = 41,01 \%,$$

$m_{\Sigma}$  – масса рудного концентрата, равная 600 т.

1 балл

## 1.4. Расчёт пирита

1.4.1. Химическая формула пирита  $\text{FeS}_2$ 

## 1.4.2. Количество вещества железа в пирите

$$n_{\text{Fe}}^{\text{FeS}_2} = n_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} - n_{\text{Fe}}^{\text{CuFeS}_2} = n_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} - n_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = 3,80 - 1,34 = 2,46 \text{ Ммоль};$$

количество вещества меди  $n_{\text{Cu}}^{\text{конц.}}$  и железа  $n_{\text{Fe}}^{\text{конц.}}$  в концентрате берут из п. 1.2.1 и 1.2.3 соответственно.

## 1.4.3. Количество вещества пирита

$$n_{\text{FeS}_2} = n_{\text{Fe}}^{\text{FeS}_2} = 2,46 \text{ Ммоль}.$$

## 1.4.4. Масса пирита

$$m_{\text{FeS}_2} = n_{\text{FeS}_2} \cdot M_{\text{FeS}_2} = 2,46 \cdot 10^6 \cdot 120 = 295,2 \cdot 10^6 \text{ г} = 295,20 \text{ т};$$

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

## 1.4.5. Массовая доля пирита

$$\omega_{\text{FeS}_2} = \frac{m_{\text{FeS}_2}}{m_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{295,20}{600} \cdot 100 = 49,20 \%,$$

$m_{\Sigma}$  – масса рудного концентрата, равная 600 т.

1 балл

## 1.5. Расчёт сфалерита

## 1.5.1. Вывод формулы сфалерита

## 1.5.1.1. Количество вещества серы в сфалерите

$$n_{\text{S}}^{\text{ZnS}} = n_{\text{S}}^{\text{конц.}} - n_{\text{S}}^{\text{FeS}_2} - n_{\text{S}}^{\text{CuFeS}_2} = n_{\text{S}}^{\text{конц.}} - 2 \cdot n_{\text{FeS}_2} - 2 \cdot n_{\text{CuFeS}_2} =$$
$$= 7,75 - 2 \cdot 2,46 - 2 \cdot 1,34 = 0,14 \text{ Ммоль}.$$

Количество вещества халькопирита и пирита берут из п. 1.3.2. и 1.4.3. соответственно.

## 1.5.1.2. Соотношение количества вещества цинка и серы

$$n_{\text{Zn}}^{\text{конц.}} : n_{\text{S}}^{\text{ZnS}} = 0,14 : 0,14 = 1 : 1;$$

количество вещества цинка  $n_{\text{Zn}}^{\text{конц.}}$  берут согласно п. 1.2.2.

1.5.1.3. Формула сфалерита:  $\text{ZnS}$ 

1 балл

## 1.5.2. Количество вещества сфалерита

$$n_{\text{ZnS}} = n_{\text{Zn}}^{\text{конц.}} = 0,14 \text{ Ммоль}.$$

количество вещества цинка  $n_{\text{Zn}}^{\text{конц.}}$  берут согласно п. 1.2.2.

## 1.5.3. Масса сфалерита



$$m_{\text{ZnS}}^{\text{конц.}} = n_{\text{ZnS}} \cdot M_{\text{ZnS}} = 0,14 \cdot 10^6 \cdot 97 = 13,58 \cdot 10^6 \text{ г} = 13,58 \text{ т};$$

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

## 1.5.4. Массовая доля сфалерита

$$\omega_{\text{ZnS}} = \frac{m_{\text{ZnS}}^{\text{конц.}}}{m_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{13,58}{600} \cdot 100 = 2,26 \%,$$

$m_{\Sigma}$  – масса рудного концентрата, равная 600 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

$$n_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}} = n_{\text{Si}}^{\text{конц.}} = 0,5 \text{ Ммоль,}$$

## 1.6.1.2. Масса оксида кремния

$$m_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}} = n_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}} \cdot M_{\text{SiO}_2} = 0,5 \cdot 10^6 \cdot 60 = 30,0 \cdot 10^6 \text{ г} = 30,0 \text{ т};$$

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

## 1.6.1.3. Массовая доля оксида кремния

$$\omega_{\text{SiO}_2} = \frac{m_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}}}{m_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{30,0}{600} \cdot 100 = 5,00 \%,$$

$m_{\Sigma}$  – масса рудного концентрата, равная 600 т.

1 балл

## 1.6.2. Оксид кальция

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

$$n_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} = n_{\text{Ca}}^{\text{конц.}} = 0,11 \text{ Ммоль,}$$

## 1.6.2.2. Масса оксида кальция

$$m_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} = n_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} \cdot M_{\text{CaO}} = 0,11 \cdot 10^6 \cdot 56 = 6,16 \cdot 10^6 \text{ г} = 6,16 \text{ т};$$

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

## 1.6.2.3 Массовая доля оксида кальция

$$\omega_{\text{CaO}} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\text{конц.}}}{m_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{6,16}{600} \cdot 100 = 1,03 \%,$$

$m_{\Sigma}$  – масса рудного концентрата, равная 600 т.

1 балл

## 1.6.3. Оксид алюминия

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

$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} = \frac{n_{\text{Al}}^{\text{конц.}}}{2} = \frac{0,18}{2} = 0,09 \text{ Ммоль,}$$

## 1.6.3.2. Масса оксида алюминия

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} = n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} \cdot M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0,09 \cdot 10^6 \cdot 102 = 9,18 \cdot 10^6 \text{ г} = 9,18 \text{ т};$$

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

## 1.6.3.3. Массовая доля оксида алюминия

$$\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}}}{m_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{9,18}{600} \cdot 100 = 1,53 \%;$$

$m_{\Sigma}$  – масса рудного концентрата, равная 600 т.



1 балл

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

А) по массам веществ

$$m_{\text{конц.}} = m_{\text{CuFeS}_2} + m_{\text{FeS}_2} + m_{\text{ZnS}} + m_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}} + m_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} + m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} = \\ 246,07 + 295,20 + 13,58 + 30,0 + 6,16 + 9,18 = 600,19 \text{ т.}$$

Б) по массовым долям веществ

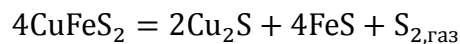
$$\omega_{\text{CuFeS}_2} + \omega_{\text{FeS}_2} + \omega_{\text{ZnS}} + \omega_{\text{SiO}_2} + \omega_{\text{CaO}} + \omega_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \\ = 41,01 + 49,20 + 2,26 + 5,00 + 1,03 + 1,53 = 100,03 \%$$

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

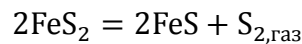


баланс электронов

$$\begin{array}{l} 2 \times | 2\text{Cu}^{+2} + 2\bar{e} = 2\text{Cu}^{+1} \\ 1 \times | 2\text{S}^{-2} - 4\bar{e} = \text{S}_2^0 \\ \hline 4\text{Cu}^{+2} + 2\text{S}^{-2} = 4\text{Cu}^{+1} + \text{S}_2^0 \end{array}$$

1 балл

2.1.2. Диссоциация пирита

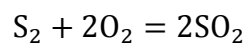


баланс электронов

$$\begin{array}{l} 1 \times | 2\text{S}^{-1} + 2\bar{e} = 2\text{S}^{-2} \\ 1 \times | 2\text{S}^{-1} - 2\bar{e} = \text{S}_2^0 \\ \hline 4\text{S}^{-1} = 2\text{S}^{-2} + \text{S}_2^0 \end{array}$$

1 балл

2.2. Горение паров серы



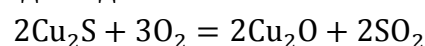
баланс электронов

$$\begin{array}{l} 2 \times | \text{O}_2^0 + 4\bar{e} = 2\text{O}^{-2} \\ 1 \times | \text{S}_2^0 - 8\bar{e} = 2\text{S}^{+4} \\ \hline 2\text{O}_2^0 + \text{S}_2^0 = 2\text{O}^{-2} + 2\text{S}^{+4} \end{array}$$

1 балл

2.3. Окисление сульфидов

2.3.1. Окисление сульфида меди



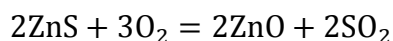
баланс электронов

$$\begin{array}{l} 3 \times | \text{O}_2^0 + 4\bar{e} = 2\text{O}^{-2} \\ 2 \times | \text{S}^{-2} - 6\bar{e} = \text{S}^{+4} \\ \hline 3\text{O}_2^0 + 2\text{S}^{-2} = 6\text{O}^{-2} + 2\text{S}^{+4} \end{array}$$

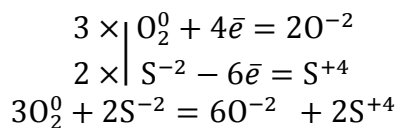
1 балл



## 2.3.2. Окисление сульфида цинка

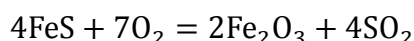


баланс электронов

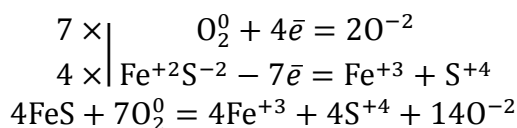


1 балл

## 2.3.3. Окисление сульфида железа

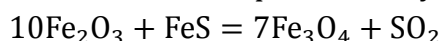


баланс электронов

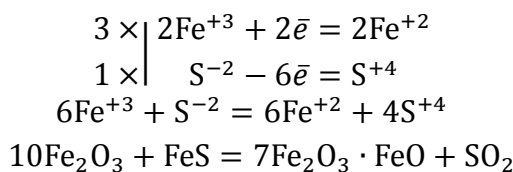


1 балл

## 2.4. Образование железной окалины по реакции с сульфидом железа



баланс электронов

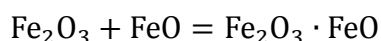


1 балл

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

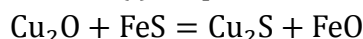


или



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.

1 балл

## 3. Расчёт степени десульфуризации

3.1. Масса раствора серной кислоты с учетом объема полученной серной кислоты  $372,3 \text{ м}^3$  и ее плотности  $1,83 \text{ г/см}^3$

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{p-p}} = V_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{p-p}} \cdot d_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{p-p}} = 372,6 \cdot 10^6 \cdot 1,83 = 681,31 \cdot 10^6 \text{ г} = 681,31 \text{ т.}$$

3.2. Масса серной кислоты в 92 % растворе

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{\omega_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{100} \cdot m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{p-p}} = \frac{92}{100} \cdot 681,31 = 626,81 \text{ т.}$$

3.3. Количество вещества серной кислоты

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{M_{\text{H}_2\text{SO}_4}} = \frac{626,81 \cdot 10^6}{98} = 6,4 \cdot 10^6 \text{ моль} = 6,40 \text{ Ммоль.}$$



$$M_{H_2SO_4} = 2 \cdot M_H + M_S + 4 \cdot M_O = 2 \cdot 1 + 32 + 4 \cdot 16 = 98 \text{ г/моль.}$$

3.4. Количество вещества серы

$$n_S = n_{H_2SO_4} = 6,4 \text{ Ммоль}$$

3.5. Степень десульфуризации с учётом п. 1.2.4

$$D_S = \frac{n_S}{n_S^{\text{конц.}}} \cdot 100 \% = \frac{6,40}{7,75} \cdot 100 = 82,58 \%$$

1 балл

4. Расчёт штейна

4.1. Расчёт серы в штейне

4.1.1. Расчет количества вещества серы в штейне выполняют

А) по степени десульфуризации (п. 3.5) и её содержанию в концентрате (п. 1.2.4):

$$n_S^{\text{шт.}} = \frac{100 - D_S}{100} \cdot n_S^{\text{конц.}} = \frac{100 - 82,58}{100} \cdot 7,75 = 1,35 \text{ Ммоль};$$

Б) по разности количества вещества в концентрате и серной кислоте (п. 1.2.4 и 3.3)

$$n_S^{\text{шт.}} = n_S^{\text{конц.}} - n_{H_2SO_4} = 7,75 - 6,4 = 1,35 \text{ Ммоль.}$$

4.1.2. Масса серы в штейне

$$m_S^{\text{шт.}} = n_S^{\text{шт.}} \cdot M_S = 1,35 \cdot 10^6 \cdot 32 = 43,2 \cdot 10^6 \text{ г} = 43,2 \text{ т.}$$

1 балл

4.2. Расчёт массы штейна

Массу штейна вычисляют по массовой доле серы в штейне 25,13 % и массе серы (п. 4.1.2)

$$m_{\text{шт.}} = \frac{m_S^{\text{шт.}}}{\omega_S^{\text{шт.}}} \cdot 100 \% = \frac{43,2}{25,13} \cdot 100 = 171,91 \text{ т.}$$

4.3. Расчёт меди в штейне

4.3.1. Вывод формулы халькозина, в котором массовая доля серы 20,12 %

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

$$m_S = 20,12 \text{ г,}$$

$$m_{Cu} = 100 - m_S = 100 - 20,12 = 79,88 \text{ г.}$$

4.3.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{Cu} = \frac{m_{Cu}}{M_{Cu}} = \frac{79,88}{63,5} = 1,26 \text{ моль};$$

$$n_S = \frac{m_S}{M_S} = \frac{20,12}{32} = 0,63 \text{ моль.}$$

4.3.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{Cu} : n_S = 1,26 : 0,63 = 2 : 1$$

4.3.1.4. Формула халькозина:  $Cu_2S$ .

1 балл

4.3.2. Количество вещества меди в штейне вычисляют исходя из степени её извлечения 81,18 % и количества вещества меди в концентрате – п. 1.2.1

$$n_{Cu}^{\text{шт.}} = \frac{E_{Cu}}{100} \cdot n_{Cu}^{\text{конц.}} = \frac{81,18}{100} \cdot 1,34 = 1,09 \text{ Ммоль.}$$



## 4.3.3. Масса меди в штейне

$$m_{\text{Cu}}^{\text{ш.}} = n_{\text{Cu}}^{\text{ш.}} \cdot M_{\text{Cu}} = 1,09 \cdot 10^6 \cdot 63,5 = 69,22 \cdot 10^6 \text{ г} = 69,22 \text{ т.}$$

## 4.3.4. Массовая доля меди в штейне, с учетом п. 4.2

$$\omega_{\text{Cu}}^{\text{ш.}} = \frac{m_{\text{Cu}}^{\text{ш.}}}{m_{\text{ш.}}} \cdot 100 \% = \frac{69,22}{171,91} \cdot 100 = 40,25 \%$$

4.3.5. Количество вещества халькозина, количество вещества меди в штейне рассчитано в п. 4.3.2

$$n_{\text{Cu}_2\text{S}} = n_{\text{Cu}}^{\text{ш.}}/2 = 1,09/2 = 0,55 \text{ Ммоль.}$$

## 4.3.6. Масса халькозина

$$m_{\text{Cu}_2\text{S}} = n_{\text{Cu}_2\text{S}} \cdot M_{\text{Cu}_2\text{S}} = 0,55 \cdot 10^6 \cdot 159 = 87,45 \cdot 10^6 \text{ г} = 87,45 \text{ т.};$$

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

## 4.3.7. Массовая доля халькозина в штейне, с учетом п. 4.2

$$\omega_{\text{Cu}_2\text{S}} = \frac{m_{\text{Cu}_2\text{S}}}{m_{\text{ш.}}} \cdot 100 \% = \frac{87,45}{171,91} \cdot 100 = 50,87 \%$$

1 балл

## 4.4. Расчёт цинка в штейне

4.4.1. Количество вещества цинка, учитывая выход цинка в штейн 50 % и его содержание в концентрате  $n_{\text{Zn}}^{\text{конц.}} = 0,14$  Ммоль (п. 1.2.2)

$$n_{\text{Zn}}^{\text{ш.}} = 0,5 \cdot n_{\text{Zn}}^{\text{конц.}} = 0,5 \cdot 0,14 = 0,07 \text{ Ммоль.}$$

## 4.4.2. Масса цинка в штейне

$$m_{\text{Zn}}^{\text{ш.}} = n_{\text{Zn}}^{\text{ш.}} \cdot M_{\text{Zn}} = 0,07 \cdot 10^6 \cdot 65 = 4,55 \cdot 10^6 \text{ г} = 4,55 \text{ т.}$$

## 4.4.3. Массовая доля цинка в штейне, с учетом п. 4.2

$$\omega_{\text{Zn}}^{\text{ш.}} = \frac{m_{\text{Zn}}^{\text{ш.}}}{m_{\text{ш.}}} \cdot 100 \% = \frac{4,55}{171,91} \cdot 100 = 2,65 \%$$

1 балл

4.4.4. Количество вещества сфалерита ZnS, количество вещества цинка в штейне рассчитано в п. 4.4.1

$$n_{\text{ZnS}}^{\text{ш.}} = n_{\text{Zn}}^{\text{ш.}} = 0,07 \text{ Ммоль.}$$

## 4.4.5. Масса сфалерита в штейне

$$m_{\text{ZnS}}^{\text{ш.}} = n_{\text{ZnS}}^{\text{ш.}} \cdot M_{\text{ZnS}} = 0,07 \cdot 10^6 \cdot 97 = 6,79 \cdot 10^6 \text{ г} = 6,79 \text{ т.};$$

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

## 4.4.6. Массовая доля сфалерита в штейне, с учетом п. 4.2

$$\omega_{\text{ZnS}}^{\text{ш.}} = \frac{m_{\text{ZnS}}^{\text{ш.}}}{m_{\text{ш.}}} \cdot 100 \% = \frac{6,79}{171,91} \cdot 100 = 3,95 \%$$

1 балл

## 4.5. Расчёт кремния в штейне

4.5.1. Массу кремния в штейне вычисляют на основании массовой доли кремния 1,49 % и массы штейна (п. 4.2)

$$m_{\text{Si}}^{\text{ш.}} = \frac{\omega_{\text{Si}}^{\text{ш.}}}{100} \cdot m_{\text{ш.}} = \frac{1,49}{100} \cdot 171,91 = 2,56 \text{ т.}$$

## 4.5.2. Количество вещества кремния



$$n_{Si}^{III} = \frac{m_{Si}^{III}}{M_{Si}} = \frac{2,56 \cdot 10^6}{28} = 0,09 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,09 \text{ Ммоль.}$$

4.5.3. Количество вещества оксида кремния в штейне

$$n_{SiO_2}^{III} = n_{Si}^{III} = 0,09 \text{ Ммоль.}$$

4.5.4. Масса оксида кремния в штейне

$$m_{SiO_2}^{III} = n_{SiO_2}^{III} \cdot M_{SiO_2} = 0,09 \cdot 10^6 \cdot 60 = 5,4 \cdot 10^6 \text{ г} = 5,4 \text{ т};$$

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

4.5.5. Массовая доля оксида кремния в штейне, с учетом п. 4.2

$$\omega_{SiO_2}^{III} = \frac{m_{SiO_2}^{III}}{m_{ш.}} \cdot 100 \% = \frac{5,4}{171,91} \cdot 100 = 3,14 \%.$$

1 балл

4.6. Расчёт кислорода в штейне

4.6.1. Массу кислорода рассчитывают по его массовой доле 3,04 % и массе штейна (п. 4.2):

$$m_O^{III} = \frac{\omega_O^{III}}{100 \%} \cdot m_{ш.} = \frac{3,04}{100} \cdot 171,91 = 5,23 \text{ т.}$$

4.6.2. Количество вещества кислорода

$$n_O^{III} = \frac{m_O^{III}}{M_O} = \frac{5,23 \cdot 10^6}{16} = 0,33 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,33 \text{ Ммоль.}$$

1 балл

4.7. Расчёт железа в штейне

4.7.1. Расчёт сульфида железа

4.7.1.1. Количество вещества серы в сульфиде железа рассчитывается как разница между количеством вещества серы в штейне (п. 4.1.1) и количеством вещества халькозина (п. 4.3.5) и сфалерита (п. 4.4.4)

$$n_S^{FeS} = n_S^{III} - n_S^{Cu_2S} - n_S^{ZnS} = n_S^{III} - n_{Cu_2S} - n_{ZnS}^{III} = 1,35 - 0,55 - 0,07 = 0,73 \text{ Ммоль.}$$

4.7.1.2. Количество вещества сульфида железа

$$n_{FeS} = n_S^{FeS} = 0,73 \text{ Ммоль.}$$

4.7.1.3. Масса сульфида железа

$$m_{FeS} = n_{FeS} \cdot M_{FeS} = 0,73 \cdot 10^6 \cdot 88 = 64,24 \cdot 10^6 \text{ г} = 64,24 \text{ т};$$

$$M_{FeS} = M_{Fe} + M_S = 56 + 32 = 88 \text{ г/моль.}$$

4.7.1.4. Массовая доля сульфида железа (II) в штейне, с учетом п. 4.2

$$\omega_{FeS} = \frac{m_{FeS}}{m_{ш.}} \cdot 100 \% = \frac{64,24}{171,91} \cdot 100 = 37,37 \%.$$

1 балл

4.7.2. Расчёт железной окалины Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

4.7.2.1. Количество вещества кислорода в окалине вычисляют по разности содержания кислорода в штейне (п. 4.6.2.) и в оксиде кремния (п. 4.5.3)

$$n_O^{Fe_3O_4} = n_O^{III} - n_O^{SiO_2} = n_O^{III} - 2 \cdot n_{SiO_2}^{III} = 0,33 - 2 \cdot 0,09 = 0,15 \text{ Ммоль.}$$

4.7.2.2. Количество вещества железной окалины





$$n_{Fe_3O_4} = \frac{n_O^{Fe_3O_4}}{4} = \frac{0,15}{4} = 0,04 \text{ Ммоль.}$$

4.7.2.3. Масса железной окалины

$$m_{Fe_3O_4} = n_{Fe_3O_4} \cdot M_{Fe_3O_4} = 0,04 \cdot 10^6 \cdot 232 = 9,28 \cdot 10^6 \text{ г} = 9,28 \text{ т};$$

$$M_{Fe_3O_4} = 3 \cdot M_{Fe} + 4 \cdot M_O = 3 \cdot 56 + 4 \cdot 16 = 232 \text{ г/моль.}$$

4.7.2.4. Массовая доля железной окалины, с учетом п. 4.2

$$\omega_{Fe_3O_4} = \frac{m_{Fe_3O_4}}{m_{ш.}} \cdot 100 \% = \frac{9,28}{171,91} \cdot 100 = 5,40 \%$$

1 балл

4.7.3. Общее содержание железа в штейне

4.7.3.1. Количество вещества железа с учетом п. 4.7.1.2 и п. 4.7.2.2.

$$n_{Fe}^{ш.} = n_{Fe}^{FeS} + n_{Fe}^{Fe_3O_4} = n_{FeS} + 3 \cdot n_{Fe_3O_4} = 0,73 + 3 \cdot 0,04 = 0,85 \text{ Ммоль.}$$

4.7.3.2. Масса железа в штейне

$$m_{Fe}^{ш.} = n_{Fe}^{ш.} \cdot M_{Fe} = 0,85 \cdot 10^6 \cdot 56 = 47,6 \cdot 10^6 \text{ г} = 47,6 \text{ т.}$$

4.7.3.3. Массовая доля железа в штейне, с учетом п. 4.2

$$\omega_{Fe}^{ш.} = \frac{m_{Fe}^{ш.}}{m_{ш.}} \cdot 100 \% = \frac{47,6}{171,91} \cdot 100 = 27,69 \%$$

1 балл

**Ответ:**

1) Вещественный состав рудного концентрата

вещество	$m, \text{г}$	$\omega, \%$
CuFeS <sub>2</sub>	246,07	41,01
ZnS	13,58	2,26
FeS <sub>2</sub>	295,20	49,20
SiO <sub>2</sub>	30,00	5,00
CaO	6,16	1,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,18	1,53
Итого:	600,19	100,03

2) Степень десульфуризации концентрата

$$D_S = 82,58 \%$$

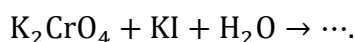
3) Масса штейна и его вещественный состав

$$m_{ш.} = 171,91 \text{ т.}$$

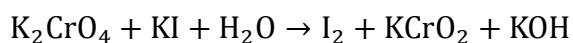
вещество	$m, \text{г}$	$\omega, \%$
Cu <sub>2</sub> S	87,45	50,87
ZnS	6,79	3,95
FeS	64,24	37,37
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	9,28	5,40
SiO <sub>2</sub>	5,4	3,14
Итого:	173,16	100,73

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

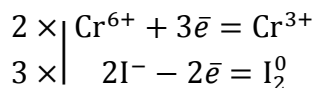
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнять, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции протекающей в растворе, сокращенной ионной формах:



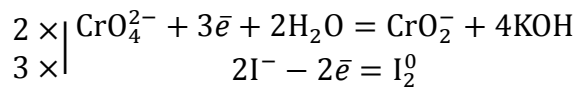
Решение



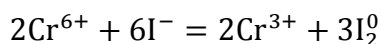
\_\_\_\_\_ 1 балл



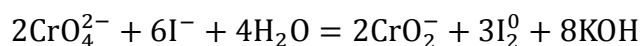
или



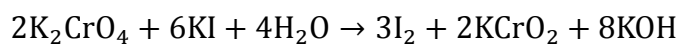
\_\_\_\_\_ 2 балла



или



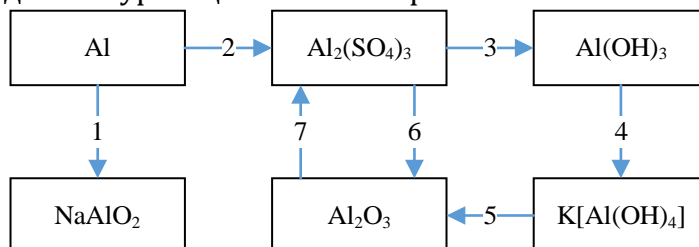
\_\_\_\_\_ 1 балл



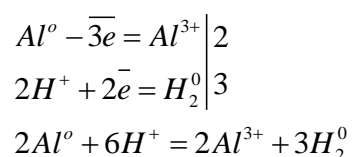
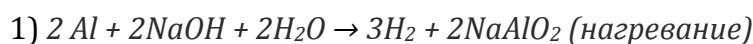
\_\_\_\_\_ 1 балл

**Задание 2 (10 баллов)**

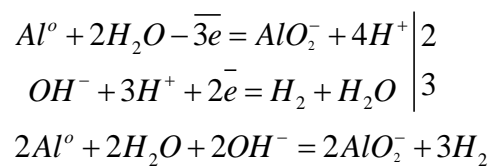
Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения (прямое и обратное превращения должны быть разными). Окислительно-восстановительные реакции должны сопровождаться методом полуреакций или электронного баланса:



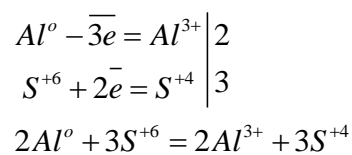
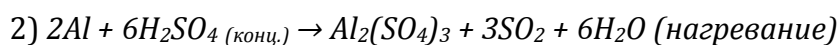
Решение:



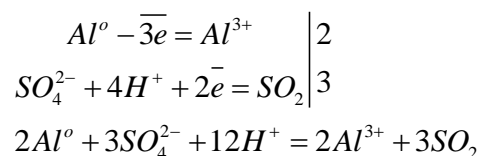
или



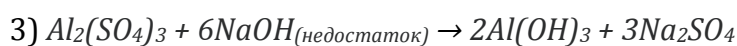
2 балла

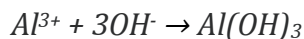


или

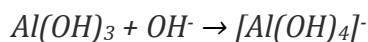


2 балла

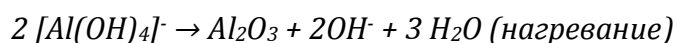
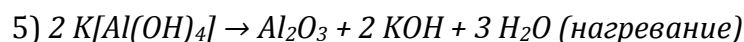




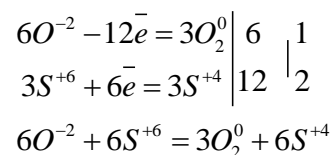
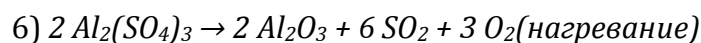
1 балл



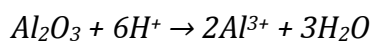
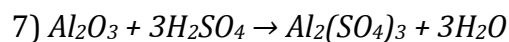
1 балл



1 балл



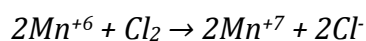
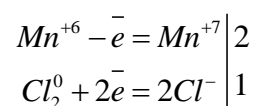
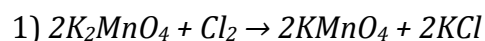
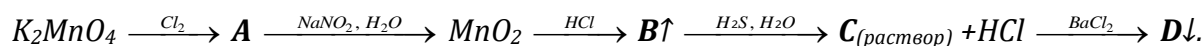
2 балла



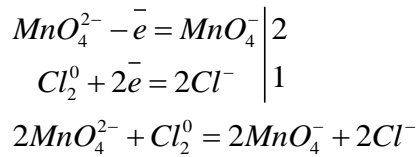
1 балл

### Задание 3 (15 баллов)

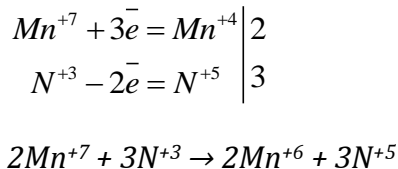
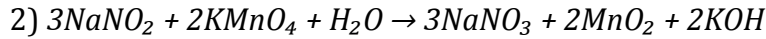
Определите формулы веществ *A*, *B*, *C*, *D*. Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения. Вещества в цепочке могут находиться как в твердом состоянии, так и в растворе. Окислительно-восстановительные реакции должны сопровождаться методом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



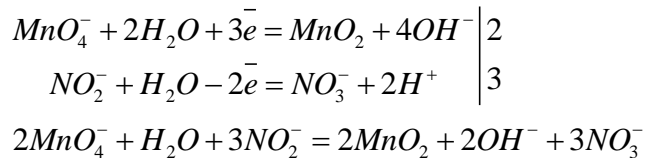
или



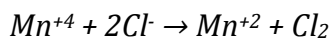
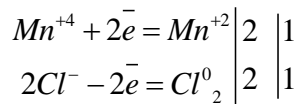
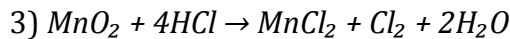
3 балла



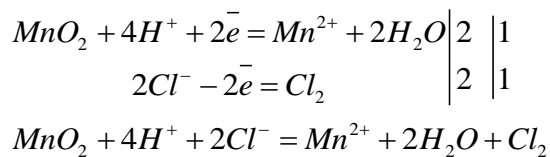
или



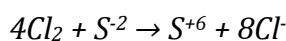
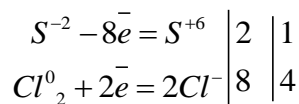
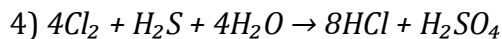
3 балла



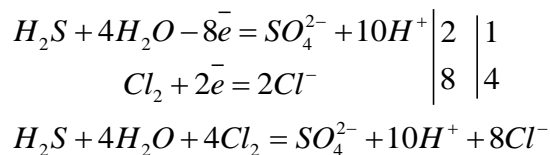
или



3 балла

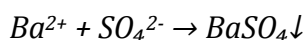
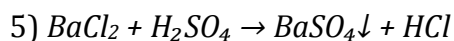


или





3 балла



3 балла

Ответ: **A** -  $\text{KMnO}_4$ ; **B** -  $\text{Cl}_2$ ; **C** -  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; **D** -  $\text{BaSO}_4$ .

#### Задание 4 (20 баллов)

Имеется соль щелочного металла темно-зеленого цвета «А». Раствор этой соли в воде медленно меняет цвет на фиолетовый. Если этот раствор подкислить, то цвет раствора меняется на фиолетовый значительно быстрее. Если через раствор исходного вещества пропустить хлор, а затем нитрат серебра, то выпадает нерастворимый в воде осадок белого цвета. Определить массу осадка соли серебра и объём хлора (н.у.), который может теоретически поглотить раствор, если массовая доля «А» в растворе составляет 7%, плотность раствора  $1,2 \text{ г/см}^3$ , на проведение реакций было взято 30,0 л раствора «А». Написать все уравнения реакций в молекулярной и ионной форме; окислительно-восстановительные реакции рекомендуется уравнивать методом полуреакций. Полученные значения в расчетах округлять до десятых.

#### Решение

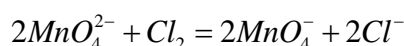
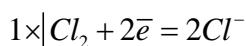
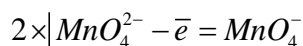
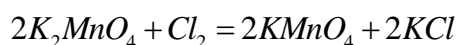
1. Искомое вещество «А» это манганат калия -  $\text{K}_2\text{MnO}_4$ .

2. Манганат калия устойчив в щелочной среде, в кислой среде быстро разлагается с образованием фиолетового раствора перманганата калия.

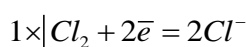
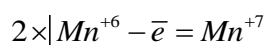
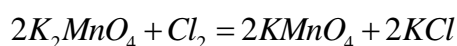
3. Уравнения реакций

3.1. Реакция с хлором

метод полуреакций:



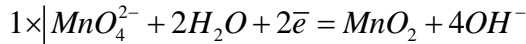
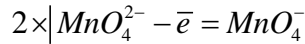
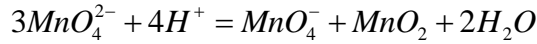
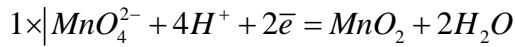
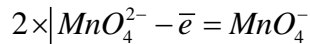
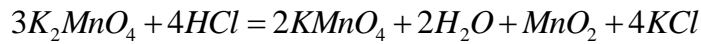
метод баланса электронов:



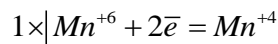
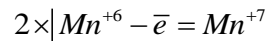
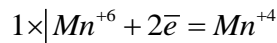
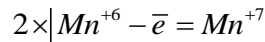
4 балла

3.2. Реакции превращения манганата в перманганат

метод полуреакций:

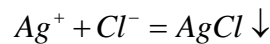
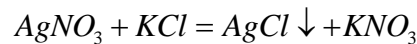


метод баланса электронов



4 балла

3.3. Реакция осаждения хлорида серебра



2 балла

4. Расчёт количества вещества манганата калия в исходном растворе

4.1. Расчёт массы манганата калия по массовой доле

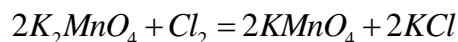
$$m_{K_2MnO_4} = \frac{\omega_{K_2MnO_4}}{100} \cdot m_{p-p} = \frac{\omega_{K_2MnO_4}}{100} \cdot V_{p-p} \cdot d_{p-p} = \frac{7 \cdot 30 \cdot 1,2 \cdot 10^3}{100} = 2520 \text{ г}$$

4.2. Расчёт количества вещества манганата калия

$$n_{K_2MnO_4} = \frac{m_{K_2MnO_4}}{M_{K_2MnO_4}} = \frac{2520}{197} = 12,8 \text{ моль}$$

4.4. Расчёт количества вещества хлора

по уравнению реакции п. 3.1



$$n_{Cl_2} = 0,5n_{K_2MnO_4} = 6,4 \text{ моль}$$

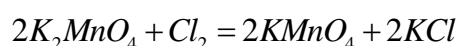
4.5. Расчёт объёма хлора

$$V_{Cl_2} = 6,4 \cdot 22,4 = 143,4 \text{ л}$$

5. Расчёт массы хлорида серебра

5.1. Расчёт количества вещества хлорида калия

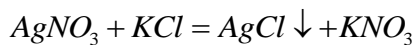
по уравнению 3.1.





$$n_{KCl} = n_{K_2MnO_4} = 12,8 \text{ моль}$$

5.2. Расчёт количества вещества хлорида серебра по уравнению 3.3.



$$n_{KCl} = n_{AgCl} = 12,8 \text{ моль}$$

5.3. Расчёт массы хлорида серебра

$$m_{AgCl} = M_{AgCl} \cdot n_{AgCl} = 143,5 \cdot 12,8 = 1836,8 \text{ г}$$

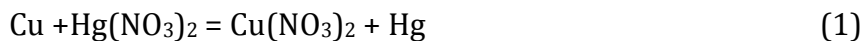
\_\_\_\_\_ 10 баллов

### Задание 5 (20 баллов)

Лаборант опустил зачищенную медную монету в раствор нитрата ртути (II) с массовой долей 35% и массой 350 г. После реакции масса высушенной и промытой монеты уменьшилась на 5,5 г. К образовавшемуся раствору он добавил 600 мл раствора сульфида натрия с массовой долей 15% и плотностью 1,21 г/см<sup>3</sup>. Вычислите массовую долю сульфида натрия в получившемся в итоге растворе.

#### Решение:

После того, как в раствор опустили монету, началась реакция (1):



Определим количество соли в исходном растворе:

$$m(Hg(NO_3)_2) = m(\text{раствора}) \cdot \omega(Hg(NO_3)_2) = 350 \cdot 0,35 = 122,5 \text{ г}$$

$$n(Hg(NO_3)_2) = m / M = 122,5 / 325 = 0,377 \text{ моль}$$

\_\_\_\_\_ 4 балла

Пусть в результате взаимодействия с монетойросло  $x$  моль Hg, следовательно,  $x$  моль Cu перешло в раствор.

$$n(Hg) = n(Cu) = x \text{ моль}$$

$$m(Cu) = n M = 64x$$

$$m(Hg) = n M = 201x$$

$$\Delta m(\text{образца}) = m(Hg) - m(Cu) = 201x - 64x = 5,5$$

$$x = 0,04 \text{ моль}$$

Получаем:

$$n(Cu) \text{ перешло в раствор } Cu(NO_3)_2 = x = 0,04 \text{ моль}$$

$$n(Hg(NO_3)_2) \text{ прореагировало} = x = 0,04 \text{ моль}$$

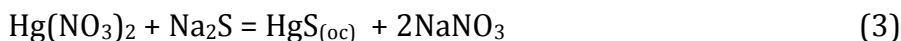
$$n(Hg(NO_3)_2) \text{ осталось} = 0,377 - 0,04 = 0,337 \text{ моль}$$





4 балла

Оставшийся нитрат ртути и нитрат меди реагируют с раствором сульфида натрия по реакциям 2 и 3:



4 балла

$$m(\text{Na}_2\text{S})_{\text{исходный раствор}} = V_{\text{р-ра}} \cdot \rho_{\text{р-ра}} \cdot \omega = 600 \cdot 1,21 \cdot 0,15 = 108,9 \text{ г}$$

$$n(\text{Na}_2\text{S})_{\text{исходный раствор}} = m/M = 108,9/78 = 1,396 \text{ моль}$$

$$n(\text{Na}_2\text{S})_{\text{потрачено на нитрат меди}} = n \text{ CuS}_{(\text{ос})} = 0,04 \text{ моль}$$

$$n(\text{Na}_2\text{S})_{\text{потрачено на нитрат ртути}} = n \text{ HgS}_{(\text{ос})} = 0,337 \text{ моль}$$

$$n(\text{Na}_2\text{S})_{\text{осталось в растворе}} = 1,396 - 0,040 - 0,337 = 1,019 \text{ моль}$$

$$m(\text{Na}_2\text{S})_{\text{осталось в растворе}} = n \cdot M = 1,018 \cdot 78 = 79,482 \text{ г}$$

4 балла

Масса исходного раствора нитрата ртути (II) возросла за счет добавленного раствора сульфида натрия и меди, растворившейся с монеты, а уменьшилась за счет осадков сульфида меди, сульфида ртути и металлической ртути, осевшей на монете:

$$m(\text{HgS}) = n \cdot M = 0,337 \cdot 233 = 78,5 \text{ г}$$

$$m(\text{CuS}) = n \cdot M = 0,040 \cdot 96 = 3,8 \text{ г}$$

$$m(\text{Na}_2\text{S})_{\text{раствора}} = V_{\text{р-ра}} \cdot \rho_{\text{р-ра}} = 600 \cdot 1,21 = 726 \text{ г}$$

$$m(\text{Cu})_{\text{в раствор}} = n \cdot M = 0,04 \cdot 64 = 2,56 \text{ г}$$

$$m(\text{Hg})_{\text{осело}} = n \cdot M = 0,04 \cdot 201 = 8,04 \text{ г}$$

$$m(\text{раствора})_{\text{итоговая}} = 350 + 726 + 2,56 - 8,04 - 78,52 - 3,8 = 988,2 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{S})_{\text{в итоговом растворе}} = (79,404 / 988,2) 100\% = 8,04 \%$$

4 балла

**Ответ:** массовая доля сульфида натрия в итоговом растворе – 8,04 %.

### Задание 6 (30 баллов)

Целью окислительного обжига в пирометаллургии меди является частичное удаление серы и перевод части сульфидов железа в форму шлакуемых при последующей плавке оксидов. В медной промышленности окислительный обжиг применяют при переработке высокосернистых, бедных по меди концентратов. Продуктом обжига является огарок, представляющий собой смесь сульфидов меди, цинка, железа с примесью оксидов кальция, алюминия, кремния и железа (в виде железной окалины). Изменяя расход воздуха, получают необходимую степень десульфуризации с сохранением ценных компонентов (медь, цинк) в сульфидной



форме для последующей плавки на штейн. Обжиг проводят в три стадии в печах кипящего слоя производительностью по медному концентрату 1000 т/сутки (42 т/час). Поступающий концентрат нагревают до температуры 350-400 °С, при которой происходит термическая диссоциация высших сульфидов и сгорание паров серы, далее при температуре 870-890 °С происходит окисление сульфидов до оксидов и по реакции с сульфидом железа происходит восстановление низшего сульфида меди.

Для суточного расхода медного концентрата состава (массовые доли): медь – 12 %, цинк – 2,10 %, железо – 33,28 %, сера 45,12 %, кремний – 2,33 %, кальций – 0,72 %, алюминий – 0,79 %, кислород – 3,66 % рассчитать

1. Вещественный состав концентрата, если медь находится в виде ковеллина – сульфид меди с массовой долей серы 33,51 %, цинк – в составе сфалерита с массовой долей серы в сульфиде 33 %, железо содержится в сульфидной форме в виде пирита, а кремний, кальций и алюминий – в оксидной.

2. Составить уравнения реакций, протекающих при обжиге, показать по какой причине вся медь в огарке находится в форме сульфида.

3. Вещественный состав (массовые доли) огарка в расчёте на суточный расход концентрата, если степень десульфуризации при обжиге 80 %, до оксида окисляется 1/3 цинка, массовая доля кислорода в огарке 18,97 %; массовая доля железа в огарке 44,76 %, вся медь в огарке находится в форме халькозина с массовой долей серы 20,13 %.

4. Расход воздуха при н.у. (м<sup>3</sup>/час), необходимый для достижения степени десульфуризации 80 %.

### Решение:

1. Расчёт вещественного состава концентрата

1.1. Расчёт масс элементов в концентрате

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

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

где  $\omega_i$  – массовая доля элемента, %;  $m_{\Sigma}$  – масса рудного концентрата, т

$$1.1.1. m_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Cu}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{12}{100} \times 1000 = 120,00 \text{ т;}$$

$$1.1.2. m_{\text{Zn}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Zn}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{2,10}{100} \times 1000 = 21,00 \text{ т;}$$

$$1.1.3. m_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Fe}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{33,28}{100} \times 1000 = 332,80 \text{ т;}$$

$$1.1.4. m_{\text{S}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{S}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{45,12}{100} \times 1000 = 451,20 \text{ т;}$$

$$1.1.5. m_{\text{Si}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Si}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{2,33}{100} \times 1000 = 23,30 \text{ т;}$$

$$1.1.6. m_{\text{Ca}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Ca}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{0,72}{100} \times 1000 = 7,20 \text{ т,}$$



$$1.1.7. m_{\text{Al}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Al}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{0,79}{100} \times 1000 = 7,90 \text{ т,}$$

$$1.1.8. m_{\text{O}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{O}}}{100} \times m_{\Sigma} = \frac{3,66}{100} \times 1000 = 36,60 \text{ т.}$$

1 балл

## 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.

$$1.2.1. n_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Cu}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Cu}}} = \frac{120,00 \cdot 10^6}{63,5} = 1,89 \cdot 10^6 \text{ моль} = 1,89 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.2. n_{\text{Zn}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Zn}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Zn}}} = \frac{21,00 \cdot 10^6}{65} = 0,32 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,32 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.3. n_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Fe}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{332,80 \cdot 10^6}{56} = 5,94 \cdot 10^6 \text{ моль} = 5,94 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.4. n_{\text{S}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{S}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{S}}} = \frac{451,20 \cdot 10^6}{32} = 14,10 \cdot 10^6 \text{ моль} = 14,10 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.5. n_{\text{Si}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Si}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Si}}} = \frac{23,30 \cdot 10^6}{28} = 0,83 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,83 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.6. n_{\text{Ca}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Ca}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Ca}}} = \frac{7,20 \cdot 10^6}{40} = 0,18 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,18 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.7. n_{\text{Al}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Al}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Al}}} = \frac{7,90 \cdot 10^6}{27} = 0,29 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,29 \text{ Ммоль};$$

$$1.2.8. n_{\text{O}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{O}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{O}}} = \frac{36,60 \cdot 10^6}{16} = 2,29 \cdot 10^6 \text{ моль} = 2,29 \text{ Ммоль.}$$

1 балл

## 1.3. Расчёт меди

1.3.1. Вывод формулы ковеллина, в котором массовая доля серы 33,51 %

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

$$m_{\text{S}} = 33,51 \text{ г,}$$

$$m_{\text{Cu}} = 100 - m_{\text{S}} = 100 - 33,51 = 66,49 \text{ г.}$$

1.3.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{\text{Cu}} = \frac{m_{\text{Cu}}}{M_{\text{Cu}}} = \frac{66,49}{63,5} = 1,05 \text{ моль};$$

$$n_{\text{S}} = \frac{m_{\text{S}}}{M_{\text{S}}} = \frac{33,51}{32} = 1,05 \text{ моль.}$$

1.3.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Cu}} : n_{\text{S}} = 1,05 : 1,05 = 1 : 1$$

1.3.1.4. Формула ковеллина:  $\text{CuS}$ .

1.3.2. Количество вещества ковеллина с учётом п. 1.2.1



$$n_{\text{CuS}}^{\text{конц.}} = n_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = 1,89 \text{ Ммоль.}$$

## 1.3.3. Масса ковеллина

$$m_{\text{CuS}}^{\text{конц.}} = n_{\text{CuS}}^{\text{конц.}} \cdot M_{\text{CuS}} = 1,89 \cdot 10^6 \cdot 95,5 = 180,5 \cdot 10^6 \text{ г} = 180,5 \text{ т};$$
$$M_{\text{CuS}} = M_{\text{Cu}} + M_{\text{S}} = 63,5 + 32 = 95,5 \text{ г/моль.}$$

## 1.3.4. Массовая доля ковеллина в концентрате

$$\omega_{\text{CuS}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{CuS}}^{\text{конц.}}}{m_{\text{конц.}}} \cdot 100 \% = \frac{180,5}{1000} \cdot 100 = 18,05 \%.$$

$m_{\text{конц.}}$  – масса рудного концентрата, равная 1000 т.

1 балл

## 1.4. Расчёт цинка

## 1.4.1. Вывод формулы сфалерита с массовой долей серы 33 %

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

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

## 1.4.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{\text{Zn}} = \frac{m_{\text{Zn}}}{M_{\text{Zn}}} = \frac{67,0}{65} = 1,03 \text{ моль};$$
$$n_{\text{S}} = \frac{m_{\text{S}}}{M_{\text{S}}} = \frac{33,0}{32} = 1,03 \text{ моль.}$$

## 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:  $ZnS$ .

## 1.4.2. Количество вещества сфалерита с учётом п. 1.2.2

$$n_{\text{ZnS}}^{\text{конц.}} = n_{\text{Zn}}^{\text{конц.}} = 0,32 \text{ Ммоль.}$$

## 1.4.3. Масса сфалерита

$$m_{\text{ZnS}}^{\text{конц.}} = n_{\text{ZnS}}^{\text{конц.}} \cdot M_{\text{ZnS}} = 0,32 \cdot 10^6 \cdot 97 = 31,04 \cdot 10^6 \text{ г} = 31,04 \text{ т};$$
$$M_{\text{ZnS}} = M_{\text{Zn}} + M_{\text{S}} = 65 + 32 = 97 \text{ г/моль.}$$

## 1.4.4. Массовая доля сфалерита в концентрате

$$\omega_{\text{ZnS}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{ZnS}}^{\text{конц.}}}{m_{\text{конц.}}} \cdot 100 \% = \frac{31,04}{1000} \cdot 100 = 3,10 \%.$$

$m_{\text{конц.}}$  – масса рудного концентрата, равная 1000 т.

1 балл

## 1.5. Расчёт железа

## 1.5.1. Вывод формулы пирита

## 1.5.1.1. Количество вещества железа в пирите с учётом п. 1.2.3

$$n_{\text{Fe}}^{\text{Fe}_x\text{S}_y} = n_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} = 5,94 \text{ Ммоль}$$

## 1.5.1.2. Количество вещества серы в пирите с учётом п. 1.2.3, 1.3.2 и 1.4.2

$$n_{\text{S}}^{\text{Fe}_x\text{S}_y} = n_{\text{S}}^{\text{конц.}} - n_{\text{CuS}} - n_{\text{ZnS}} = n_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} - n_{\text{CuS}}^{\text{конц.}} - n_{\text{ZnS}}^{\text{конц.}} = 14,10 - 1,89 - 0,32$$
$$= 11,89 \text{ Ммоль.}$$

## 1.5.1.2. Соотношение количества вещества с учётом п. 1.2.3



$$n_{\text{Fe}}^{\text{Fe}_x\text{S}_y} : n_{\text{S}}^{\text{Fe}_x\text{S}_y} = 5,94 : 11,89 = 1 : 2$$

1.5.1.3. Формула пирита –  $\text{FeS}_2$ .

1.5.2. Количество вещества пирита с учетом п. 1.2.3.

$$n_{\text{FeS}_2}^{\text{конц.}} = n_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} = 5,94 \text{ Ммоль.}$$

1.5.3. Масса пирита

$$m_{\text{FeS}_2}^{\text{конц.}} = n_{\text{FeS}_2}^{\text{конц.}} \cdot M_{\text{FeS}_2} = 5,94 \cdot 10^6 \cdot 120 = 712,8 \cdot 10^6 \text{ г} = 712,8 \text{ т};$$

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

1.4.4. Массовая доля пирита в концентрате

$$\omega_{\text{FeS}_2}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{FeS}_2}^{\text{конц.}}}{m_{\text{конц.}}} \cdot 100 \% = \frac{712,8}{1000} \cdot 100 = 71,28 \%$$

$m_{\text{конц.}}$  – масса рудного концентрата, равная 1000 т.

1 балл

1.6. Расчёт оксида кремния

1.6.1. Количество вещества оксида кремния согласно п. 1.2.5

$$n_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}} = n_{\text{Si}}^{\text{конц.}} = 0,83 \text{ Ммоль.}$$

1.6.2. Масса оксида кремния

$$m_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}} = n_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}} \cdot 10^6 \cdot M_{\text{SiO}_2} = 0,83 \cdot 10^6 \cdot 60 = 49,8 \cdot 10^6 \text{ г} = 49,80 \text{ т};$$

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

1.6.3. Массовая доля оксида кремния в концентрате

$$\omega_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}}}{m_{\text{конц.}}} \cdot 100 \% = \frac{49,80}{1000} \cdot 100 = 4,98 \%$$

$m_{\text{конц.}}$  – масса рудного концентрата, равная 1000 т.

1 балл

1.7. Расчёт оксида кальция

1.7.1. Количество вещества оксида кальция согласно п. 1.2.6

$$n_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} = n_{\text{Ca}}^{\text{конц.}} = 0,18 \text{ Ммоль.}$$

1.7.2. Масса оксида кальция

$$m_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} = n_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} \cdot 10^6 \cdot M_{\text{CaO}} = 0,18 \cdot 10^6 \cdot 56 = 10,08 \cdot 10^6 \text{ г} = 10,08 \text{ т};$$

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

1.7.3. Массовая доля оксида кальция в концентрате

$$\omega_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\text{конц.}}}{m_{\text{конц.}}} \cdot 100 \% = \frac{10,08}{1000} \cdot 100 = 1,01 \%$$

$m_{\text{конц.}}$  – масса рудного концентрата, равная 1000 т.

1 балл

1.8. Расчёт оксида алюминия

1.8.1. Количество вещества оксида алюминия согласно п. 1.2.7

$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} = n_{\text{Al}}^{\text{конц.}} / 2 = 0,29 / 2 = 0,145 \text{ Ммоль.}$$

1.8.2. Масса оксида алюминия

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} = n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} \cdot 10^6 \cdot M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0,145 \cdot 10^6 \cdot 102 = 14,79 \cdot 10^6 \text{ г} = 14,79 \text{ т};$$



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

1.8.3. Массовая доля оксида алюминия в концентрате

$$\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}}}{m_{\text{конц.}}} \cdot 100 \% = \frac{14,79}{1000} \cdot 100 = 1,48 \%$$

1 балл

1.9. Проверка справедливости расчётов п. 1.3 – 1.8 (не является обязательным и носит рекомендательный характер)

А) по массам веществ

$$m_{\text{конц.}} = m_{\text{CuS}}^{\text{конц.}} + m_{\text{ZnS}}^{\text{конц.}} + m_{\text{FeS}_2}^{\text{конц.}} + m_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}} + m_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} + m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} = 180,5 + 31,04 + 712,8 + 49,80 + 10,08 + 14,79 = 999,01 \text{ т.}$$

Б) по массовым долям веществ

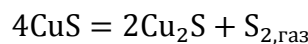
$$\omega_{\text{конц.}} = \omega_{\text{CuS}}^{\text{конц.}} + \omega_{\text{ZnS}}^{\text{конц.}} + \omega_{\text{FeS}_2}^{\text{конц.}} + \omega_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}} + \omega_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} + \omega_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} = 18,05 + 3,10 + 71,28 + 4,98 + 1,01 + 1,48 = 99,90 \%$$

Небольшое расхождение допустимо и связано с точностью вычислений.

2. Уравнения реакций, протекающих при обжиге

2.1. Термическая диссоциация высших сульфидов - реакции окислительно-восстановительные, требуется составление баланса электронов.

2.1.1. Диссоциация ковеллина

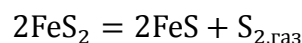


баланс электронов

$$\begin{array}{l} 2 \times | 2\text{Cu}^{+2} + 2\bar{e} = 2\text{Cu}^{+1} \\ 1 \times | 2\text{S}^{-2} - 4\bar{e} = \text{S}_2^0 \\ \hline 4\text{Cu}^{+2} + 2\text{S}^{-2} = 4\text{Cu}^{+1} + \text{S}_2^0 \end{array}$$

1 балл

2.1.2. Диссоциация пирита

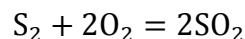


баланс электронов

$$\begin{array}{l} 1 \times | 2\text{S}^{-1} + 2\bar{e} = 2\text{S}^{-2} \\ 1 \times | 2\text{S}^{-1} - 2\bar{e} = \text{S}_2^0 \\ \hline 4\text{S}^{-1} = 2\text{S}^{-2} + \text{S}_2^0 \end{array}$$

1 балл

2.2. Горение паров серы



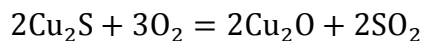
баланс электронов

$$\begin{array}{l} 2 \times | \text{O}_2^0 + 4\bar{e} = 2\text{O}^{-2} \\ 1 \times | \text{S}_2^0 - 8\bar{e} = 2\text{S}^{+4} \\ \hline 2\text{O}_2^0 + \text{S}_2^0 = 2\text{O}^{-2} + 2\text{S}^{+4} \end{array}$$

1 балл

2.3. Окисление сульфидов

2.3.1. Окисление сульфида меди

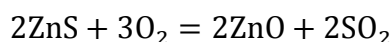


баланс электронов

$$\begin{array}{l} 3 \times | \text{O}_2^0 + 4\bar{e} = 2\text{O}^{-2} \\ 2 \times | \text{S}^{-2} - 6\bar{e} = \text{S}^{+4} \\ 3\text{O}_2^0 + 2\text{S}^{-2} = 6\text{O}^{-2} + 2\text{S}^{+4} \end{array}$$

1 балл

## 2.3.2. Окисление сульфида цинка

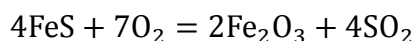


баланс электронов

$$\begin{array}{l} 3 \times | \text{O}_2^0 + 4\bar{e} = 2\text{O}^{-2} \\ 2 \times | \text{S}^{-2} - 6\bar{e} = \text{S}^{+4} \\ 3\text{O}_2^0 + 2\text{S}^{-2} = 6\text{O}^{-2} + 2\text{S}^{+4} \end{array}$$

1 балл

## 2.3.3. Окисление сульфида железа

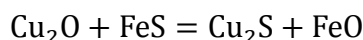


баланс электронов

$$\begin{array}{l} 7 \times | \text{O}_2^0 + 4\bar{e} = 2\text{O}^{-2} \\ 4 \times | \text{Fe}^{+2}\text{S}^{-2} - 7\bar{e} = \text{Fe}^{+3} + \text{S}^{+4} \\ 4\text{FeS} + 7\text{O}_2^0 = 4\text{Fe}^{+3} + 4\text{S}^{+4} + 14\text{O}^{-2} \end{array}$$

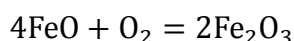
1 балл

## 2.3.4. 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).

## 2.3.5. Окисление оксида железа (II)



баланс электронов

$$\begin{array}{l} 1 \times | \text{O}_2^0 + 4\bar{e} = 2\text{O}^{-2} \\ 2 \times | 2\text{Fe}^{+2} - 2\bar{e} = 2\text{Fe}^{+3} \\ 4\text{FeO} + \text{O}_2^0 = 4\text{Fe}^{+3} + 2\text{O}^{-2} \end{array}$$

1 балл

## 3. Вещественный состав огарка

## 3.1. Расчёт массы огарка

## 3.1.1. Масса железа в огарке с учетом п. 1.1.3.

$$m_{\text{Fe}}^{\text{ог.}} = m_{\text{Fe}}^{\text{конц.}} = 332,8 \text{ т.}$$

3.1.2. Массу огарка рассчитывают по массе железа в огарке и массовой доле железа в огарке 44,76 %:

$$m_{\text{ог.}} = \frac{m_{\text{Fe}}^{\text{ог.}}}{\omega_{\text{Fe}}^{\text{ог.}}} \cdot 100 = \frac{332,8}{44,76} \cdot 100 = 743,52 \text{ т.}$$

1 балл



## 3.2. Расчёт серы в огарке

3.2.1. Расчет количества вещества серы в огарке выполняют по степени десульфуризации 80 % и её содержанию в концентрате (п. 1.2.4):

$$n_S^{\text{ог.}} = \frac{100 - D_S}{100} \cdot n_S^{\text{конц.}} = \frac{100 - 80}{100} \cdot 14,10 = 2,82 \text{ Ммоль};$$

3.2.2. Масса серы в огарке

$$m_S^{\text{ог.}} = n_S^{\text{ог.}} \cdot M_S = 2,82 \cdot 10^6 \cdot 32 = 90,24 \cdot 10^6 \text{ г} = 90,24 \text{ т.}$$

1 балл

## 3.3. Расчёт меди

3.3.1. Вывод формулы халькозина с массовой долей серы 20,13 %.

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

$$m_S = 20,13 \text{ г,}$$

$$m_{\text{Cu}} = 100 - m_S = 100 - 20,13 = 79,87 \text{ г.}$$

3.3.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{\text{Cu}} = \frac{m_{\text{Cu}}}{M_{\text{Cu}}} = \frac{79,87}{63,5} = 1,26 \text{ моль};$$

$$n_S = \frac{m_S}{M_S} = \frac{20,13}{32} = 0,63 \text{ моль.}$$

3.3.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Cu}} : n_S = 1,25 : 0,63 = 2 : 1$$

3.3.1.4. Формула халькозина:  $\text{Cu}_2\text{S}$ .

3.3.2. Количество вещества халькозина с учетом п. 1.2.1.

$$n_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{ог.}} = 0,5 \cdot n_{\text{Cu}}^{\text{конц.}} = 0,5 \cdot 1,89 = 0,945 \text{ Ммоль}$$

3.3.3. Масса халькозина

$$m_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{ог.}} = n_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{ог.}} \cdot M_{\text{Cu}_2\text{S}} = 0,945 \cdot 10^6 \cdot 159 = 150,26 \cdot 10^6 \text{ г} = 150,26 \text{ т};$$

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

3.3.4. Массовая доля халькозина с учетом п. 3.1.2.

$$\omega_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{ог.}} = \frac{m_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{ог.}}}{m_{\text{ог.}}} \cdot 100 \% = \frac{150,26}{743,52} \cdot 100 = 20,21 \%.$$

1 балл

## 3.4. Расчет цинка

3.4.1. Оксид цинка

3.4.1.1. Количество вещества оксида цинка с учетом того, что до оксида окисляется 1/3 цинка из концентрата. Количество цинка в концентрате определено в п. 1.2.2.

$$n_{\text{ZnO}}^{\text{ог.}} = \frac{1}{3} \cdot n_{\text{Zn}}^{\text{конц.}} = \frac{1}{3} \cdot 0,32 = 0,11 \text{ Ммоль}$$

3.4.1.2. Масса оксида цинка

$$m_{\text{ZnO}}^{\text{ог.}} = n_{\text{ZnO}}^{\text{ог.}} \cdot M_{\text{ZnO}} = 0,11 \cdot 10^6 \cdot 81 = 8,91 \cdot 10^6 \text{ г} = 8,91 \text{ т};$$

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

3.4.1.3. Массовая доля оксида цинка с учетом п. 3.1.2.





$$\omega_{ZnO}^{ог.} = \frac{m_{ZnO}^{ог.}}{m_{ог.}} \cdot 100\% = \frac{8,91}{743,52} \cdot 100 = 1,20\%$$

### 3.4.2. Сульфид цинка

3.4.2.1. Количество вещества сульфида цинка с учетом п. 1.2.2. и 3.4.1.1.

$$n_{ZnS}^{ог.} = n_{Zn}^{конц.} - n_{ZnO}^{ог.} = 0,32 - 0,11 = 0,21 \text{ Ммоль}$$

3.4.2.2. Масса сульфида цинка

$$m_{ZnS}^{ог.} = n_{ZnS}^{ог.} \cdot M_{ZnS} = 0,21 \cdot 10^6 \cdot 97 = 20,37 \cdot 10^6 \text{ г} = 20,37 \text{ т};$$

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

3.4.1.3. Массовая доля сульфида цинка с учетом п. 3.1.2.

$$\omega_{ZnS}^{ог.} = \frac{m_{ZnS}^{ог.}}{m_{ог.}} \cdot 100\% = \frac{20,37}{743,52} \cdot 100 = 2,74\%$$

1 балл

### 3.5. Расчет железа

#### 3.5.1. Сульфид железа

3.5.1.1. Количество вещества серы в сульфиде железа с учетом п. 3.3.2. и 3.4.2.1.

$$n_S^{FeS} = n_S^{ог.} - n_S^{Cu_2S} - n_S^{ZnS} = n_S^{ог.} - n_{Cu_2S}^{ог.} - n_{ZnS}^{ог.} = 2,82 - 0,945 - 0,21 = 1,67 \text{ Ммоль}$$

3.5.1.2. Количество вещества сульфида железа

$$n_{FeS}^{ог.} = n_S^{FeS} = 1,67 \text{ Ммоль}$$

3.5.1.3. Масса сульфида железа

$$m_{FeS}^{ог.} = n_{FeS}^{ог.} \cdot M_{FeS} = 1,67 \cdot 10^6 \cdot 88 = 146,96 \cdot 10^6 \text{ г} = 146,96 \text{ т};$$

$$M_{FeS} = M_{Fe} + M_S = 56 + 32 = 88 \text{ г/моль.}$$

3.5.1.4. Массовая доля сульфида железа с учетом п. 3.1.2.

$$\omega_{FeS}^{ог.} = \frac{m_{FeS}^{ог.}}{m_{ог.}} \cdot 100\% = \frac{146,96}{743,52} \cdot 100 = 19,765\%$$

1 балл

#### 3.5.2. Оксид железа

3.5.2.1. Вывод формулы оксида железа

3.5.2.1.1. Количество вещества железа в оксиде с учетом п. 1.2.3. и 3.5.1.2.

$$n_{Fe}^{Fe_xO_y} = n_{Fe}^{конц.} - n_{FeS}^{ог.} = 5,94 - 1,67 = 4,27 \text{ Ммоль.}$$

3.5.2.1.2. Масса кислорода при условии, что массовая доля кислорода в огарке 18,97 % и п. 3.1.2.

$$m_O^{ог.} = \frac{\omega_O^{ог.}}{100} \cdot m_{ог.} = \frac{18,97}{100} \cdot 743,52 = 141,05 \text{ т.}$$

3.5.2.1.3. Количество вещества кислорода в огарке

$$n_O^{ог.} = \frac{m_O^{ог.}}{M_O} = \frac{141,05}{16} = 8,82 \text{ Ммоль}$$

3.5.2.1.4. Количество вещества кислорода в оксиде железа.

Оксиды кремния, кальция и алюминия переходят в огарок из концентрата, таким образом их количество рассчитано в п. 1.6.1., 1.7.1. и 1.8.1. Количество оксида цинка в огарке рассчитано в п. 3.4.1.1.

$$n_O^{Fe_xO_y} = n_O^{ог.} - n_O^{ZnO} - n_O^{SiO_2} - n_O^{CaO} - n_O^{Al_2O_3} = n_O^{ог.} - n_{ZnO}^{ог.} - 2 \cdot n_{SiO_2}^{конц.} - n_{CaO}^{конц.} - 3 \cdot n_{Al_2O_3}^{конц.} \\ = 8,82 - 0,11 - 2 \cdot 0,83 - 0,18 - 3 \cdot 0,145 = 6,44 \text{ Ммоль}$$



3.5.2.1.5. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Fe}}^{\text{Fe}_x\text{O}_y} : n_{\text{O}}^{\text{Fe}_x\text{O}_y} = 4,27 : 6,44 = 2 : 3.$$

Формула оксида железа в огарке  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

3.5.2.2. Количество вещества оксида железа с учетом п. 3.5.2.1.1.

$$n_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{ог.}} = \frac{n_{\text{Fe}}^{\text{Fe}_2\text{O}_3}}{2} = \frac{4,27}{2} = 2,14 \text{ Ммоль.}$$

3.5.2.3. Масса оксида железа

$$m_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{ог.}} = n_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{ог.}} \cdot M_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 2,14 \cdot 10^6 \cdot 160 = 342,4 \cdot 10^6 \text{ г} = 342,4 \text{ т};$$

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

3.5.2.4. Массовая доля оксида железа в огарке с учетом п. 3.1.2.

$$\omega_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{ог.}} = \frac{m_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{ог.}}}{m_{\text{ог.}}} \cdot 100 \% = \frac{341,6}{743,52} \cdot 100 = 46,05 \%.$$

1 балл

3.6. Массовая доля оксида кремния в огарке с учетом п. 1.6.2. и 3.1.2.

$$\omega_{\text{SiO}_2}^{\text{ог.}} = \frac{m_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}}}{m_{\text{ог.}}} \cdot 100 \% = \frac{49,80}{743,52} \cdot 100 = 6,70 \%.$$

3.7. Массовая доля оксида кальция в огарке с учетом п. 1.7.2. и 3.1.2.

$$\omega_{\text{CaO}}^{\text{ог.}} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\text{конц.}}}{m_{\text{ог.}}} \cdot 100 \% = \frac{10,08}{743,52} \cdot 100 = 1,36 \%.$$

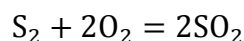
3.8. Массовая доля оксида алюминия в огарке с учетом п. 1.8.2. и 3.1.2.

$$\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{ог.}} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}}}{m_{\text{ог.}}} \cdot 100 \% = \frac{14,79}{743,52} \cdot 100 = 1,99 \%.$$

1 балл

4. Расход воздуха

4.1. Горение паров серы



4.1.1. Количество вещества серы с учетом степени десульфуризации 80 %.

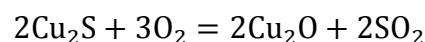
$$n_{\text{S}_2} = 0,5 \cdot n_{\text{S}} = 0,5 \cdot 0,8 \cdot n_{\text{S}}^{\text{конц.}}$$

4.1.2. Количество вещества кислорода, количество вещества серы в концентрате рассчитано в п. 1.2.4.

$$n_{\text{O}_2} = 2 \cdot n_{\text{S}_2} = 0,8 \cdot n_{\text{S}}^{\text{конц.}} = 0,8 \cdot 14,1 = 11,28 \text{ Ммоль}$$

1 балл

4.2. Окисление сульфида меди

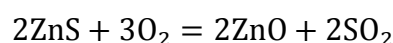


4.2.1. Количество вещества кислорода с учетом п. 3.3.2.

$$n_{\text{O}_2} = \frac{3}{2} \cdot n_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{ог.}} = 1,5 \cdot 0,945 = 1,42 \text{ Ммоль}$$

1 балл

4.3. Окисление сульфида цинка



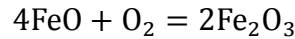


4.3.1. Количество вещества кислорода с учетом п. 3.4.1.1.

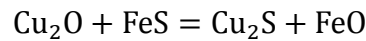
$$n_{O_2} = \frac{3}{2} \cdot n_{ZnO}^{ог.} = 1,5 \cdot 0,11 = 0,165 \text{ Ммоль}$$

1 балл

4.4. Окисление оксида железа (II)



4.4.1. Количество вещества оксида железа (II) с учетом п. 3.3.2.



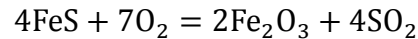
$$n_{FeO} = n_{Cu_2S}^{ог.} = 0,945 \text{ Ммоль.}$$

4.4.2. Количество вещества кислорода

$$n_{O_2} = \frac{1}{2} \cdot n_{Fe_2O_3} = \frac{1}{4} \cdot n_{FeO} = \frac{1}{4} \cdot n_{Cu_2S}^{ог.} = \frac{0,945}{4} = 0,24 \text{ Ммоль.}$$

1 балл

4.5. Окисление сульфида железа



4.5.1. Количество вещества оксида железа (III). Оксид железа (III) образуется по реакциям в п. 4.4. и 4.5. Тогда с учетом п. 3.5.2.2.

$$n_{Fe_2O_3}^{4.5} = n_{Fe_2O_3}^{ог.} - n_{Fe_2O_3}^{4.4} = n_{Fe_2O_3}^{ог.} - 2 \cdot n_{O_2}^{4.4} = 2,14 - 2 \cdot 0,24 = 1,66$$

4.5.2. Количество вещества кислорода

$$n_{O_2} = \frac{7}{2} \cdot n_{Fe_2O_3} = \frac{7}{2} \cdot 1,66 = 5,81 \text{ Ммоль.}$$

1 балл

4.6. Общее количество кислорода, необходимое для проведения реакций 4.1. – 4.5.

$$n_{O_2}^{\Sigma} = n_{O_2}^{4.1} + n_{O_2}^{4.2} + n_{O_2}^{4.3} + n_{O_2}^{4.4} + n_{O_2}^{4.5} = 11,28 + 1,42 + 0,165 + 0,24 + 5,81 = 18,915 \text{ Ммоль}$$

4.7. Общее количество воздуха, содержание кислорода в воздухе 21%

$$n_{\text{возд.}} = \frac{100 \cdot n_{O_2}^{\Sigma}}{\omega_{O_2}^{\text{возд.}}} = \frac{100 \cdot 18,915}{21} = 90,07 \cdot 10^6 \text{ моль} = 90,07 \text{ Ммоль}$$

1 балл

4.8. Объем воздуха

$$V_{\text{возд.}} = n_{\text{возд.}} \cdot V_m = 90,07 \cdot 10^6 \cdot 22,4 = 2018 \cdot 10^6 \text{ л} = 20,18 \cdot 10^5 \text{ м}^3$$

1 балл

4.9. Расход воздуха в час (объем воздуха в п. 4.8. рассчитывали исходя из производительности по медному концентрату 1000 т/сутки)

$$L_{\text{возд.}} = \frac{V_{\text{возд.}}}{t} = \frac{20,18 \cdot 10^5}{24} = 84,08 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

1 балл

**Ответ:**



1) Вещественный состав концентрата

вещество	<i>m</i> , т	$\omega$ , %
CuS	180,50	18,05
ZnS	31,04	3,10
FeS <sub>2</sub>	712,80	71,28
SiO <sub>2</sub>	49,80	4,98
CaO	10,08	1,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,79	1,48
Итого:	999.01	99,9

2) Вещественный состав огарка

вещество	<i>m</i> , т	$\omega$ , %
Cu <sub>2</sub> S	150,26	20,21
ZnO	8,91	1,20
ZnS	20,37	2,74
FeS	146,96	19,77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	342,4	46,05
SiO <sub>2</sub>	49,80	6,70
CaO	10,08	1,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,79	1,99
Итого:	742,77	100,0

3) Расход воздуха

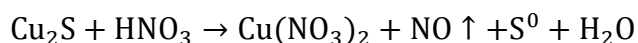
$$L_{\text{возд.}} = 84,08 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

**ХИМИЯ****ВАРИАНТ 3****Задание 1 (5 баллов)**

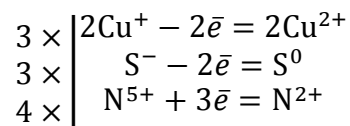
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнивать, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции протекающей в растворе, сокращенной ионной формах:



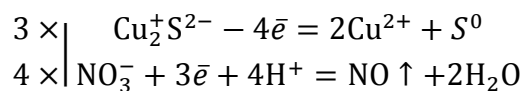
Решение



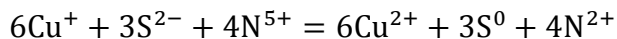
\_\_\_\_\_ 1 балл



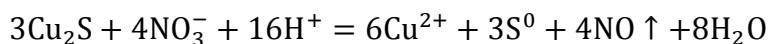
или



\_\_\_\_\_ 2 балла



или



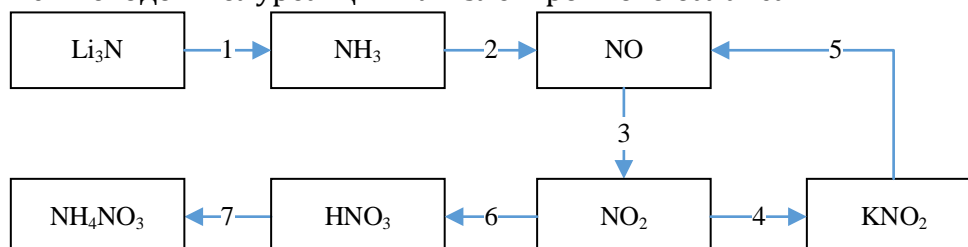
\_\_\_\_\_ 1 балл



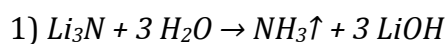
\_\_\_\_\_ 1 балл

**Задание 2 (10 баллов)**

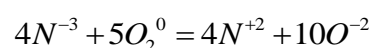
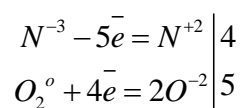
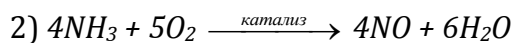
Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения (прямое и обратное превращения должны быть разными). Окислительно-восстановительные реакции должны сопровождаться методом полуреакций или электронного баланса:



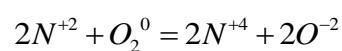
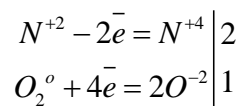
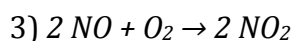
Решение:



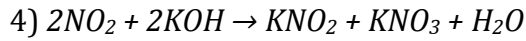
1 балл



1 балл



1 балл



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

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

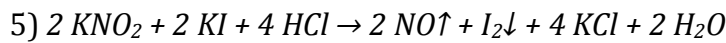
или

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



---

2 балла

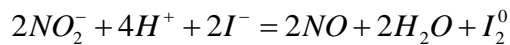


$$\begin{array}{l} N^{+3} + 1\bar{e} = N^{+2} \quad | \quad 2 \\ 2I^- - 2\bar{e} = I_2^0 \quad | \quad 1 \end{array}$$

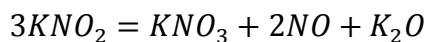
$$2N^{+3} + 2I^- = 2N^{+2} + I_2$$

или

$$\begin{array}{l} NO_2^- + 2H^+ + 1\bar{e} = NO + H_2O \quad | \quad 2 \\ 2I^- - 2\bar{e} = I_2^0 \quad | \quad 1 \end{array}$$



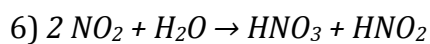
Возможен вариант:



$$\begin{array}{l} 2 \times | N^{+3} + 1\bar{e} = N^{+2} \\ 1 \times | N^{+3} - 2\bar{e} = N^{+5} \\ 3N^{+3} = 2N^{+2} + N^{+5} \end{array}$$

---

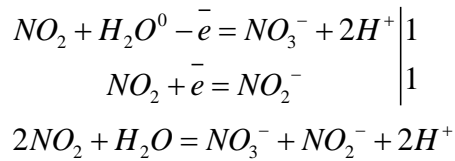
2 балл



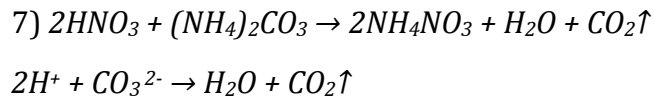
$$\begin{array}{l} N^{+4} - \bar{e} = N^{+5} \quad | \quad 1 \\ N^{+4} + \bar{e} = N^{+3} \quad | \quad 1 \end{array}$$

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

или



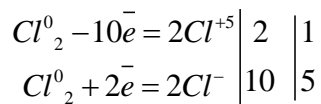
2 балла



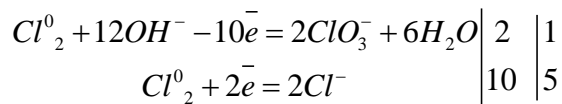
1 балл

**Задание 3 (15 баллов)**

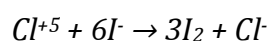
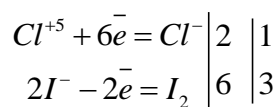
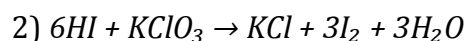
Определите формулы веществ *A*, *B*, *C*, *D*. Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения. Вещества в цепочке могут находиться как в твердом состоянии, так и в растворе. Окислительно-восстановительные реакции должны сопровождаться методом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



или



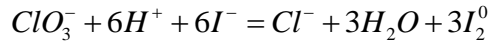
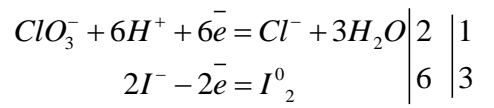
3 балла





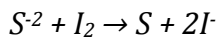
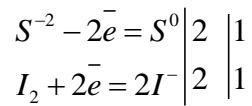
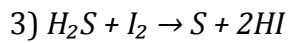


или



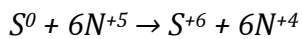
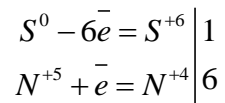
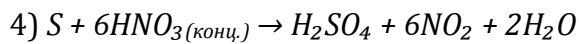
---

3 балла

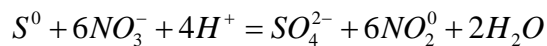
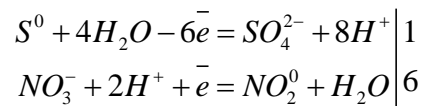


---

3 балла

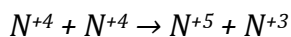
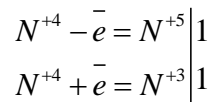
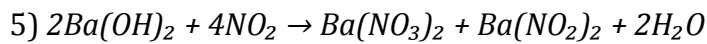


или

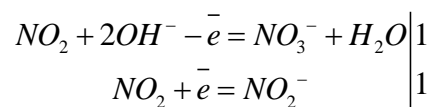


---

3 балла



или





Ответ: **A** -  $\text{KClO}_3$ ; **B** -  $\text{S}$ ; **C** -  $\text{NO}_2$ ; **D** -  $\text{Ba}(\text{NO}_2)_2$ .

#### Задание 4 (20 баллов)

Имеется бесцветная соль щелочноземельного металла «А» с массовой долей металла 62,5%, которая окрашивает пламя в кирпично-красный цвет. Взаимодействие этой соли с водой сопровождается бурной реакцией с выделением большого количества тепла, при этом образуется белый малорастворимый осадок «Б» и выделяется газ, без цвета и запаха (относительная плотность по водороду  $D_{\text{H}_2} = 13$ ), который часто используют при сварке. Рассчитать объем образующего газа, если при его сжигании в избытке кислорода образуется 5,6 л углекислого газа (н.у.) и вода. Малорастворимый осадок «Б» растворяется в присутствии соляной кислоты с образованием средней соли, которая уже при взаимодействии с нитратом серебра образует белый осадок. Определить массу осадка соли серебра, которая может образоваться в результате реакции. Написать все уравнения реакций в молекулярной и ионной форме.

#### Решение

1. Определение веществ А и Б.

Найдем молекулярную массу газа:

$$M_{\text{газа}} = M_{\text{H}_2} \cdot D_{\text{H}_2} = 2 \cdot 13 = 26 \text{ г / моль}.$$

Известно, что полученный газ при сжигании образует углекислый газ и воду, значит искомым газом является углеводород, а точнее ацетилен  $\text{C}_2\text{H}_2$ , согласно рассчитанной молекулярной массе. Соли кальция окрашивают пламя в кирпично-красный цвет. Также известно, что соль взаимодействует с водой с образованием малорастворимого гидроксида кальция (вещество Б). Искомое вещество «А» - карбид кальция.

$$\omega_{\text{Ca}} = \frac{100 \cdot M_{\text{Ca}}}{M_{\text{CaC}_2}} = \frac{100 \cdot 40}{64} = 62,5\%$$

Гидроксид кальция растворяется в соляной кислоте с образованием хлорида кальция, который с нитратом серебра дает осадок белого цвета. Белый осадок — хлорид серебра.

\_\_\_\_\_ 2 балла

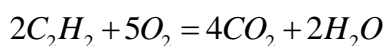
2. Уравнения реакций

2.1. Реакция карбида кальция с водой:



\_\_\_\_\_ 2 балла

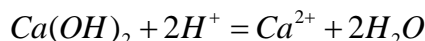
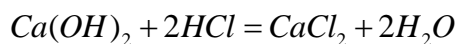
2.2. Реакция сжигания ацетилена:



\_\_\_\_\_ 2 балла

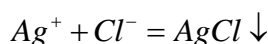
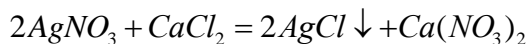


## 2.3. Реакция растворения осадка



2 балла

## 2.4. Реакция образования хлорида серебра



2 балла

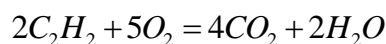
## 3. Расчёт объема ацетилена

## 3.1. Расчёт количество вещества углекислого газа

$$n_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{22,4} = \frac{5,6}{22,4} = 0,25 \text{ моль}$$

## 3.2. Расчёт количества вещества ацетилена

по уравнению реакции п. 2.2



$$n_{C_2H_2} = 0,5 \cdot n_{CO_2} = 0,125 \text{ моль}$$

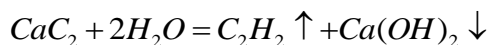
## 3.3. Расчёт объема ацетилена

$$V_{C_2H_2} = 22,4 \cdot n_{C_2H_2} = 2,8 \text{ л}$$

## 4. Расчёт массы хлорида серебра

## 4.1. Расчёт количества вещества «Б»

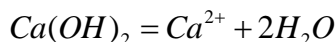
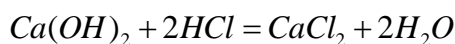
по уравнению 2.1.



$$n_{C_2H_2} = n_{Ca(OH)_2} = 0,125 \text{ моль}$$

## 4.2. Расчёт количества вещества хлорида кальция

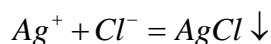
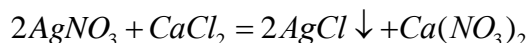
по уравнению 2.3.



$$n_{CaCl_2} = n_{Ca(OH)_2} = 0,125 \text{ моль}$$

## 4.3. Расчёт количества вещества хлорида кальция

по уравнению 2.4.



$$n_{AgCl} = 2n_{CaCl_2} = 0,25 \text{ моль}$$

## 4.4. Расчёт массы хлорида серебра

$$m_{AgCl} = M_{AgCl} \cdot n_{AgCl} = 143,5 \cdot 0,25 = 35,88 \text{ г}$$

10 баллов

**Задание 5 (20 баллов)**

Пластинку цинка поместили в раствор массой 1500 г с массовой долей медного купороса 10 %. Масса пластинки по истечении некоторого времени уменьшилась на 0,225 г. К полученному раствору добавили 600 г раствора с массовой долей гидроксида натрия 15 %. Определить массовую долю гидроксида натрия в конечном растворе. При расчётах молярную массу меди до целых не округлять.

Решение

1. Расчёт раствора медного купороса

1.1. Масса медного купороса

$$m_{CuSO_4 \cdot 5H_2O} = \frac{\omega_{CuSO_4 \cdot 5H_2O}}{100} \cdot m_{CuSO_4 \cdot 5H_2O}^{p-p} = \frac{10}{100} \cdot 1500 = 150 \text{ г.}$$

1.2. Молярная масса медного купороса

$$M_{CuSO_4 \cdot 5H_2O} = M_{Cu} + M_S + 4 \cdot M_O + 5 \cdot M_{H_2O} = 63,5 + 32 + 4 \cdot 16 + 5 \cdot 18 = 249,5 \text{ г/моль.}$$

1.3. Количество вещества медного купороса

$$n_{CuSO_4 \cdot 5H_2O} = \frac{m_{CuSO_4 \cdot 5H_2O}}{M_{CuSO_4 \cdot 5H_2O}} = \frac{150}{249,5} = 0,60 \text{ моль}$$

1.4. Количество вещества сульфата меди

$$n_{CuSO_4}^i = n_{CuSO_4 \cdot 5H_2O} = 0,60 \text{ моль}$$

1.5. Масса сульфата меди

$$m_{CuSO_4} = n_{CuSO_4} \cdot M_{CuSO_4} = 0,6 \cdot 159,5 = 95,7 \text{ г.}$$

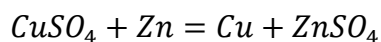
1.6. Масса воды

$$m_{H_2O}^{(1)} = m_{CuSO_4 \cdot 5H_2O}^{p-p} - m_{CuSO_4} = 1500 - 95,7 = 1404,3 \text{ г.}$$

4 балла

2. Реакция сульфата меди с цинком

2.1. Уравнение реакции



2.2. Материальный баланс

$$n_{CuSO_4} = n_{Zn} = n_{Cu} = n_{ZnSO_4} = n$$

2.3. Конечная масса цинковой пластинки

$$m_k = m_i - m_{Zn} + m_{Cu} = m_i - n \cdot M_{Zn} + n \cdot M_{Cu}$$



2.4. Изменение массы пластинки

$$m_k - m_i = n(M_{Cu} - M_{Zn})$$

2.5. Количество вещества

$$n = \frac{m_k - m_i}{M_{Cu} - M_{Zn}} = \frac{-0,225}{63,5 - 65} = 0,15 \text{ моль.}$$

2.6. После реакции с цинком в растворе:

$$n_{ZnSO_4} = 0,15 \text{ моль;}$$

$$n_{CuSO_4} = n_{CuSO_4}^i - n = 0,6 - 0,15 = 0,45 \text{ моль.}$$

4 балла

3. Расчёт раствора гидроксида натрия

3.1. Масса гидроксида натрия

$$m_{NaOH} = \frac{\omega_{NaOH}}{100} \cdot m_{NaOH}^{p-p} = \frac{15}{100} \cdot 600 = 90 \text{ г.}$$

3.2. Количество вещества гидроксида натрия

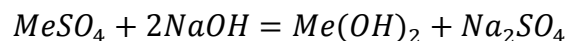
$$n_{NaOH}^i = \frac{m_{NaOH}}{M_{NaOH}} = \frac{90}{40} = 2,25 \text{ моль.}$$

3.3. Масса воды

$$m_{H_2O}^{(2)} = m_{NaOH}^{p-p} - m_{NaOH} = 600 - 90 = 510 \text{ г.}$$

4. Реакция сульфатов металлов и гидроксида натрия с образованием гидроксидов

4.1. Уравнение реакции с учётом того, что сульфат меди и сульфат цинка взаимодействуют со щелочью по одинаковой схеме:



4.2. По реакции расходуется гидроксид натрия

$$n_{NaOH}^{R1} = 2n_{MeSO_4},$$

$$n_{MeSO_4} = n_{CuSO_4} + n_{ZnSO_4} = 0,45 + 0,15 = 0,6 \text{ моль.}$$

$$n_{NaOH}^i = 2,25 > 2n_{MeSO_4} = 1,2 \text{ моль}$$

4.3. После реакции сульфатов металлов со щелочью образуется:

4.3.1. Осадок гидроксида меди:

$$n_{Cu(OH)_2} = n_{CuSO_4} = 0,45 \text{ моль}$$

4.3.2. Сульфат натрия:



$$n_{Na_2SO_4} = n_{MeSO_4} = 0,6 \text{ моль};$$

4.3.3. Гидроксид цинка:

$$n_{Zn(OH)_2} = n_{ZnSO_4} = 0,15 \text{ моль.}$$

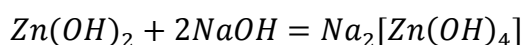
4.3.4. Остаётся гидроксид натрия

$$n_{NaOH} = n_{NaOH}^i - n_{NaOH}^{R1} = 2,25 - 1,20 = 1,05 \text{ моль.}$$

4 балла

5. Растворение гидроксида цинка в избытке гидроксида натрия

5.1. Уравнение реакции



5.2. Расходуется гидроксид натрия

$$n_{NaOH}^{R2} = 2n_{Zn(OH)_2} = 2 \cdot 0,15 = 0,3 \text{ моль.}$$

5.3. Остаётся гидроксид натрия:

$$n_{NaOH}^k = n_{NaOH} - n_{NaOH}^{R2} = 1,05 - 0,3 = 0,75 \text{ моль.}$$

5.4. Образуется тетрагидроксоцинкат натрия

$$n_{Na_2[Zn(OH)_4]} = n_{Zn(OH)_2} = 0,15 \text{ моль.}$$

6. Расчёт конечного раствора

6.1. Масса воды:

$$m_{H_2O} = m_{H_2O}^{(1)} + m_{H_2O}^{(2)} = 1\,404,3 + 510 = 1\,914,3 \text{ г.}$$

6.2. Масса гидроксида натрия:

$$m_{NaOH}^k = n_{NaOH}^k \cdot M_{NaOH} = 0,75 \cdot 40 = 30 \text{ г.}$$

4 балла

6.3. Масса сульфата натрия:

$$m_{Na_2SO_4} = n_{Na_2SO_4} \cdot M_{Na_2SO_4} = 0,6 \cdot 142 = 85,2 \text{ г};$$

$$M_{Na_2SO_4} = 2 \cdot M_{Na} + M_S + 4 \cdot M_O = 2 \cdot 23 + 32 + 4 \cdot 16 = 142 \text{ г/моль}$$

6.4. Масса тетрагидроксоцинката натрия

$$m_{Na_2[Zn(OH)_4]} = n_{Na_2[Zn(OH)_4]} \cdot M_{Na_2[Zn(OH)_4]} = 0,15 \cdot 179 = 26,85 \text{ г};$$

$$M_{Na_2[Zn(OH)_4]} = 2 \cdot M_{Na} + M_{Zn} + 4 \cdot M_{OH} = 2 \cdot 23 + 65 + 4 \cdot 17 = 179 \text{ г/моль.}$$

6.5. Масса раствора

$$m_{p-p} = m_{H_2O} + m_{NaOH}^k + m_{Na_2SO_4} + m_{Na_2[Zn(OH)_4]} = \\ 1\,914,3 + 30 + 85,2 + 26,85 = 2\,056,35 \text{ г.}$$



6.6. Массовая доля гидроксида натрия:

$$\omega_{\text{NaOH}}^k = \frac{m_{\text{NaOH}}^k}{m_{p-p}} \cdot 100 \% = \frac{30}{2\,056,35} \cdot 100 = 1,46 \%$$

4 балла

Ответ: массовая доля гидроксида натрия в конечном растворе 1,46 %

### Задание 6 (30 баллов)

Целью восстановительной плавки окисленных никелевых руд является максимальное извлечение никеля в штейн, ошлакование железа, содержащегося в руде в виде бурого железняка и пустой породы (каолинит, тальк). 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 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. Выход штейна при плавке окисленных никелевых руд небольшой и составляет не более 10 % от массы руды. Штейн содержит массовую долю никеля 18 % (в виде сульфида с массовой долей серы 26,66%), серы 33,98 % и железо в сульфидной форме. Степень извлечения никеля в штейн – 85 %.

Для 100 т окисленной никелевой руды влажностью 1,8 %, содержащей (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 (оксид кремния).

1) определить элементный и вещественный (в пересчёте на оксиды) состав руды;

2) составить уравнения реакций, протекающих при плавке на штейн в восстановительных условиях, отметив процессы, приводящие к концентрированию никеля в составе штейна;

3) определить массу и выход штейна, его вещественный и элементный состав (массовые доли);

4) рассчитать массу сульфидирующей добавки – гипса, учитывая, что часть серы теряется с отходящими газами, из которых может быть получено 2,252 т комовой серы с массовой долей примесей 0,5 %.

**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

$$n_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{70,0}{56} = 1,25 \text{ моль};$$
$$n_{\text{O}} = \frac{m_{\text{O}}}{M_{\text{O}}} = \frac{30,0}{16} = 1,875 \text{ моль}.$$

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

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 талька:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

1 балл

## 2. Расчёт массы веществ

$m_i^{\text{руд.}}$ , составляющих массу руды выполняют по формуле

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

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

$$2.1. m_{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}} = \frac{\omega_{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{33,08}{100} \cdot 100 = 33,08 \text{ т;}$$

$$2.2. m_{\text{3MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}} = \frac{\omega_{\text{3MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{35,91}{100} \cdot 100 = 35,91 \text{ т;}$$

$$2.3. m_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}} = \frac{\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{13,71}{100} \cdot 100 = 13,71 \text{ т;}$$

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

$$2.5. m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}} = \frac{\omega_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}}}{100} \cdot m_{\text{руд.}} = \frac{1,80}{100} \cdot 100 = 1,80 \text{ т;}$$

$$2.6. m_{\text{SiO}_2}^{\text{руд.}} = m_{\text{руд.}} - m_{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}} - m_{\text{3MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}} - m_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}} - m_{\text{NiO}}^{\text{руд.}} - m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}} = \\ = 100 - 33,08 - 35,91 - 13,71 - 2,55 - 1,80 = 7,95 \text{ т.}$$

1 балл

## 3. Расчёт количества вещества компонентов руды

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

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

где  $m_i^{\text{руд.}}$  – масса вещества в руде, г;  $M_i$  – молярная масса вещества, г/моль.

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1 балл

#### 4. Расчёт состава руды в пересчёте на элементы и оксиды элементов

##### 4.1. Расчёт никеля

##### 4.1.1. Количество вещества никеля с учетом п. 3.4.

$$n_{\text{Ni}}^{\text{руд.}} = n_{\text{NiO}}^{\text{руд.}} = 0,034 \text{ Ммоль.}$$

##### 4.1.2. Масса никеля

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

##### 4.1.3. Массовая доля никеля

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

$m_{\text{руд.}}$  – масса руды, 100 т.

1 балл

##### 4.2. Расчёт железа

##### 4.2.1. Расчет оксида железа

##### 4.2.1.1. Количество вещества оксида железа с учетом п. 3.1.

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

##### 4.2.1.2. Масса оксида железа

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

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

##### 4.2.1.3. Массовая доля оксида железа

$$\omega_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{руд.}} = \frac{m_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{руд.}}}{m_{\text{руд.}}} \cdot 100 \% = \frac{34,24}{100} \cdot 100 = 34,24 \%;$$



$m_{\text{руд.}}$  – масса руды, 100 т.

#### 4.2.2. Расчет железа

4.2.2.1. Количество вещества железа с учетом п. 4.2.1.1.

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

4.2.2.2. Масса железа

$$m_{\text{Fe}}^{\text{руд.}} = n_{\text{Fe}}^{\text{руд.}} \cdot M_{\text{Fe}} = 0,428 \cdot 10^6 \cdot 56 = 23,968 \cdot 10^6 \text{ г} = 23,968 \text{ т.}$$

4.2.2.3. Массовая доля железа

$$\omega_{\text{Fe}}^{\text{руд.}} = \frac{m_{\text{Fe}}^{\text{руд.}}}{m_{\text{руд.}}} \cdot 100 \% = \frac{23,968}{100} \cdot 100 = 23,97 \%;$$

$m_{\text{руд.}}$  – масса руды, 100 т.

1 балл

#### 4.3. Расчёт магния

##### 4.3.1. Расчет оксида магния

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

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

4.3.1.2. Масса оксида магния

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

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

4.3.1.3. Массовая доля оксида магния

$$\omega_{\text{MgO}}^{\text{руд.}} = \frac{m_{\text{MgO}}^{\text{руд.}}}{m_{\text{руд.}}} \cdot 100 \% = \frac{11,40}{100} \cdot 100 = 11,40 \%;$$

$m_{\text{руд.}}$  – масса руды, 100 т.

##### 4.3.2. Расчет магния

4.3.2.1. Количество вещества магния с учетом п. 4.3.1.1.

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

4.3.2.2. Масса магния

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

4.3.2.3. Массовая доля магния

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

$m_{\text{руд.}}$  – масса руды, 100 т.

1 балл

#### 4.4. Расчёт алюминия

##### 4.4.1. Расчет оксида алюминия

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

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

4.4.1.2. Масса оксида алюминия

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

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



## 4.4.1.3. Массовая доля оксида алюминия

$$\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{руд.}} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{руд.}}}{m_{\text{руд.}}} \cdot 100\% = \frac{5,406}{100} \cdot 100 = 5,41\%;$$

$m_{\text{руд.}}$  – масса руды, 100 т.

## 4.4.2. Расчет алюминия

## 4.4.2.1. Количество вещества алюминия с учетом п. 4.4.1.1.

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

## 4.4.2.2. Масса алюминия

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

## 4.4.2.3. Массовая доля алюминия

$$\omega_{\text{Al}}^{\text{руд.}} = \frac{m_{\text{Al}}^{\text{руд.}}}{m_{\text{руд.}}} \cdot 100\% = \frac{2,862}{100} \cdot 100 = 2,86\%.$$

$m_{\text{руд.}}$  – масса руды, 100 т.

---

1 балл

## 4.5. Расчёт кремния

## 4.5.1. Расчет оксида кремния

## 4.5.1.1. Количество вещества оксида кремния с учетом п. 3.6, 3.2 и 3.3.

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

## 4.5.1.2. Масса оксида кремния

$$m_{\text{SiO}_2}^{\text{руд.}\Sigma} = n_{\text{SiO}_2}^{\text{руд.}\Sigma} \cdot M_{\text{SiO}_2} = 0,616 \cdot 10^6 \cdot 60 = 36,96 \cdot 10^6 \text{ г} = 36,96 \text{ т;} \\ M_{\text{SiO}_2} = M_{\text{Si}} + 2 \cdot M_{\text{O}} = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль.}$$

## 4.5.1.3. Массовая доля оксида кремния

$$\omega_{\text{SiO}_2}^{\text{руд.}\Sigma} = \frac{m_{\text{SiO}_2}^{\text{руд.}\Sigma}}{m_{\text{руд.}}} \cdot 100\% = \frac{36,96}{100} \cdot 100 = 36,96\%;$$

$m_{\text{руд.}}$  – масса руды, 100 т.

---

1 балл

## 4.5.2. Расчет кремния

## 4.5.2.1. Количество вещества кремния с учетом п. 4.5.1.1.

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

## 4.5.2.2. Масса кремния

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

## 4.5.2.3. Массовая доля кремния

$$\omega_{\text{Si}}^{\text{руд.}\Sigma} = \frac{m_{\text{Si}}^{\text{руд.}\Sigma}}{m_{\text{руд.}}} \cdot 100\% = \frac{17,248}{100} \cdot 100 = 17,25\%.$$

$m_{\text{руд.}}$  – масса руды, 100 т.

---

1 балл

## 4.6. Расчёт водорода

## 4.6.1. Расчет воды



4.6.1.1. Количество вещества воды с учетом п. 3.1, 3.2, 3.3 и 3.5.

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma} = n_{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}} + n_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}} + 2 \cdot n_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}} + n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}} = \\ = 0,214 + 0,095 + 2 \cdot 0,053 + 0,1 = 0,515 \text{ Ммоль.}$$

4.6.1.2. Масса воды

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma} = n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma} \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} = 0,515 \cdot 10^6 \cdot 18 = 9,27 \cdot 10^6 \text{ г} = 9,27 \text{ т}; \\ M_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot M_{\text{H}} + M_{\text{O}} = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ г/моль.}$$

4.6.1.3. Массовая доля воды

$$\omega_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma}}{m_{\text{руд.}}} \cdot 100 \% = \frac{9,27}{100} \cdot 100 = 9,27 \%;$$

$m_{\text{руд.}}$  – масса руды, 100 т.

4.6.2. Расчет водорода

4.6.2.1. Количество вещества водорода с учетом п. 4.6.1.1.

$$n_{\text{H}}^{\text{руд.}\Sigma} = 2 \cdot n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma} = 2 \cdot 0,515 = 1,03 \text{ Ммоль.}$$

4.6.2.2. Масса водорода

$$m_{\text{H}}^{\text{руд.}\Sigma} = n_{\text{H}}^{\text{руд.}\Sigma} \cdot M_{\text{H}} = 1,03 \cdot 10^6 \cdot 1 = 1,03 \cdot 10^6 \text{ г} = 1,03 \text{ т.}$$

4.6.2.3. Массовая доля водорода

$$\omega_{\text{H}}^{\text{руд.}\Sigma} = \frac{m_{\text{H}}^{\text{руд.}\Sigma}}{m_{\text{руд.}}} \cdot 100 \% = \frac{1,03}{100} \cdot 100 = 1,03 \%;$$

$m_{\text{руд.}}$  – масса руды, 100 т.

1 балл

4.7. Расчёт кислорода

4.7.1. Количество вещества кислорода с учетом п. 3.4, 4.2.1.1, 4.3.1.1, 4.4.1.1, 4.5.1.1 и 4.6.1.1.

$$n_{\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma} = n_{\text{NiO}}^{\text{руд.}} + 3 \cdot n_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{руд.}} + n_{\text{MgO}}^{\text{руд.}} + 3 \cdot n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{руд.}} + 2 \cdot n_{\text{SiO}_2}^{\text{руд.}\Sigma} + n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma} = \\ = 0,034 + 3 \cdot 0,214 + 0,285 + 3 \cdot 0,053 + 2 \cdot 0,616 + 0,515 = 2,867 \text{ Ммоль.}$$

4.7.2. Масса кислорода

$$m_{\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma} = n_{\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma} \cdot M_{\text{O}} = 2,867 \cdot 10^6 \cdot 16 = 45,872 \cdot 10^6 \text{ г} = 45,872 \text{ т.}$$

4.7.3. Массовая доля кислорода

$$\omega_{\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma} = \frac{m_{\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma}}{m_{\text{руд.}}} \cdot 100 \% = \frac{45,872}{100} \cdot 100 = 45,87 \%;$$

$m_{\text{руд.}}$  – масса руды, 100 т.

1 балл

4.8. Проверка справедливости расчётов п. 2 – 4.7 (не является обязательным и носит рекомендательный характер)

4.8.1. Элементный состав руды

А) по массам элементов

$$m_{\text{руд.}} = m_{\text{Ni}}^{\text{руд.}} + m_{\text{Fe}}^{\text{руд.}} + m_{\text{Mg}}^{\text{руд.}} + m_{\text{Al}}^{\text{руд.}} + m_{\text{Si}}^{\text{руд.}\Sigma} + m_{\text{H}}^{\text{руд.}\Sigma} + m_{\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma} = \\ = 2,01 + 23,97 + 6,84 + 2,86 + 17,25 + 1,03 + 45,87 = 99,83 \text{ т.}$$



Б) по массовым долям элементов

$$\begin{aligned}\omega_{\text{руд.}} &= \omega_{\text{Ni}}^{\text{руд.}} + \omega_{\text{Fe}}^{\text{руд.}} + \omega_{\text{Mg}}^{\text{руд.}} + \omega_{\text{Al}}^{\text{руд.}} + \omega_{\text{Si}}^{\text{руд.}\Sigma} + \omega_{\text{H}}^{\text{руд.}\Sigma} + \omega_{\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma} = \\ &= 2,01 + 23,97 + 6,84 + 2,86 + 17,25 + 1,03 + 45,87 = 99,83 \%\end{aligned}$$

Небольшое расхождение допустимо и связано с точностью вычислений.

4.8.2. Вещественный (в пересчете на оксиды) состав руды

А) по массам веществ

$$\begin{aligned}m_{\text{руд.}} &= m_{\text{NiO}}^{\text{руд.}} + m_{\text{FeO}}^{\text{руд.}} + m_{\text{MgO}}^{\text{руд.}} + m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{руд.}} + m_{\text{SiO}_2}^{\text{руд.}\Sigma} + m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma} = \\ &= 2,55 + 34,24 + 11,40 + 5,41 + 36,96 + 9,27 = 99,83 \text{ т.}\end{aligned}$$

Б) по массовым долям веществ

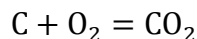
$$\begin{aligned}\omega_{\text{руд.}} &= \omega_{\text{NiO}}^{\text{руд.}} + \omega_{\text{FeO}}^{\text{руд.}} + \omega_{\text{MgO}}^{\text{руд.}} + \omega_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{руд.}} + \omega_{\text{SiO}_2}^{\text{руд.}\Sigma} + \omega_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{руд.}\Sigma} = \\ &= 2,55 + 34,24 + 11,40 + 5,41 + 36,96 + 9,27 = 99,83 \%\end{aligned}$$

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

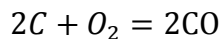


баланс электронов

$$\begin{array}{l} 1 \times | \text{O}_2^0 + 4\bar{e} = 2\text{O}^{-2} \\ 1 \times | \text{C}^0 - 4\bar{e} = \text{C}^{+4} \\ \hline \text{O}_2^0 + \text{C}^0 = 2\text{O}^{-2} + \text{C}^{+4} \end{array}$$

1 балл

5.1.2. Сгорание углерода до угарного газа



баланс электронов

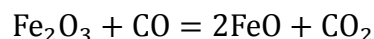
$$\begin{array}{l} 1 \times | \text{O}_2^0 + 4\bar{e} = 2\text{O}^{-2} \\ 2 \times | \text{C}^0 - 2\bar{e} = \text{C}^{+2} \\ \hline \text{O}_2^0 + 2\text{C}^0 = 2\text{O}^{-2} + 2\text{C}^{+2} \end{array}$$

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.

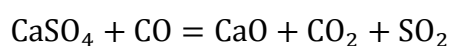


баланс электронов

$$\begin{array}{l} 1 \times | 2\text{Fe}^{+3} + 2\bar{e} = 2\text{Fe}^{+2} \\ 1 \times | \text{C}^{+2} - 2\bar{e} = \text{C}^{+4} \\ \hline 2\text{Fe}^{+3} + \text{C}^{+2} = 2\text{Fe}^{+2} + \text{C}^{+4} \end{array}$$

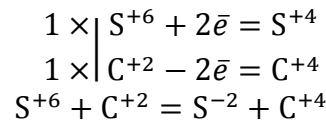
1 балл

5.2.2. Восстановление сульфата кальция



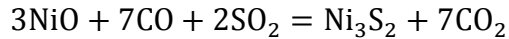


баланс электронов

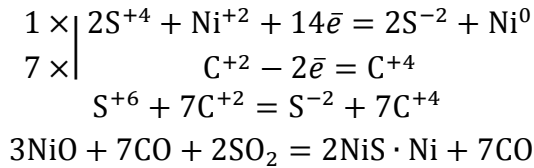


1 балл

## 5.2.3. Сульфидизация оксида никеля

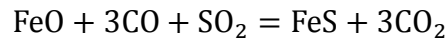


баланс электронов

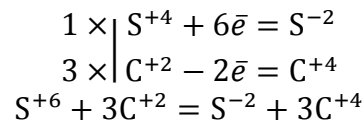


1 балл

## 5.2.4. Сульфидизация оксида железа

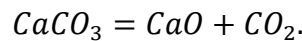


баланс электронов



1 балл

## 5.3. Разложение известняка



1 балл

## 6. Расчёт штейна

## 6.1. Расчет массы штейна

6.1.1. Количество вещества никеля рассчитывают с учетом его извлечения в штейн 85 % и п. 4.1.1

$$n_{Ni}^{шт.} = \frac{E_{Ni}}{100} \cdot n_{Ni}^{руд.} = \frac{85}{100} \cdot 0,034 = 0,03 \text{ Ммоль.}$$

## 6.1.2. Масса никеля

$$m_{Ni}^{шт.} = n_{Ni}^{шт.} \cdot M_{Ni} = 0,03 \cdot 10^6 \cdot 59 = 1,77 \cdot 10^6 \text{ г} = 1,77 \text{ т.}$$

## 6.1.3. Масса штейна

Масса штейна рассчитывается с учетом массы никеля в штейне (п. 6.1.2.) и его массовой доли в штейне 18 %.

$$m_{шт.} = \frac{m_{Ni}^{шт.}}{\omega_{Ni}^{шт.}} \cdot 100 = \frac{1,77}{18} \cdot 100 = 9,83 \text{ т.}$$

1 балл

## 6.2. Выход штейна

Выход штейна рассчитывается с учетом его массы (п. 6.1.3.) и массы руды 100 т.

$$E_{шт.} = \frac{m_{шт.}}{m_{руд.}} \cdot 100 = \frac{9,83}{100} \cdot 100 = 9,83 \%$$

1 балл



## 6.3. Расчет никеля

6.3.1. Вывод формулы сульфида никеля с массовой долей серы 26,66 %

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

$$m_S = 26,66 \text{ г},$$
$$m_{Ni} = 100 - m_S = 100 - 26,66 = 73,34 \text{ г}.$$

6.3.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{Ni} = \frac{m_{Ni}}{M_{Ni}} = \frac{73,34}{59} = 1,24 \text{ моль};$$
$$n_S = \frac{m_S}{M_S} = \frac{26,66}{32} = 0,83 \text{ моль}.$$

6.3.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{Ni} : n_S = 1,24 : 0,83 = 1,5 : 1 = 3 : 2$$

6.3.1.4. Формула сульфида никеля:  $Ni_3S_2$ .

1 балл

## 6.3.2. Расчет сульфида никеля

6.3.2.1. Количество вещества сульфида никеля с учетом п. 6.1.1.

$$n_{Ni_3S_2}^{шт.} = \frac{1}{3} n_{Ni}^{шт.} = \frac{0,03}{3} = 0,01 \text{ Ммоль}.$$

6.3.2.2. Масса сульфида никеля

$$m_{Ni_3S_2}^{шт.} = n_{Ni_3S_2}^{шт.} \cdot M_{Ni_3S_2} = 0,01 \cdot 10^6 \cdot 241 = 2,41 \cdot 10^6 \text{ г} = 2,41 \text{ т};$$
$$M_{Ni_3S_2} = 3 \cdot M_{Ni} + 2 \cdot M_S = 3 \cdot 59 + 2 \cdot 32 = 241 \text{ г/моль}.$$

6.3.2.3. Массовая доля сульфида никеля с учетом п. 6.1.3.

$$\omega_{Ni_3S_2}^{шт.} = \frac{m_{Ni_3S_2}^{шт.}}{m_{шт.}} \cdot 100 \% = \frac{2,41}{9,83} \cdot 100 = 24,52 \%$$

1 балл

## 6.6. Расчет серы

6.6.1. Масса серы рассчитывается с учетом ее массовой доли в штейне 33,98 % и массы штейна (п. 6.1.3.)

$$m_S^{шт.} = \frac{\omega_S^{шт.}}{100} \cdot m_{шт.} = \frac{33,98}{100} \cdot 9,83 = 3,34 \text{ т}.$$

6.6.2. Количество вещества серы

$$n_S^{шт.} = \frac{m_S^{шт.}}{M_S} = \frac{3,34 \cdot 10^6}{32} = 0,104 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,104 \text{ Ммоль}.$$

1 балл

## 6.7. Расчет железа

6.7.1. Вывод формулы сульфида железа

6.7.1.1. Масса железа в сульфиде определяется по разнице массы штейна п. 6.1.3. и масс никеля (п. 6.1.2.) и серы (п. 6.6.1.) в штейне.

$$m_{Fe}^{шт.} = m_{шт.} - m_{Ni}^{шт.} - m_S^{шт.} = 9,83 - 1,77 - 3,34 = 4,72 \text{ т}.$$

6.7.1.2. Количество вещества железа





$$n_{\text{Fe}}^{\text{шт.}} = \frac{m_{\text{Fe}}^{\text{шт.}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{4,72 \cdot 10^6}{56} = 0,084 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,084 \text{ Ммоль.}$$

6.7.1.3. Количество вещества серы в сульфиде железа определяется по разнице количества вещества серы в штейне п. 6.6.2. и сульфиде никеля (п. 6.3.2.1.)

$$n_{\text{S}}^{\text{Fe}_x\text{S}_y} = n_{\text{S}}^{\text{шт.}} - n_{\text{S}}^{\text{Ni}_3\text{S}_2} = n_{\text{S}}^{\text{шт.}} - 2 \cdot n_{\text{Ni}_3\text{S}_2}^{\text{шт.}} = 0,104 - 2 \cdot 0,01 = 0,084 \text{ Ммоль.}$$

6.7.1.4. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Fe}}^{\text{шт.}} : n_{\text{S}}^{\text{Fe}_x\text{S}_y} = 0,084 : 0,084 = 1 : 1$$

6.7.1.5. Формула сульфида железа: FeS.

1 балл

6.7.2. Массовая доля железа с учетом п. 6.7.1.1. и 6.1.3.

$$\omega_{\text{Fe}}^{\text{шт.}} = \frac{m_{\text{Fe}}^{\text{шт.}}}{m_{\text{шт.}}} \cdot 100 \% = \frac{4,72}{9,83} \cdot 100 = 48,06 \%$$

6.7.3. Расчет сульфида железа

6.7.3.1. Количество вещества сульфида железа с учетом п. 6.7.1.2.

$$n_{\text{FeS}}^{\text{шт.}} = n_{\text{Fe}}^{\text{шт.}} = 0,084 \text{ Ммоль.}$$

6.7.3.2. Масса сульфида железа

$$m_{\text{FeS}}^{\text{шт.}} = n_{\text{FeS}}^{\text{шт.}} \cdot M_{\text{FeS}} = 0,084 \cdot 10^6 \cdot 88 = 7,39 \cdot 10^6 \text{ г} = 7,39 \text{ т};$$
$$M_{\text{FeS}} = M_{\text{Fe}} + M_{\text{S}} = 56 + 32 = 88 \text{ г/моль.}$$

6.7.3.3. Массовая доля сульфида железа с учетом п. 6.1.3.

$$\omega_{\text{FeS}}^{\text{шт.}} = \frac{m_{\text{FeS}}^{\text{шт.}}}{m_{\text{шт.}}} \cdot 100 \% = \frac{7,39}{9,83} \cdot 100 = 75,2 \%$$

1 балл

7. Расчёт массы сульфидирующей добавки

7.1. Расчет гипса на сульфидизацию

7.1.1. Количество вещества гипса с учетом п. 6.6.2.

$$n_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{шт.}} = n_{\text{S}}^{\text{шт.}} = 0,104 \text{ Ммоль.}$$

7.1.2. Масса гипса

$$m_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{шт.}} = n_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{шт.}} \cdot M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 0,104 \cdot 10^6 \cdot 172 = 17,89 \cdot 10^6 \text{ г} = 17,89 \text{ т};$$
$$M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = M_{\text{Ca}} + M_{\text{S}} + 4 \cdot M_{\text{O}} + 2 \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} = 40 + 32 + 4 \cdot 16 + 2 \cdot 18 = 172 \text{ г/моль.}$$

1 балл

7.2. Расчет гипса на потери

7.2.1. Масса потерь серы с учетом того, что сера теряется с отходящими газами, из которых может быть получено 2,252 т комовой серы с массовой долей примесей 0,5 %.

$$m_{\text{S}}^{\text{потери}} = \frac{100 - \omega_{\text{прим}}}{100} \cdot m_{\text{S}}^{\text{ком.}} = \frac{100 - 0,5}{100} \cdot 2,252 = 2,14 \text{ т.}$$

7.2.2. Количество вещества серы

$$n_{\text{S}}^{\text{потери}} = \frac{m_{\text{S}}^{\text{потери}}}{M_{\text{S}}} = \frac{2,14 \cdot 10^6}{32} = 0,067 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,067 \text{ Ммоль.}$$

7.2.3. Количество вещества гипса

$$n_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{потери}} = n_{\text{S}}^{\text{потери}} = 0,067 \text{ Ммоль.}$$



1 балл

## 7.2.4. Масса гипса

$$m_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}^{\text{потери}} = n_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}^{\text{потери}} \cdot M_{CaSO_4 \cdot 2H_2O} = 0,067 \cdot 10^6 \cdot 172 = 11,52 \cdot 10^6 \text{ г} = 11,52 \text{ т};$$
$$M_{CaSO_4 \cdot 2H_2O} = M_{Ca} + M_S + 4 \cdot M_O + 2 \cdot M_{H_2O} = 40 + 32 + 4 \cdot 16 + 2 \cdot 18 = 172 \text{ г/моль}.$$

## 7.3. Масса сульфидирующей добавки с учетом п. 7.2.4. и 7.1.2.

$$m_{CaSO_4 \cdot 2H_2O} = m_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}^{\text{потери}} + m_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}^{\text{шт.}} = 11,52 + 17,89 = 29,41 \text{ т}.$$

1 балл

**Ответ:**

1) Элементный и вещественный (в пересчёте на оксиды) состав руды;

элемент	$\omega, \%$	$m, \text{т}$	вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
Ni	2,01	2,01	NiO	2,55	2,55
Fe	23,97	23,97	$Fe_2O_3 \cdot H_2O$	33,08	33,08
Mg	6,84	6,84	$3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	35,91	35,91
Al	2,86	2,86	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	13,71	13,71
Si	17,25	17,25	SiO <sub>2</sub>	1,80	1,80
H	1,03	1,03	H <sub>2</sub> O	7,95	1,8
O	45,87	45,87			
Итого:	99,83	99,83	Итого:	99,83	99,83

2) Масса и выход штейна, его вещественный и элементный состав

$$m_{\text{шт.}} = 9,83 \text{ т}.$$

$$E_{\text{шт.}} = 9,83 \%$$

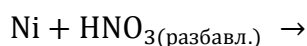
элемент	$\omega, \%$	$m, \text{т}$	вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
Ni	18	1,77	Ni <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	2,41	24,52
Fe	48,06	4,72	FeS	7,39	75,20
S	33,98	3,34			
Итого:	100,04	9,83	Итого:	9,80	99,72

3) Масса сульфидирующей добавки

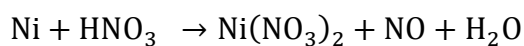
$$m_{CaSO_4 \cdot 2H_2O} = 29,41 \text{ т}.$$

**ХИМИЯ****ВАРИАНТ 4****Задание 1 (5 баллов)**

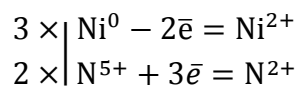
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнивать, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции протекающей в растворе, сокращенной ионной формах:



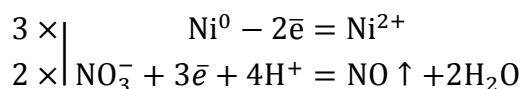
Решение



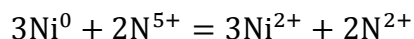
\_\_\_\_\_ 1 балл



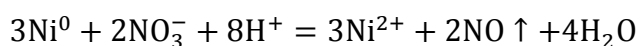
или



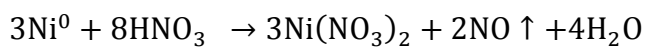
\_\_\_\_\_ 2 балла



или



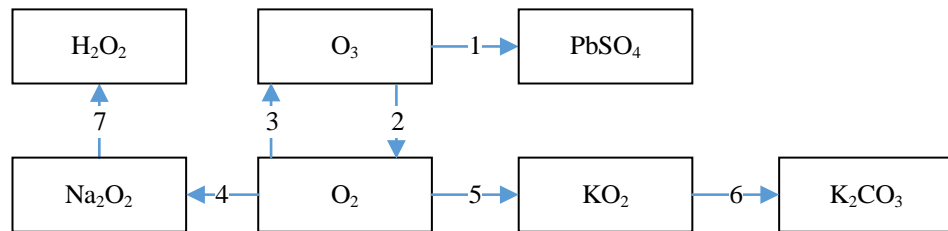
\_\_\_\_\_ 1 балл



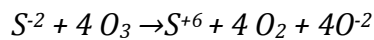
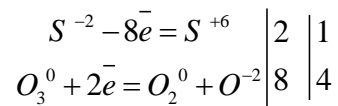
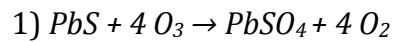
\_\_\_\_\_ 1 балл

**Задание 2 (10 баллов)**

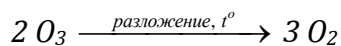
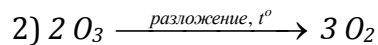
Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения (прямое и обратное превращения должны быть разными). Окислительно-восстановительные реакции должны сопровождаться методом полуреакций или электронного баланса:



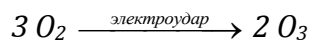
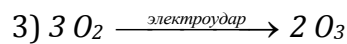
Решение:



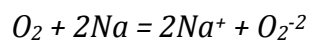
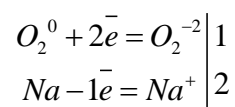
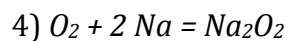
2 балл



1 балл

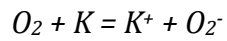
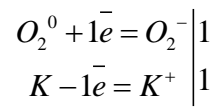
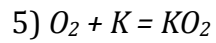


1 балл

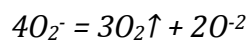
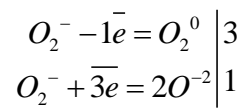
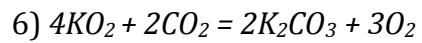




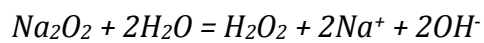
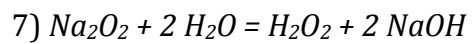
2 балла



2 балла



1 балл

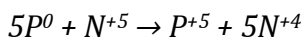
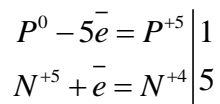
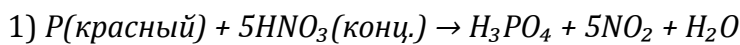
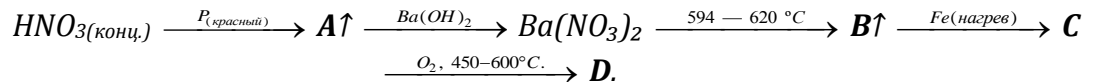


1 балл

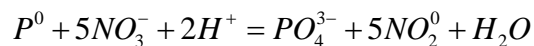
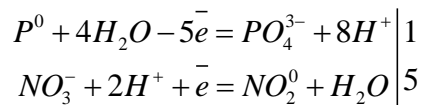
---

**Задание 3 (15 баллов)**

Определите формулы веществ *A*, *B*, *C*, *D*. Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций, 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 электронного баланса:

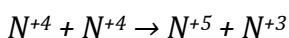
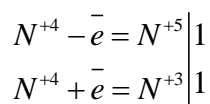
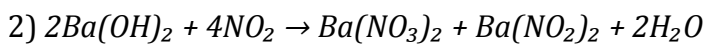


или

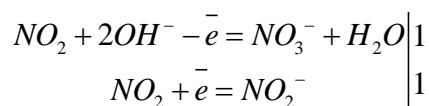


---

3 балла

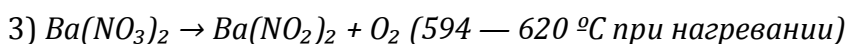


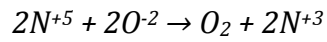
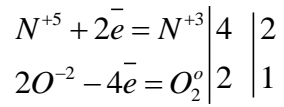
или



---

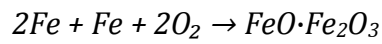
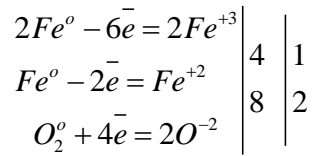
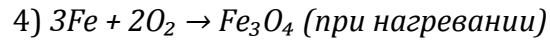
3 балла





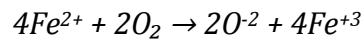
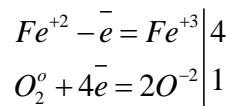
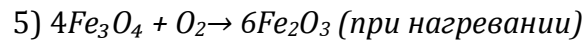
---

3 балла



---

3 балла



---

3 балла

Ответ: **A** -  $NO_2$  ; **B** -  $O_2$  ; **C** -  $Fe_3O_4$  ; **D** -  $Fe_2O_3$  .

**Задание 4 (20 баллов)**

Имеется бесцветная соль щелочного металла «А» которая окрашивает пламя в желтый цвет. При нагревании до 400 °С соль разлагается с образованием вещества «Б» и кислорода. Известно, что раствор вещества Б в присутствии соляной кислоты обесцвечивает фиолетовый раствор перманганата калия и образует вещество «А». Если в раствор исходного вещества А добавить медной стружки в присутствии избытка раствора концентрированной серной кислоты, то можно наблюдать выделение бурого газа. Определить необходимую массу медной стружки для полного прохождения реакции, а также объём выделившегося бурого газа (н.у.), если массовая доля «А» в растворе составляет 10%, плотность раствора 1,1 г/см<sup>3</sup>, на проведение реакций было взято 25,0 л раствора «А». Написать все уравнения реакций в молекулярной и ионной форме; окислительно-восстановительные реакции рекомендуется уравнивать методом полуреакций. Полученные значения в расчетах округлять до десятых.

**Решение**

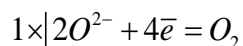
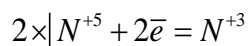
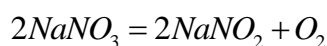
1. Качественной реакцией на нитрат ионы является выделение бурого газа (оксида азота IV), выделяющегося в реакции восстановления нитрат ионов медью в присутствии серной кислоты. Также известно, что при температурном разложении нитратов щелочных металлов образуется нитрит и кислород, а учитывая, что соль вещества «А» окрашивает пламя в желтый цвет, то щелочной металл – натрий. Искомое вещество «А» это нитрат натрия -  $NaNO_3$ . Искомое вещество «Б» это нитрит натрия -  $NaNO_2$ .

\_\_\_\_\_ 2 балла

## 2. Уравнения реакций

## 2.1. Разложение нитрата натрия

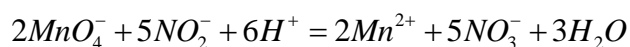
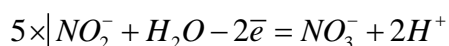
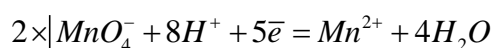
метод баланса электронов:



\_\_\_\_\_ 2 балла

## 2.2. Реакции обесцвечивания перманганата калия

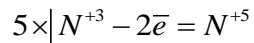
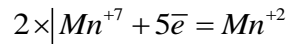
метод полуреакций:



метод баланса электронов

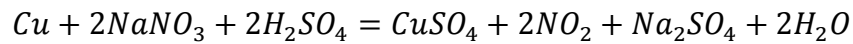




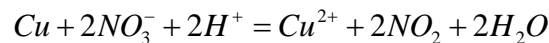
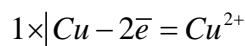
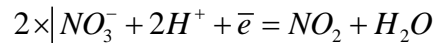


2 балла

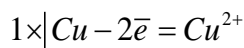
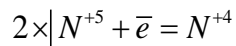
2.3. Реакция выделения бурого газа



метод полуреакций:



метод баланса электронов



4 балла

3. Расчёт количества вещества нитрата натрия в исходном растворе

3.1. Расчёт массы нитрата натрия по массовой доле

$$m_{NaNO_3} = \frac{\omega_{NaNO_3}}{100} \cdot m_{p-p} = \frac{\omega_{NaNO_3}}{100} \cdot V_{p-p} \cdot d_{p-p} = \frac{10 \cdot 25 \cdot 1,1 \cdot 10^3}{100} = 2750 \text{ г}$$

3.2. Расчёт количества вещества нитрата натрия

$$n_{NaNO_3} = \frac{m_{NaNO_3}}{M_{NaNO_3}} = \frac{2750}{85} = 32,35 \text{ моль}$$

3.3. Расчёт количества вещества бурого газа

по уравнению реакции п. 2.3



$$n_{NO_2} = n_{NaNO_3} = 32,35 \text{ моль}$$

3.4. Расчёт объёма бурого газа

$$V_{NO_2} = 32,35 \cdot 22,4 = 726,64 \text{ л}$$

4. Расчёт массы медной стружки

4.1. Расчёт количества вещества меди

по уравнению 2.3.



$$n_{Cu} = 0,5n_{NaNO_3} = 16,18 \text{ моль}$$

4.2. Расчёт массы медной стружки

$$m_{Cu} = M_{Cu} \cdot n_{Cu} = 63,5 \cdot 16,18 = 1027,43 \text{ г}$$

10 баллов

**Задание 5 (20 баллов)**

При исследовании химических свойств металлов ученик опустил медную пластину в 200 г раствора с массовой долей нитрата серебра 10 %. По истечении некоторого времени масса пластины изменилась на 2,1 г. К раствору после реакции с медной пластиной прибавили 300 г раствора с массовой долей хлорида натрия 25 %. Вычислите массовую долю хлорида натрия в полученном растворе.

Решение

## 1. Расчёт раствора нитрата серебра

## 1.1. Масса нитрата серебра

$$m_{AgNO_3}^i = \frac{\omega_{AgNO_3}}{100} \cdot m_{AgNO_3}^{p-p} = \frac{10}{100} \cdot 200 = 20 \text{ г.}$$

## 1.2. Количество вещества нитрата серебра

$$n_{AgNO_3}^i = \frac{m_{AgNO_3}^i}{M_{AgNO_3}} = \frac{20}{170} = 0,118 \text{ моль;}$$

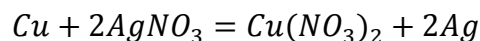
$$M_{AgNO_3} = M_{Ag} + M_N + 3 \cdot M_O = 108 + 14 + 3 \cdot 16 = 170 \text{ г/моль.}$$

## 1.3. Масса воды

$$m_{H_2O}^{(1)} = m_{AgNO_3}^{p-p} - m_{AgNO_3}^i = 200 - 20 = 180 \text{ г.}$$

## 2. Расчёт реакции с медной пластиной

## 2.1. Уравнение реакции



4 балла

## 2.2. Материальный баланс

$$n_{AgNO_3} = n_{Ag} = 2n_{Cu} = n$$

$$n_{Cu(NO_3)_2} = n_{Cu} = n$$

## 2.3. Конечная масса медной пластинки

$$m_k = m_i - m_{Cu} + m_{Ag} = m_i - n \cdot M_{Cu} + 2n \cdot M_{Ag}$$

## 2.4. Изменение массы пластинки

$$m_k - m_i = n(2M_{Ag} - M_{Cu})$$

## 2.5. Количество вещества

$$n = \frac{m_k - m_i}{2M_{Ag} - M_{Cu}} = \frac{2,1}{2 \cdot 108 - 63,5} = 0,014 \text{ моль.}$$

## 2.6. После реакции с медью в растворе:



$$n_{Cu(NO_3)_2} = 0,014 \text{ моль};$$

$$n_{AgNO_3} = n_{AgNO_3}^i - 2n = 0,118 - 2 \cdot 0,014 = 0,09 \text{ моль}.$$

4 балла

### 3. Расчёт раствора хлорида натрия

#### 3.1. Масса хлорида натрия

$$m_{NaCl}^i = \frac{\omega_{NaCl}}{100} \cdot m_{NaCl}^{p-p} = \frac{25}{100} \cdot 300 = 75 \text{ г}.$$

#### 3.2. Количество вещества хлорида натрия

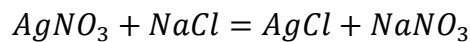
$$n_{NaCl}^i = \frac{m_{NaCl}}{M_{NaCl}} = \frac{75}{58,5} = 1,28 \text{ моль}.$$

#### 3.3. Масса воды

$$m_{H_2O}^{(2)} = m_{NaCl}^{p-p} - m_{NaCl} = 300 - 75 = 225 \text{ г}.$$

### 4. Реакция с хлоридом натрия

#### 4.1. Уравнение реакции



#### 4.2. Материальный баланс реакции

$$n_{NaCl}^R = n_{AgNO_3} = n_{NaNO_3} = 0,09 \text{ моль}$$

с учётом п. 2.6. и избытка хлорида натрия:

$$n_{AgNO_3} = 0,09 \text{ моль} < n_{NaCl}^i = 1,28 \text{ моль}$$

#### 4.3. После реакции в растворе

$$n_{NaNO_3} = 0,09 \text{ моль};$$

$$n_{NaCl} = n_{NaCl}^i - n_{NaCl}^R = 1,28 - 0,09 = 1,19 \text{ моль}.$$

4 балла

### 5. Расчёт конечного раствора

#### 5.1. Состав конечного раствора

##### 5.1.1. Масса воды

$$m_{H_2O} = m_{H_2O}^{(1)} + m_{H_2O}^{(2)} = 180 + 225 = 405 \text{ г}.$$

##### 5.1.2. Масса хлорида натрия (п. 4.3)

$$m_{NaCl} = n_{NaCl} \cdot M_{NaCl} = 1,19 \cdot 58,5 = 69,615 \text{ г}$$



5.1.3. Масса нитрата натрия (см. п. 4.3)

$$m_{NaNO_3} = n_{NaNO_3} \cdot M_{NaNO_3} = 0,09 \cdot 85 = 7,65 \text{ г};$$

$$M_{NaNO_3} = M_{Na} + M_N + 3 \cdot M_O = 23 + 14 + 3 \cdot 16 = 85 \text{ г/моль.}$$

5.1.2. Масса нитрата меди (см. п.2.6.)

$$m_{Cu(NO_3)_2} = n_{Cu(NO_3)_2} \cdot M_{Cu(NO_3)_2} = 0,014 \cdot 187,5 = 2,625 \text{ г}$$

$$M_{Cu(NO_3)_2} = M_{Cu} + 2M_N + 6M_O = 63,5 + 2 \cdot 14 + 6 \cdot 16 = 187,5 \text{ г/моль.}$$

5.2. Масса конечного раствора

$$m_{p-p} = m_{H_2O} + m_{NaCl} + m_{NaNO_3} + m_{Cu(NO_3)_2} = 405 + 69,615 + 7,65 + 2,625 = 484,89 \text{ г.}$$

5.3. Массовая доля хлорида натрия

$$\omega_{NaCl} = \frac{m_{NaCl}}{m_{p-p}} \cdot 100 \% = \frac{69,615}{484,89} \cdot 100 = 14,36 \%$$

4 балла

**Ответ:** массовая доля хлорида натрия в итоговом растворе – 14,38 %.

### 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; горение паров серы и частичное горение сульфида железа. При предварительном 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 – силикатов алюминия и магния и части железа (71,54 %) в оксидной форме (массовая доля кислорода 22 %) в составе шлака. Степень удаления серы при плавке на штейн составляет 30 % от её содержания в агломерате. Штейн из печи выпускают при температуре 1100 °С.

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) определить массу и выход штейна (как долю от массы концентрата), его вещественный состав в пересчёте на сульфиды; массовая доля серы в сульфиде меди 20 %, никеля 27 %, железа 36 %.

4) вычислить объём технической серной кислоты с массовой долей основного вещества 92 % и плотностью 1,83 г/см<sup>3</sup>, который может быть получен из отходящих газов агломерирующего обжига и плавки на штейн, если степень окисления оксида серы на ванадиевом катализаторе составляет 86 %.

### 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.

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

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

##### 1.1.3 Расчёт сульфида никеля

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

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

1.1.3.2. Масса сульфида никеля



$$m_{\text{NiFeS}_2}^{\text{конц.}} = n_{\text{NiFeS}_2}^{\text{конц.}} \cdot M_{\text{NiFeS}_2} = 0,11 \cdot 10^6 \cdot 179 = 19,69 \cdot 10^6 \text{ г} = 19,69 \text{ т};$$
$$M_{\text{NiFeS}_2} = M_{\text{Ni}} + M_{\text{Fe}} + 2 \cdot M_{\text{S}} = 59 + 56 + 2 \cdot 32 = 179 \text{ г/моль.}$$

1.1.3.3. Массовая доля сульфида никеля

$$\omega_{\text{NiFeS}_2}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{NiFeS}_2}^{\text{конц.}}}{m_{\text{конц.}}} \cdot 100 \% = \frac{19,69}{100} \cdot 100 = 19,69 \%$$

$m_{\text{конц.}}$  - 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

$$m_{\text{S}} = 34,88 \text{ г};$$

$$m_{\text{Fe}} = 30,52 \text{ г};$$

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

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:  $\text{CuFeS}_2$ .

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.

$$m_{Fe}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{Fe}^{\text{конц.}}}{100} \cdot m_{\text{конц.}} = \frac{21,88}{100} \cdot 100 = 21,88 \text{ т.}$$
$$n_{Fe}^{\text{конц.}} = \frac{m_{Fe}^{\text{конц.}}}{M_{Fe}} = \frac{21,88 \cdot 10^6}{56} = 0,39 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,39 \text{ Ммоль.}$$

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

$$m_S^{\text{конц.}} = \frac{\omega_S^{\text{конц.}}}{100} \cdot m_{\text{конц.}} = \frac{25,0}{100} \cdot 100 = 25,0 \text{ т.}$$
$$n_S^{\text{конц.}} = \frac{m_S^{\text{конц.}}}{M_S} = \frac{25,0 \cdot 10^6}{32} = 0,78 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,78 \text{ Ммоль.}$$

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, 100 т.

1 балл

### 1.4. Расчёт магния



1.4.1. Вывод формулы талька - моногидрата силиката магния с массовой долей оксида магния 31,7 %, оксида кремния 63,5 %

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

$$m_{\text{MgO}} = 31,7 \text{ г};$$

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

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

1.4.1.2. Количество вещества

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

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

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

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

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

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

1.4.1.3. 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 магния 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:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

1 балл

1.5.2. Расчёт массы и количества вещества алюминия с учетом его массовой доли 2,65 % и массы концентрата 100 т.

$$m_{\text{Al}}^{\text{конц.}} = \frac{\omega_{\text{Al}}^{\text{конц.}}}{100} \cdot m_{\text{конц.}} = \frac{2,65}{100} \cdot 100 = 2,65 \text{ т};$$

$$n_{\text{Al}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Al}}^{\text{конц.}}}{M_{\text{Al}}} = \frac{2,65 \cdot 10^6}{27} = 0,10 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,10 \text{ Ммоль}.$$

1.5.3. Расчёт каолинита

1.5.3.1. Количество вещества каолинита с учетом п. 1.5.2.

$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} = n_{\text{Al}}^{\text{конц.}} / 2 = 0,10 / 2 = 0,05 \text{ Ммоль}.$$

1.5.3.2. Масса каолинита

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} = n_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} \cdot M_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 0,05 \cdot 10^6 \cdot 258 = 12,9 \text{ Ммоль};$$

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

1.5.3.3. Массовая доля каолинита

$$\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}}}{m_{\text{конц.}}} \cdot 100 \% = \frac{12,9}{100} \cdot 100 = 12,9 \%.$$

$m_{\text{конц.}}$  - 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

$$m_{\text{конц.}} = m_{\text{NiFeS}_2}^{\text{конц.}} + m_{\text{CuFeS}_2}^{\text{конц.}} + m_{\text{FeS}_2}^{\text{конц.}} + m_{3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} + m_{\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} + m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} = \\ = 19,69 + 12,85 + 25,20 + 26,46 + 12,90 + 3,34 = 100,44 \text{ т.}$$

Б) по массовым долям веществ

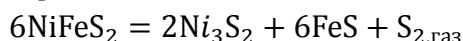
$$\omega_{\text{конц.}} = \omega_{\text{NiFeS}_2}^{\text{конц.}} + \omega_{\text{CuFeS}_2}^{\text{конц.}} + \omega_{\text{FeS}_2}^{\text{конц.}} + \omega_{3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} + \omega_{\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} + \omega_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{конц.}} = \\ = 19,69 + 12,85 + 25,20 + 26,46 + 12,90 + 3,34 = 100,44 \%$$

Небольшое расхождение допустимо и связано с точностью вычислений.

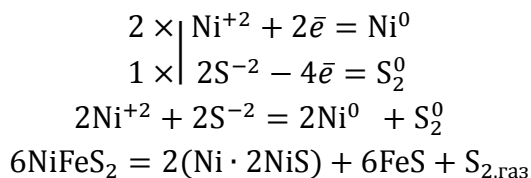
2. Уравнения реакций, протекающих при агломерирующем обжиге

2.1. Диссоциация высших сульфидов никеля, меди, железа

2.1.1. Диссоциация сульфида никеля

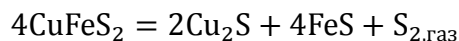


баланс электронов

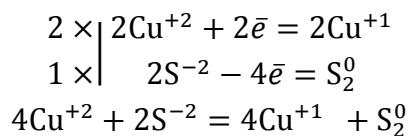


1 балл

2.1.2. Диссоциация халькопирита

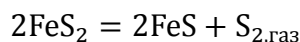


баланс электронов

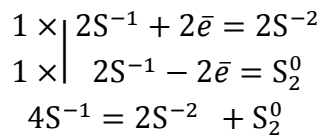


1 балл

2.1.3. Диссоциация пирита

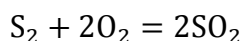


баланс электронов

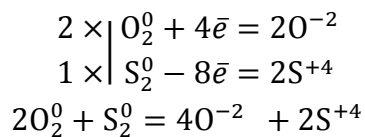


1 балл

2.2. Горение паров серы

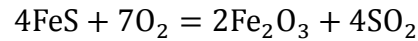


баланс электронов

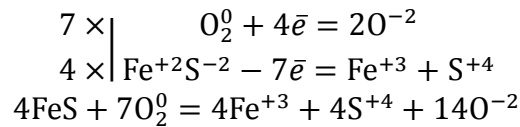


1 балл

2.3. Окисление сульфида железа

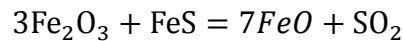


баланс электронов

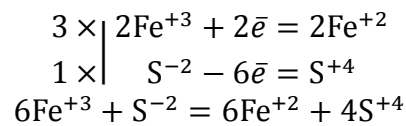


1 балл

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

$$m_{\text{O}} = 22 \text{ г};$$

$$m_{\text{Fe}} = 100 - m_{\text{S}} = 100 - 22 = 78 \text{ г}.$$

2.4.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{78}{56} = 1,39 \text{ моль};$$

$$n_{\text{O}} = \frac{m_{\text{O}}}{M_{\text{O}}} = \frac{22}{16} = 1,38 \text{ моль}.$$

2.4.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Fe}} : n_{\text{O}} = 1,39 : 1,38 = 1 : 1$$

2.4.1.4. Формула оксида железа:  $\text{FeO}$ .

1 балл

3. Расчёт штейна

3.1. Расчёт никеля

3.1.1. Вывод формулы сульфида никеля, массовая доля серы 27 %

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

$$m_{\text{S}} = 27 \text{ г};$$

$$m_{\text{Ni}} = 100 - m_{\text{S}} = 100 - 27 = 73 \text{ г}.$$

3.2.1.2. Количество вещества элементов

$$n_{\text{Ni}} = \frac{m_{\text{Ni}}}{M_{\text{Ni}}} = \frac{73}{59} = 1,24 \text{ моль};$$

$$n_{\text{S}} = \frac{m_{\text{S}}}{M_{\text{S}}} = \frac{27}{32} = 0,84 \text{ моль}.$$

3.2.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{\text{Ni}} : n_{\text{S}} = 1,24 : 0,84 = 1,5 : 1 = 3 : 2$$

3.2.1.4. Формула сульфида никеля:  $\text{Ni}_3\text{S}_2$ .

1 балл



3.1.2. Количество вещества и масса сульфида никеля с учётом п. 1.1.2

$$\begin{aligned}n_{Ni_3S_2} &= n_{Ni}^{\text{конц.}}/3 = 0,11/3 = 0,036 \text{ Ммоль.} \\m_{Ni_3S_2} &= n_{Ni_3S_2} \cdot M_{Ni_3S_2} = 0,036 \cdot 10^6 \cdot 241 = 8,68 \cdot 10^6 \text{ г} = 8,68 \text{ т;} \\M_{Ni_3S_2} &= 3 \cdot M_{Ni} + 2 \cdot M_S = 3 \cdot 59 + 2 \cdot 32 = 241 \text{ г/моль.}\end{aligned}$$

---

1 балл

3.2. Расчёт меди

3.2.1. Вывод формулы сульфида меди, массовая доля серы 20 %

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

$$\begin{aligned}m_S &= 20 \text{ г;} \\m_{Cu} &= 100 - m_S = 100 - 20 = 80 \text{ г.}\end{aligned}$$

3.2.1.2. Количество вещества элементов

$$\begin{aligned}n_{Cu} &= \frac{m_{Cu}}{M_{Cu}} = \frac{80}{63,5} = 1,26 \text{ моль;} \\n_S &= \frac{m_S}{M_S} = \frac{20}{32} = 0,63 \text{ моль.}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}n_{Cu_2S} &= n_{Cu}^{\text{конц.}}/2 = 0,07/2 = 0,035 \text{ Ммоль.} \\m_{Cu_2S} &= n_{Cu_2S} \cdot M_{Cu_2S} = 0,035 \cdot 10^6 \cdot 159 = 5,56 \cdot 10^6 \text{ г} = 5,56 \text{ т;} \\M_{Cu_2S} &= 2 \cdot M_{Cu} + M_S = 2 \cdot 63,5 + 32 = 159 \text{ г/моль.}\end{aligned}$$

---

1 балл

3.3. Расчёт серы

3.3.1. Количество вещества серы в агломерате вычисляют по величине десульфуризации  $D_{S1} = 60\%$  с учетом п. 1.3.1.2.

$$n_S^{\text{агл.}} = \frac{100 - D_{S1}}{100} \cdot n_S^{\text{конц.}} = \frac{100 - 60}{100} \cdot 0,78 = 0,312 \text{ Ммоль.}$$

3.3.2. Количество вещества серы в штейне вычисляют по величине десульфуризации  $D_{S2} = 30\%$  с учетом п. 3.3.1.

$$n_S^{\text{шт.}} = \frac{100 - D_{S2}}{100} \cdot n_S^{\text{агл.}} = \frac{100 - 30}{100} \cdot 0,312 = 0,218 \text{ Ммоль.}$$

---

1 балл

3.4. Расчёт железа

3.4.1. Вывод формулы сульфида железа с массовой долей серы 36 %

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

$$\begin{aligned}m_S &= 36 \text{ г;} \\m_{Fe} &= 100 - m_S = 100 - 36 = 64 \text{ г.}\end{aligned}$$

3.4.1.2. Количество вещества элементов



$$n_{Fe} = \frac{m_{Fe}}{M_{Fe}} = \frac{64}{56} = 1,14 \text{ моль};$$
$$n_S = \frac{m_S}{M_S} = \frac{36}{32} = 1,13 \text{ моль}.$$

3.4.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{Fe}:n_S = 1,14 : 1,13 = 1 : 1$$

3.4.1.4. Формула сульфида железа:  $FeS$ .

1 балл

3.4.2. Расчет сульфида железа

3.4.2.1. Количество серы в штейне на сульфид железа с учетом п. 3.3.2., 3.1.2. и 3.2.2.

$$n_S^{FeS} = n_S^{шт.} - n_S^{Ni_3S_2} - n_S^{Cu_2S} = n_S^{шт.} - 2 \cdot n_{Ni_3S_2} - n_{Cu_2S} =$$
$$= 0,218 - 2 \cdot 0,036 - 0,035 = 0,111 \text{ Ммоль}.$$

3.4.2.2. Количество железа в штейне вычисляют по степени извлечения в шлак  $E_{Fe}^{шл.} = 71,54\%$  с учётом п. 1.3.1.1.

$$n_{Fe}^{шт.} = \frac{100 - E_{Fe}^{шл.}}{100} \cdot n_{Fe}^{конц.} = \frac{100 - 71,54}{100} \cdot 0,39 = 0,111 \text{ Ммоль}.$$

3.4.2.3. Количество вещества сульфида железа

$$n_{FeS} = n_S^{FeS} = n_{Fe}^{шт.} = 0,111 \text{ Ммоль}.$$

3.4.2.4. Масса сульфида железа

$$m_{FeS} = n_{FeS} \cdot M_{FeS} = 0,111 \cdot 10^6 \cdot 88 = 9,77 \cdot 10^6 \text{ г} = 9,77 \text{ т};$$
$$M_{FeS} = M_{Fe} + M_S = 56 + 32 = 88 \text{ г/моль}.$$

1 балл

3.5. Масса и выход штейна

Масса штейна рассчитывается как сумма масс сульфидов никеля (п. 3.1.2.), меди (п. 3.2.2.) и железа (п. 3.4.2.4.)

$$m_{шт.} = m_{Ni_3S_2} + m_{Cu_2S} + m_{FeS} = 8,68 + 5,56 + 9,77 = 24,01 \text{ т}.$$

$$E_{шт.} = \frac{m_{шт.}}{m_{конц.}} \cdot 100\% = \frac{24,01}{100} \cdot 100 = 24,01\%.$$

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

1 балл

3.6. Состав штейна

Рассчитывается с учетом масс сульфидов никеля (п. 3.1.2.), меди (п. 3.2.2.) и железа (п. 3.4.2.4.) и массы штейна (п. 3.5.)

$$\omega_{Ni_3S_2} = \frac{m_{Ni_3S_2}}{m_{шт.}} \cdot 100\% = \frac{8,68}{24,01} \cdot 100 = 36,15\%;$$

$$\omega_{Cu_2S} = \frac{m_{Cu_2S}}{m_{шт.}} \cdot 100\% = \frac{5,56}{24,01} \cdot 100 = 23,16\%;$$

$$\omega_{FeS} = \frac{m_{FeS}}{m_{шт.}} \cdot 100\% = \frac{9,77}{24,01} \cdot 100 = 40,69\%.$$

1 балл

4. Расчёт серной кислоты

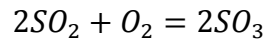


## 4.1. Расчёт серы

Количество вещества серы, перешедшее в сернистый ангидрид по реакциям 2.2, 2.3 и 2.4 с учётом п. 3.3 и 1.3.1.2.

$$n_S^{SO_2} = n_S^{\text{конц.}} - n_S^{\text{шт.}} = 0,78 - 0,218 = 0,562 \text{ Ммоль.}$$

## 4.2. Реакция окисления на ванадиевом катализаторе



баланс электронов

$$\begin{array}{l} 1 \times | O_2^0 + 4\bar{e} = 2O^{-2} \\ 2 \times | S^{+4} - 2\bar{e} = S^{+6} \\ \hline O_2^0 + 2S^{+4} = 2O^{-2} + 2S^{+6} \end{array}$$

1 балл

## 4.3. Расчёт серного ангидрида

С учётом п. 4.1 и 4.2:

$$n_{SO_2}^{\text{теор.}} = n_{SO_3}^{\text{теор.}} = n_S^{SO_2} = 0,562 \text{ Ммоль.}$$

С учётом степени превращения  $E_{SO_2} = 86 \%$

$$n_{SO_3}^{\text{пр.}} = \frac{E_{SO_2}}{100} \cdot n_{SO_3}^{\text{теор.}} = 0,86 \cdot 0,562 = 0,483 \text{ Ммоль.}$$

1 балл

## 4.4. Расчёт количества вещества и массы серной кислоты

$$n_{H_2SO_4} = n_{SO_3}^{\text{пр.}} = 0,483 \text{ Ммоль}$$

$$m_{H_2SO_4} = n_{H_2SO_4} \cdot M_{H_2SO_4} = 0,483 \cdot 10^6 \cdot 98 = 47,33 \cdot 10^6 \text{ г} = 47,33 \text{ т};$$

$$M_{H_2SO_4} = 2 \cdot M_H + M_S + 4 \cdot M_O = 2 \cdot 1 + 32 + 4 \cdot 16 = 98 \text{ г/моль.}$$

1 балл

4.5. Расчёт массы и объёма раствора серной кислоты с массовой долей основного вещества 92 % и плотностью 1,83 г/см<sup>3</sup>

$$m_{H_2SO_4}^{\text{p-p}} = \frac{m_{H_2SO_4}}{\omega_{H_2SO_4}^{\text{p-p}}} \cdot 100 = \frac{47,33}{92} \cdot 100 = 51,45 \text{ т.}$$

$$V_{H_2SO_4}^{\text{p-p}} = \frac{m_{H_2SO_4}^{\text{p-p}}}{d_{H_2SO_4}^{\text{p-p}}} = \frac{51,45 \cdot 10^6}{1,83} = 28,11 \cdot 10^6 \text{ см}^3 = 28,11 \text{ м}^3.$$

1 балл

**Ответ:**

1) Вещественный состав концентрата

вещество	$m, \text{ т}$	$\omega, \%$
NiFeS <sub>2</sub>	19,69	19,69
CuFeS <sub>2</sub>	12,85	12,85
FeS <sub>2</sub>	25,20	25,20
3MgO · 4SiO <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O	26,46	26,46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	12,90	12,90
H <sub>2</sub> O	3,34	3,34
Итого:	100,44	100,44



2) Масса и выход штейна, его вещественный состав

$$m_{\text{шт.}} = 24,01 \text{ т.}$$

$$E_{\text{шт.}} = 24,01 \text{ \%}.$$

вещество	$m, \text{ т}$	$\omega, \text{ \%}$
$\text{Ni}_3\text{S}_2$	8,68	36,15
$\text{Cu}_2\text{S}$	5,56	23,16
$\text{FeS}$	9,77	40,69
Итого:	24,01	100

3) Объём технической серной кислоты

$$V_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{p-p}} = 28,11 \text{ м}^3.$$