

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II»**

**Методические указания для подготовки участников к очному
заключительному туру олимпиады «Гранит науки»**

ПО ХИМИИ

для учащихся 9 классов

**Санкт-Петербург
2025**

Методические указания к выполнению работы

Основными целями очного заключительного тура олимпиады по химии среди школьников являются популяризация олимпиадного движения, демонстрация значимости химических знаний, развитие интереса к химии, активизация инициативности и самостоятельности учащихся в работе с дополнительной литературой.

Задания олимпиады сформированы на основе законов и закономерностей общей химии, свойствах элементов и их неорганических соединений. Необходимо знать современную номенклатуру, принципы классификации неорганических соединений, основные понятия и законы химии, свойства элементов и их соединений, уметь производить расчёты по уравнениям химических реакций и формулам химических соединений с применением понятий «массовая доля», «молярная концентрация», «массовая концентрация».

При выполнении олимпиадных заданий требуется дать краткое теоретическое обоснование каждого выбранного решения, привести соответствующие уравнения реакций выполнить необходимые вычисления.

Билет содержит задания следующих типов:

- окислительно-восстановительная реакция без указания продуктов;
- цепочки химических реакций по общей и неорганической химии;
- творческая задача по общей и неорганической химии;
- задача по общей и неорганической химии повышенной сложности;

При решении цепочек химических превращений, а также задач, где требуется привести уравнения реакций, необходимо соответствующие реакции уравнивать, записать в молекулярной и ионной формах; окислительно-восстановительные реакции предпочтительно уравнивать методом полуреакций, допустимо применение метода баланса электронов.

При составлении цепочек химических превращений или решении задач с неизвестными компонентами, эти соединения следует назвать, используя систематическую номенклатуру.

Окислительно-восстановительную реакцию требуется уравнивать, используя метод электронного баланса или метод полуреакций, указать процессы окисления и восстановления, окислитель и восстановитель.

Решение творческих и текстовых задач повышенной сложности должно сопровождаться представлением реакции химического процесса, описанного в условии, обоснованными переходами между действиями, ссылками на законы и правила. Все полученные расчетные величины должны быть указаны с единицами измерений. При

выполнении такого типа заданий особенно приветствуется представление оригинального решения. Для успешного решения задачи необходимы не только знания фактического материала, но умение участников логически мыслить и их химическая интуиция.

Содержание, структура и форма проведения работы

Работа выполняется письменно. Продолжительность составляет 3 (три) астрономических часа. Все необходимые вспомогательные материалы: периодическая система элементов, таблица растворимости соединений, таблица стандартных электродных потенциалов (ряд активности металлов), таблица электроотрицательностей – предоставляются.

Билет олимпиады по химии содержит 6 заданий. Структура всех билетов одинакова. Каждый билет содержит задания, оцениваемые в 5, 10, 15, 20 и 25 баллов. За каждый правильный ответ при решении задания участник получает эквивалентное правильному решению количество баллов. Итоговая оценка (максимум 100 баллов) определяется суммарным количеством набранных баллов за каждое правильно решенное задание или за его часть.

Например, если задача или цепочка химических реакций выполнена частично: правильно составлено уравнение химической реакции или точно установлено количество вещества, то каждый правильный промежуточный результат оценивается эквивалентным количеством баллов.

Билет состоит из следующих заданий:

1. Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты, закончить реакцию и уравнять её, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию представить в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, сокращенной ионной форме.

2. Выполнить практическое задание, включающее составление цепочки химических превращений, основанных на свойствах неорганических веществ. Соответствующие реакции необходимо уравнять. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полуреакций. Все реакции представить в молекулярной и, для реакций, протекающих в растворе, сокращенной ионной форме.

3. Выполнить практическое задание, включающее составление цепочки химических превращений с неизвестными продуктами, соответствующих неорганическому синтезу. Соответствующие реакции необходимо уравнять. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полуреакций. Все реакции представить в молекулярной и, для реакций, протекающих в

растворе, сокращенной ионной форме.

4. Решить задачу из курса общей и неорганической химии, требующей знаний химических свойств, способов получения основных классов соединений, включая комплексные соединения, качественных реакций катионов и анионов. Молярные массы брать с округлением чисел до десятых г/моль.

5. Решить задачу из курса общей химии, требующей умений проведения расчетов по химическим формулам и уравнениям реакции, в том числе с использованием концентрации растворов. Молярные массы брать с округлением чисел до десятых г/моль.

6. Решить задачу из курса общей и неорганической химии, требующей знаний химических свойств металлов/неметаллов, кислотно-основных свойств оксидов и гидроксидов, отличительных особенностей простых и сложных веществ, качественных реакций катионов и анионов, индикаторы и области их применения. Молярные массы брать с округлением чисел до сотых г/моль.

Разделы дисциплины, рассматриваемые в заданиях

Раздел 1. Общая химия

1. Атомно-молекулярное учение. Атомы. Молекулы. Моль – единица количества вещества.

2. Современное представление о строении атома. Строение электронных оболочек атомов элементов периодической системы. Изотопы.

3. Периодический закон и периодическая система элементов Д.И. Менделеева. Их значение для развития химии, физики и технологии.

4. Валентность элементов. Объяснение валентности с точки зрения учения о строении атома. Понятие о степени окисления.

5. Ковалентная связь. Типы ковалентной связи, примеры.

6. Химические формулы, их графическое изображение.

7. Классификация химических реакций: соединения, разложения, замещения, обмена.

8. Тепловой эффект химических реакций. Эндо- и экзотермические превращения. Примеры.

9. Окислительно-восстановительные реакции. Окислитель и восстановитель. Уравнивание окислительно-восстановительных реакций.

10. Обратимость химических реакций. Химическое равновесие и условия его смещения.

11. Скорость химической реакции. Факторы, влияющие на скорость реакции: природа реагирующих веществ, концентрация, температура. Катализ и катализаторы.

12. Закон Авогадро. Следствия из закона Авогадро (число Авогадро, относительная плотность газов, молярный объем).

13. Растворы. Растворимость веществ. Зависимость растворимости веществ от их природы, температуры и давления. Насыщенные и ненасыщенные растворы. Численное выражение концентрации растворов.

14. Классификация оксидов. Основные способы получения и химические свойства оксидов.

15. Основания. Их типы. Основные химические свойства и получение. Особенности щелочей. Неорганические и органические основания, их строение и свойства.

16. Свойства кислот, оснований, солей согласно теории электролитической диссоциации. Сильные и слабые электролиты. Степень диссоциации.

17. Кислоты. Их общие свойства и способы получения. Реакция нейтрализации.

18. Соли, их классификация. Основные химические свойства и способы получения.

19. Электролиз водных растворов и расплавов солей. Процессы, протекающие у катода и анода.

Раздел 2. Неорганическая химия

Классификация неорганических соединений.

Металлы, их положение в периодической системе, физические и химические свойства. Основные способы получения металлов. Коррозия металлов и борьба с ней.

Щелочные металлы, их характеристика на основе положения в периодической системе и строения атома. Основные химические свойства, их соединения в природе.

Общая характеристика элементов II группы главной подгруппы периодической системы, их соединения в природе.

Алюминий. Характеристика элемента и его соединений на основе положения в периодической системе и строения атома. Амфотерность оксида и гидроксида алюминия. Способы получения металлического алюминия.

Железо. Его оксиды и гидроксиды, зависимость их свойств от степени окисления железа. Химические реакции, лежащие в основе получения чугуна и стали.

Общая характеристика элементов IV группы главной подгруппы периодической системы.

Углерод, его аллотропные формы. Химические свойства углерода. Оксиды углерода (II) и (IV), их химические свойства. Угольная кислота, ее химические свойства. Свойства солей угольной кислоты.

Кремний. Его физические и химические свойства. Оксид кремния и кремниевая кислота.

Общая характеристика элементов V группы главной подгруппы периодической системы.

Азот. Его основные физические и химические свойства и важнейшие соединения. Оксиды азота и азотная кислота. Химические особенности азотной кислоты. Соли азотной кислоты.

Аммиак. Реакции, лежащие в основе его промышленного синтеза, физические и химические свойства. Соли аммония. Качественная реакция на ион аммония.

Фосфор. Его аллотропные формы, физические и химические свойства. Оксид фосфора (V), фосфорная кислота и ее соли.

Общая характеристика элементов VI группы главной подгруппы периодической системы.

Кислород, его физические и химические свойства, аллотропия. Способы получения.

Сера, ее физические и химические свойства. Основные физические и химические свойства сероводорода и оксидов серы.

Серная кислота, ее свойства. Химические основы получения серной кислоты контактным способом. Качественная реакция на сульфат-ион.

Общая характеристика элементов VII группы главной подгруппы периодической системы. Сравнение их химических свойств. Соединения галогенов в природе.

Галогеноводороды. Их свойства и получение.

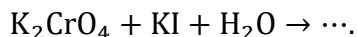
Вода, ее физические и химические свойства (взаимодействие с оксидами, металлами, солями). Гидролиз солей.

Жесткость воды. Способы ее устранения.

Примеры решения и оформления заданий типового билета

Задание № 1

Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты, уравнивать реакцию, используя метод электронного баланса или метод полуреакций; записать реакцию в молекулярной и, для реакции, протекающей в водном растворе, сокращенной ионной форме

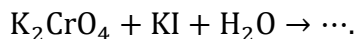


Решение

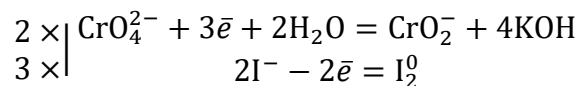
1. Степени окисления изменяются у хрома Cr^{6+} и иода I^- .
2. Хром в составе хромата калия со степенью окисления (+6) может быть только окислителем; наиболее вероятный продукт – Cr^{3+} .

3. Иод со степенью окисления (-1) является восстановителем, наиболее вероятный продукт I_2^0 .

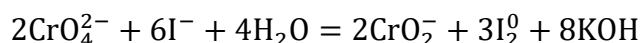
4. Применение метода полуреакций



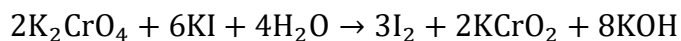
4.1. Уравнивают кислород и водород по обе стороны полуреакции, используя молекулы воды, катионы водорода (в кислой среде) или гидроксид-анионы в щелочной среде; в рассматриваемом примере процесс протекает в нейтральной среде



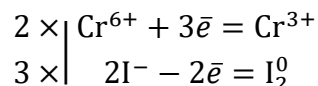
4.2. Суммируют полученные полуреакции схемы, при необходимости сокращают одинаковые элементы по обе стороны реакции, при этом получают сокращённое ионное уравнение реакции



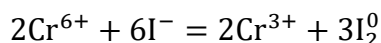
4.3. Формируют молекулярную форму реакции, используя продукты и коэффициенты сокращённого ионного уравнения



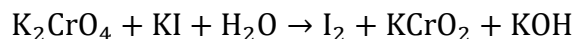
5. Применение метода электронного баланса



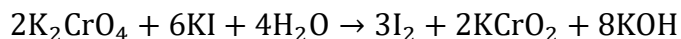
5.1 Суммируют полученные результат



5.2. Формируют молекулярную форму реакции, используя продукты и коэффициенты уравнения в этом случае образование воды, кислоты или основания следует «угадать», а водород и кислород уравнивают «по смыслу».

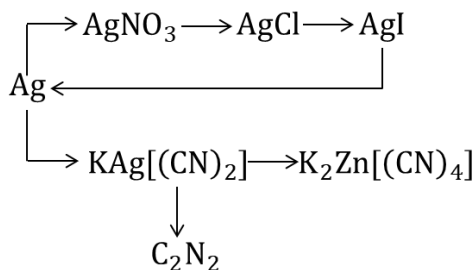


5.3. В суммарном балансе получают коэффициенты окислителя и восстановителя, которые используют при составлении и уравнивании молекулярной формы реакции



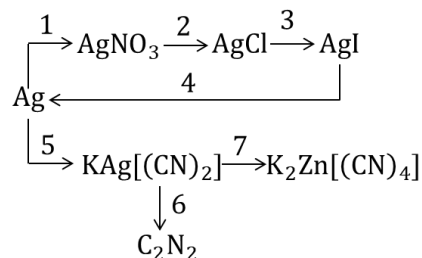
Задание № 2

Составление цепочки химических превращений неорганических веществ



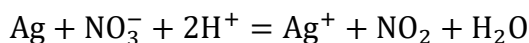
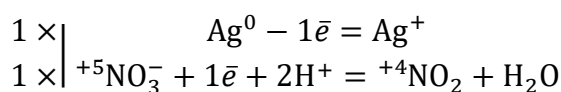
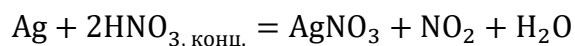
Соответствующие реакции необходимо уравнивать. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полуреакций. Все реакции представить в молекулярной и, для реакций, протекающих в растворе, сокращенной ионной форме.

Решение

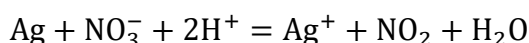
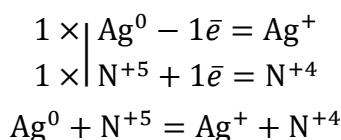
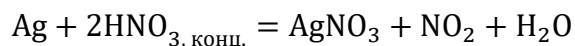


1. Растворение серебра в крепкой азотной кислоте

1.1. Применение метода полуреакций

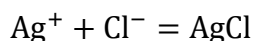


1.2. Применение метода баланса электронов

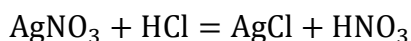


2. Образование хлорида серебра

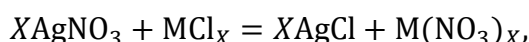
2.1. Ионное уравнение



2.2. При составлении молекулярного уравнения допустимо использование соляной кислоты



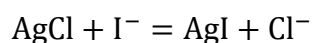
или любого растворимого хлорида



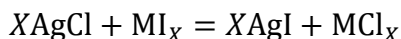
здесь X – степень окисления катиона металла.

3. Образование иодида серебра; конверсия хлорида в иодид протекает из-за гораздо меньшей растворимости иодида серебра

3.1. Ионное уравнение

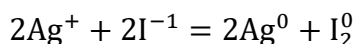
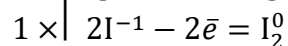
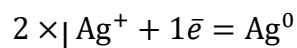
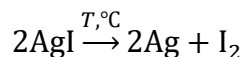


3.2. При составлении молекулярного уравнения допустимо использование любого растворимого иодида



здесь X – степень окисления катиона металла.

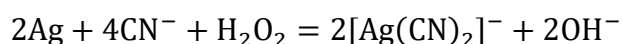
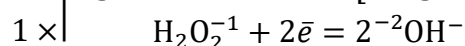
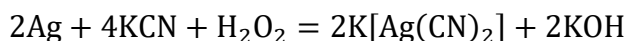
4. Термолиз иодида серебра



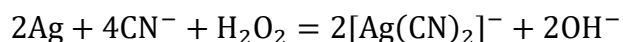
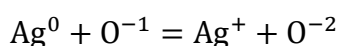
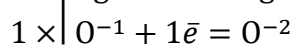
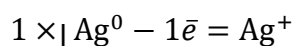
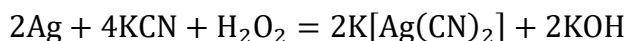
ионного уравнения здесь не требуется.

5. Растворение серебра в цианиде калия в присутствии окислителя – пероксида водорода

5.1. Применение метода полуреакций

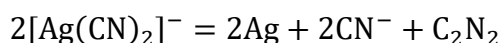
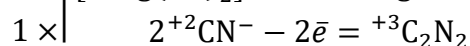
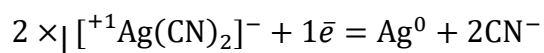
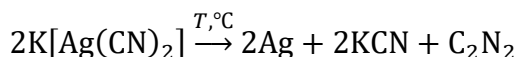


5.2. Применение метода баланса электронов

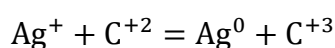
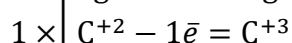
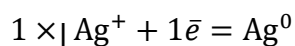
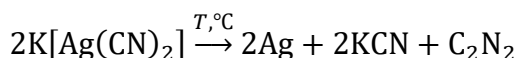


6. Термолиз цианидного комплекса серебра

6.1. Применение метода полуреакций



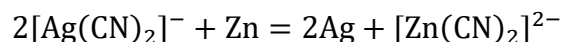
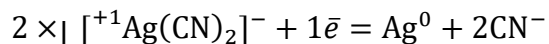
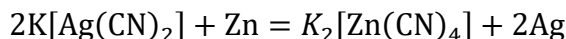
6.2. Применение метода баланса электронов



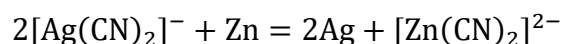
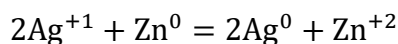
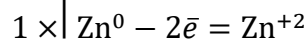
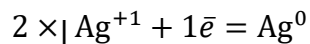
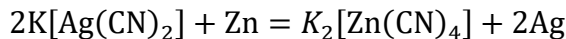
7. Реакция с металлическим цинком – вытеснение серебра из цианидного

комплекса

7.1. Применение метода полуреакций

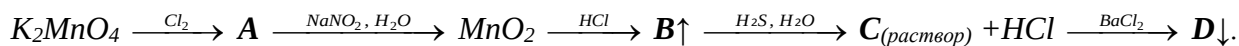


7.2. Применение метода баланса электронов



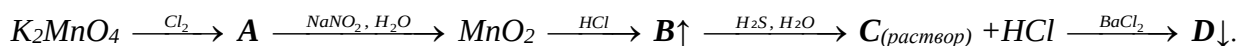
Задание № 3

Составьте цепочку химических превращений с неизвестными продуктами, соответствующих неорганическому синтезу



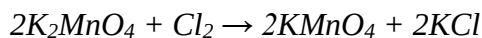
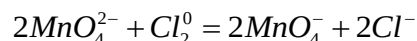
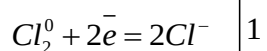
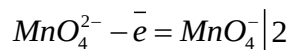
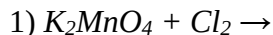
Соответствующие реакции необходимо уравнивать. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полу-реакций. Все реакции представить в молекулярной и, для реакций, протекающих в растворе, сокращенной ионной форме. Соединения, обозначенные буквами назвать по систематической номенклатуре.

Решение

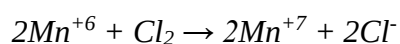
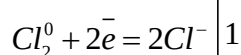
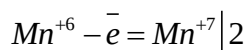


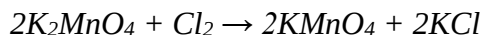
1. Взаимодействие манганата калия и хлора

1.1. Применение метода полуреакций



1.2. Применение метода баланса электронов





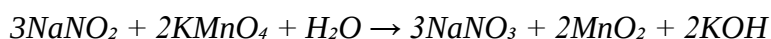
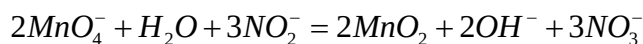
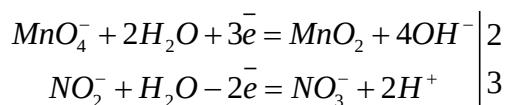
1.3. Вещество А – $KMnO_4$ – перманганат калия.

2. Взаимодействие перманганат калия и нитрита натрия в нейтральной среде

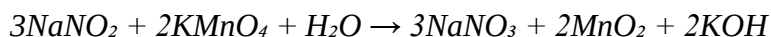
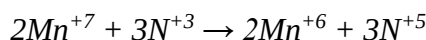
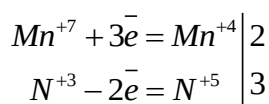
2.1. Молекулярное уравнение



2.2. Применение метода полуреакций

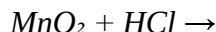


2.3. Применение метода баланса электронов

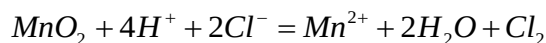
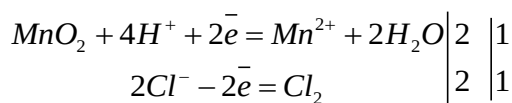


2.4. Полученное вещество MnO_2 – оксид марганца IV.

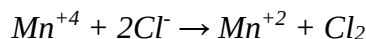
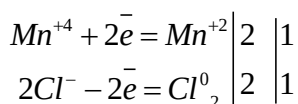
3. Реакция оксид марганца IV с хлороводородом



3.1. Применение метода полуреакций

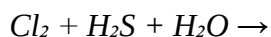


3.2. Применение метода баланса электронов

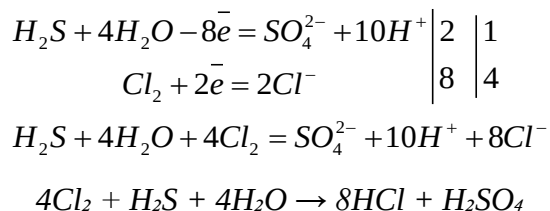


3.3. Вещество В – Cl_2 – газ хлор.

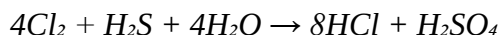
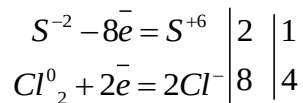
4. Реакция с газа хлора с сероводородом в водной среде



4.1. Применение метода полуреакций



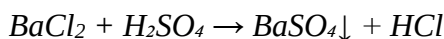
4.2. Применение метода баланса электронов



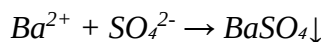
4.3. Вещество C– H₂SO₄ – серная кислота.

5. Реакция с серной кислоты и хлорида бария

5.1. Молекулярное уравнение



5.2. Сокращённое ионное уравнение



5.3. Вещество D– BaSO₄ –сульфат бария.

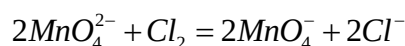
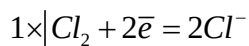
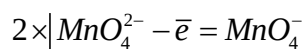
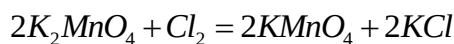
Задание № 4

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 г/см³, 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 полу-реакций. Полученные значения в расчетах округлять до десятых.

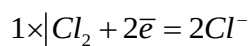
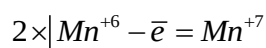
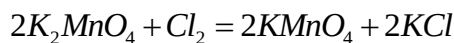
Решение

1. Искомое вещество «А» это манганат калия - K_2MnO_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:

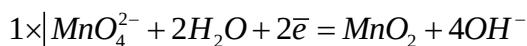
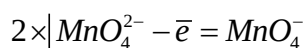
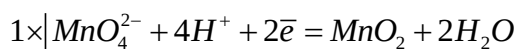
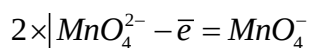
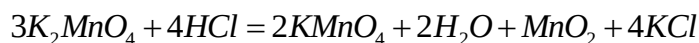


метод баланса электронов:

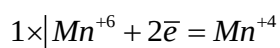
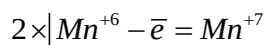
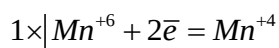
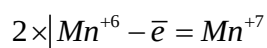


3.2. Реакции превращения манганата в перманганат

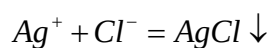
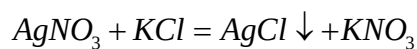
метод полуреакций:



метод баланса электронов



3.3. Реакция осаждения хлорида серебра



4. Расчёт количества вещества манганата калия в исходном растворе

4.1. Расчёт массы манганата калия по массовой доле

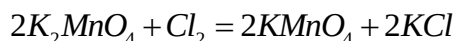
$$m_{K_2MnO_4} = \frac{\omega_{K_2MnO_4}}{100} \cdot m_{p-p} = \frac{\omega_{K_2MnO_4}}{100} \cdot V_{p-p} \cdot d_{p-p} = \frac{7 \cdot 30 \cdot 1,2 \cdot 10^3}{100} = 2520 \text{ г}$$

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



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

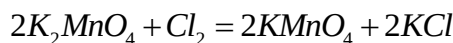
4.5. Расчёт объёма хлора

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

5. Расчёт массы хлорида серебра

5.1. Расчёт количества вещества хлорида калия

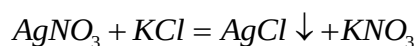
по уравнению 3.1.



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

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

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

Задание № 5

Марганцевую пластинку поместили в раствор массой в 300 г с массовой долей нитрата цинка 20 %. По окончании эксперимента масса пластинки увеличилась на 2,0 г. К полученному раствору добавили к нему 150 г насыщенного раствора сульфида натрия, содержащего 26 г сульфида натрия равна в 100 г воды. Вычислите содержание компонентов, массовые доли, в растворе после извлечения марганцевой пластинки, в осадке и в растворе после добавления сульфида натрия.

Решение

1. Расчёт исходного раствора нитрата цинка

1.1. Расчёт массы цинка

$$m_{\text{Zn(NO}_3)_2}^i = \frac{\omega_{\text{Zn(NO}_3)_2}}{100} \cdot m_{\text{p-p}}^i = \frac{20}{100} \cdot 300 = 60,00 \text{ г.}$$

1.2. Молярная масса нитрата цинка

$$M_{\text{Zn(NO}_3)_2} = M_{\text{Zn}} + 2M_{\text{N}} + 6M_{\text{O}} = 65 + 2 \cdot 14 + 6 \cdot 16 = 189 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

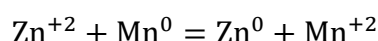
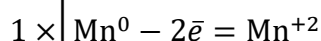
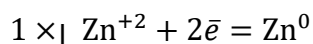
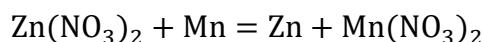
1.3. Расчёт количества вещества нитрата цинка

$$n_{\text{Zn(NO}_3)_2}^i = \frac{m_{\text{Zn(NO}_3)_2}^i}{M_{\text{Zn(NO}_3)_2}} = \frac{60,00}{189,00} = 0,3174 \text{ моль.}$$

1.4. Расчёт массы воды

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{Zn}} = m_{\text{p-p}}^i - m_{\text{Zn(NO}_3)_2}^i = 300 - 60 = 240 \text{ г.}$$

2. Реакция нитрата цинка с марганцем



3. Расчёты по уравнению реакции (п. 2)

3.1. Материальный баланс реакции

$$n_{\text{Zn}} = n_{\text{Mn}} = n$$

или

$$n_{\text{Zn(NO}_3)_2} = n_{\text{Mn(NO}_3)_2} = n$$

3.2. Конечная масса пластинки марганца

$$m_{\text{Mn}}^k = m_{\text{Mn}}^i + m_{\text{Zn}} - m_{\text{Mn}}$$

3.3. Изменение массы пластинки марганца

$$\Delta m_{\text{Mn}} = m_{\text{Zn}} - m_{\text{Mn}}$$

учитывая, что

$$m = n \cdot M$$

$$\Delta m_{\text{Mn}} = n \cdot M_{\text{Zn}} - n \cdot M_{\text{Mn}} = n \cdot (M_{\text{Zn}} - M_{\text{Mn}})$$

3.4. Количество вещества расходуемого/образовавшегося по реакции п. 2

$$n = \frac{\Delta m_{\text{Mn}}}{(M_{\text{Zn}} - M_{\text{Mn}})} = \frac{2,0}{65 - 55} = 0,20 \text{ моль.}$$

4. Состав раствора после извлечения пластинки марганца

4.1. Расчёт нитрата цинка

4.1.1) убыль массы нитрата цинка по реакции с марганцем

$$m_{\text{Zn(NO}_3)_2} = n \cdot M_{\text{Zn(NO}_3)_2} = 0,20 \cdot 189 = 37,80 \text{ г.}$$

4.1.2) конечная масса нитрата цинка

$$m_{\text{Zn(NO}_3)_2}^k = m_{\text{Zn(NO}_3)_2}^i - m_{\text{Zn(NO}_3)_2} = 60 - 37,80 = 22,20 \text{ г.}$$

расчёт через количество вещества

$$n_{\text{Zn}(\text{NO}_3)_2}^k = n_{\text{Zn}(\text{NO}_3)_2}^i - n = 0,3174 - 0,20 = 0,1174 \text{ моль}$$

$$m_{\text{Zn}(\text{NO}_3)_2}^k = n_{\text{Zn}(\text{NO}_3)_2}^k \cdot M_{\text{Zn}(\text{NO}_3)_2} = 0,1174 \cdot 189 = 22,20 \text{ г.}$$

4.2. Расчёт нитрата марганца

4.2.1. Молярная масса нитрата марганца

$$M_{\text{Mn}(\text{NO}_3)_2} = M_{\text{Mn}} + 2M_{\text{N}} + 6M_{\text{O}} = 55 + 2 \cdot 14 + 6 \cdot 16 = 179 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

4.2.2. Масса нитрата марганца

$$m_{\text{Mn}(\text{NO}_3)_2} = n \cdot M_{\text{Mn}(\text{NO}_3)_2} = 0,2 \cdot 179 = 35,8 \text{ г.}$$

4.3. Расчёт массы раствора

$$m_{\text{р-р}} = m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{Zn}(\text{NO}_3)_2}^k + m_{\text{Mn}(\text{NO}_3)_2} = 240 + 22,20 + 35,80 = 298,0 \text{ г.}$$

4.4. Расчёт массовой доли нитрата цинка

$$\omega_{\text{Zn}(\text{NO}_3)_2}^k = \frac{m_{\text{Zn}(\text{NO}_3)_2}^k}{m_{\text{р-р}}} \cdot 100 \% = \frac{22,20}{298,0} \cdot 100 = 7,45 \%.$$

4.5. Расчёт массовой доли нитрата марганца

$$\omega_{\text{Mn}(\text{NO}_3)_2} = \frac{m_{\text{Mn}(\text{NO}_3)_2}}{m_{\text{р-р}}} \cdot 100 \% = \frac{35,8}{298,0} \cdot 100 = 12,01 \%.$$

5. Расчёт раствора сульфида натрия

5.1. Массовая доля сульфида натрия в растворе

$$\omega_{\text{Na}_2\text{S}} = \frac{m_{\text{Na}_2\text{S}}}{m_{\text{р-р}}} \cdot 100 \% = \frac{m_{\text{Na}_2\text{S}}}{m_{\text{Na}_2\text{S}} + m_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100 \% = \frac{26}{26 + 100} \cdot 100 = 20,64 \%.$$

5.2. Масса сульфида натрия в 150 г раствора

$$m_{\text{Na}_2\text{S}}^i = \frac{\omega_{\text{Na}_2\text{S}}}{100} \cdot m_{\text{р-р}} = \frac{20,64}{100} \cdot 150 = 30,96 \text{ г.}$$

5.3. Молярная масса сульфида натрия

$$M_{\text{Na}_2\text{S}} = 2 \cdot M_{\text{Na}} + M_{\text{S}} = 2 \cdot 23 + 32 = 78 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

5.4. Количество вещества сульфида натрия

$$n_{\text{Na}_2\text{S}}^i = \frac{m_{\text{Na}_2\text{S}}^i}{M_{\text{Na}_2\text{S}}} = \frac{30,96}{78} = 0,4 \text{ моль.}$$

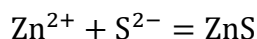
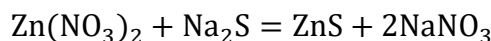
5.5. Масса воды в 150 г раствора сульфида натрия

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{Na}_2\text{S}} = m_{\text{р-р}} - m_{\text{Na}_2\text{S}}^i = 150 - 30,96 = 119,04 \text{ г.}$$

6. Взаимодействие раствора нитратов цинка и марганца с раствором сульфида натрия

6.1. Реакция нитрата цинка

6.1.1. Уравнение реакции



6.1.2. Материальный баланс реакции

$$n_{\text{Na}_2\text{S}}^{\text{Zn}} = n_{\text{ZnS}} = n_{\text{Zn}(\text{NO}_3)_2} = 0,1174 \text{ моль.}$$

$$n_{\text{NaNO}_3}^{\text{Zn}} = 2n_{\text{Zn}(\text{NO}_3)_2} = 2 \cdot 0,1174 = 0,2348 \text{ моль.}$$

6.1.3. Молярная масса сульфида цинка

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

6.1.4. Масса сульфида цинка

$$m_{\text{ZnS}} = n_{\text{ZnS}} \cdot M_{\text{ZnS}} = 0,1174 \cdot 97 = 11,39 \text{ г}$$

6.1.5. Молярная масса нитрата натрия

$$M_{\text{NaNO}_3} = M_{\text{Na}} + M_{\text{N}} + 3M_{\text{O}} = 23 + 14 + 3 \cdot 16 = 85 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

6.1.6. Масса нитрата натрия

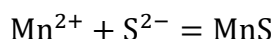
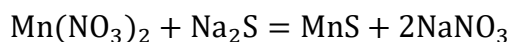
$$m_{\text{NaNO}_3}^{\text{Zn}} = n_{\text{NaNO}_3}^{\text{Zn}} \cdot M_{\text{NaNO}_3} = 0,2348 \cdot 85 = 19,96 \text{ г.}$$

6.1.7. Масса сульфида натрия

$$m_{\text{Na}_2\text{S}}^{\text{Zn}} = n_{\text{Na}_2\text{S}} \cdot M_{\text{Na}_2\text{S}} = 0,1174 \cdot 78 = 9,16 \text{ г}$$

6.2. Реакция нитрата марганца

6.2.1. Уравнение реакции



6.2.2. Материальный баланс реакции

$$n_{\text{Na}_2\text{S}} = n_{\text{MnS}} = n_{\text{Mn}(\text{NO}_3)_2} = 0,2 \text{ моль.}$$

$$n_{\text{NaNO}_3}^{\text{Mn}} = 2n_{\text{Mn}(\text{NO}_3)_2} = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ моль.}$$

6.2.3. Молярная масса сульфида марганца

$$M_{\text{MnS}} = M_{\text{Mn}} + M_{\text{S}} = 55 + 32 = 87 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

6.2.4. Масса сульфида марганца

$$m_{\text{MnS}} = n_{\text{MnS}} \cdot M_{\text{MnS}} = 0,2 \cdot 87 = 17,40 \text{ г.}$$

6.2.5. Масса нитрата натрия

$$m_{\text{NaNO}_3}^{\text{Mn}} = n_{\text{NaNO}_3}^{\text{Mn}} \cdot M_{\text{NaNO}_3} = 0,4 \cdot 85 = 34,0 \text{ г.}$$

6.2.6. Масса сульфида натрия

$$m_{\text{Na}_2\text{S}}^{\text{Mn}} = n_{\text{Na}_2\text{S}} \cdot M_{\text{Na}_2\text{S}} = 0,2 \cdot 78 = 15,60 \text{ г}$$

6.2.7. Баланс сульфида натрия

по массе

$$m_{\text{Na}_2\text{S}}^{\text{R}} = m_{\text{Na}_2\text{S}}^{\text{Zn}} + m_{\text{Na}_2\text{S}}^{\text{Mn}} = 9,16 + 15,60 = 24,76 \text{ г} < 30,96 \text{ г}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{S}}^k = m_{\text{Na}_2\text{S}}^i - m_{\text{Na}_2\text{S}}^R = 30,96 - 24,76 = 6,20 \text{ г.}$$

по количеству вещества

$$n_{\text{Na}_2\text{S}}^R = n_{\text{Na}_2\text{S}}^{\text{Zn}} + n_{\text{Na}_2\text{S}}^{\text{Mn}} = 0,1174 + 0,2 = 0,3174 \text{ моль} < 0,4 \text{ моль}$$

$$n_{\text{Na}_2\text{S}}^k = n_{\text{Na}_2\text{S}}^i - n_{\text{Na}_2\text{S}}^R = 0,4 - 0,3174 = 0,08 \text{ моль.}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{S}}^k = n_{\text{Na}_2\text{S}}^k \cdot M_{\text{Na}_2\text{S}} = 0,08 \cdot 78 = 6,2 \text{ г.}$$

6.2.8. Общее количество нитрата натрия

по массе

$$m_{\text{NaNO}_3} = m_{\text{NaNO}_3}^{\text{Zn}} + m_{\text{NaNO}_3}^{\text{Mn}} = 19,96 + 34,0 = 53,96 \text{ г.}$$

по количеству вещества

$$n_{\text{NaNO}_3} = n_{\text{NaNO}_3}^{\text{Zn}} + n_{\text{NaNO}_3}^{\text{Mn}} = 0,2348 + 0,4 = 0,6348 \text{ моль.}$$

$$m_{\text{NaNO}_3} = n_{\text{NaNO}_3} \cdot M_{\text{NaNO}_3} = 0,6348 \cdot 85 = 53,96 \text{ г.}$$

7. Состав осадка

7.1. Общая масса осадка

$$m_{\Sigma} = m_{\text{ZnS}} + m_{\text{MnS}} = 11,39 + 17,40 = 28,79 \text{ г.}$$

7.2. Массовая доля сульфида цинка

$$\omega_{\text{ZnS}} = \frac{m_{\text{ZnS}}}{m_{\Sigma}} \cdot 100 \% = \frac{11,39}{28,79} \cdot 100 = 39,56 \%.$$

7.3. Массовая доля сульфида марганца

$$\omega_{\text{MnS}} = \frac{m_{\text{MnS}}}{m_{\Sigma}} \cdot 100 \% = \frac{17,40}{28,79} \cdot 100 = 60,44 \%.$$

8. Расчёт состава раствора после реакции с сульфидом натрия

8.1. Состав раствора: вода, сульфид натрия, нитрат натрия.

8.2. Общая масса воды – сумма массы воды по п. 1.4. и п. 5.5

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{Zn}} + m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{Na}_2\text{S}} = 240 + 119,04 = 359,04 \text{ г}$$

8.3. Масса раствора – сумма массы воды, сульфида натрия (п. 6.2.7.) и нитрата натрия (п. 6.2.8.)

$$m_{\text{p-p}} = m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{Na}_2\text{S}}^k + m_{\text{NaNO}_3} = 359,04 + 6,2 + 53,96 = 419,20 \text{ г.}$$

8.4. Массовая доля сульфида натрия

$$\omega_{\text{Na}_2\text{S}}^k = \frac{m_{\text{Na}_2\text{S}}^k}{m_{\text{p-p}}} \cdot 100 \% = \frac{6,2}{419,2} \cdot 100 = 1,48 \%.$$

8.5. Массовая доля нитрата натрия

$$\omega_{\text{NaNO}_3} = \frac{m_{\text{NaNO}_3}}{m_{\text{p-p}}} \cdot 100 \% = \frac{53,96}{419,2} \cdot 100 = 12,87 \%.$$

Задание № 6

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. (м³/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 ω_i – массовая доля элемента, %; m_{Σ} – масса рудного концентрата, т

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

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

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

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

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

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

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

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

1.2. 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

1.3. 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

$$m_S = 33,51 \text{ г},$$

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

1.3.1.2. Количество вещества элементов

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

$$n_S = \frac{m_S}{M_S} = \frac{33,51}{32} = 1,05 \text{ моль}.$$

1.3.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{Cu}:n_S = 1,05 : 1,05 = 1 : 1$$

1.3.1.4. Формула ковеллина: CuS .

1.3.2. Количество вещества ковеллина с учётом п. 1.2.1

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

1.3.3. Масса ковеллина

$$m_{CuS}^{конц.} = n_{CuS}^{конц.} \cdot M_{CuS} = 1,89 \cdot 10^6 \cdot 95,5 = 180,5 \cdot 10^6 \text{ г} = 180,5 \text{ т};$$

$$M_{CuS} = M_{Cu} + M_S = 63,5 + 32 = 95,5 \text{ г/моль}.$$

1.3.4. Массовая доля ковеллина в концентрате

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

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

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

$$m_S = 33,0 \text{ г},$$

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

1.4.1.2. Количество вещества элементов

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

$$n_S = \frac{m_S}{M_S} = \frac{33,0}{32} = 1,03 \text{ моль}.$$

1.4.1.3. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{Zn}:n_S = 1,03 : 1,03 = 1 : 1$$

1.4.1.4. Формула сфалерита: ZnS .

1.4.2. Количество вещества сфалерита с учётом п. 1.2.2

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

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.

1.5. 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

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

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 – 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.

1.6. 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.

1.7. 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.

1.8. 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

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

1.9. 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

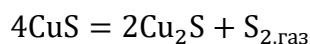
$$\omega_{\text{конц.}} = \omega_{\text{CuS}}^{\text{конц.}} + \omega_{\text{ZnS}}^{\text{конц.}} + \omega_{\text{FeS}_2}^{\text{конц.}} + \omega_{\text{SiO}_2}^{\text{конц.}} + \omega_{\text{CaO}}^{\text{конц.}} + \omega_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{конц.}} = \\ = 18,05 + 3,10 + 71,28 + 4,98 + 1,01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

Небольшое расхождение допустимо и связано с точностью вычислений.

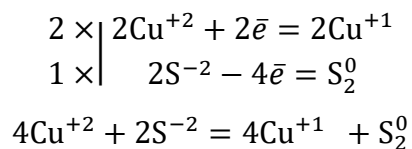
2. Уравнения реакций, протекающих при обжиге

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

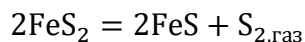
2.1.1. Диссоциация ковеллина



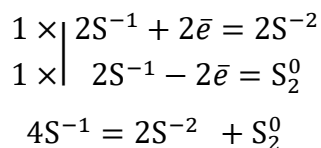
баланс электронов



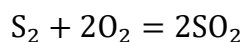
2.1.2. Диссоциация пирита



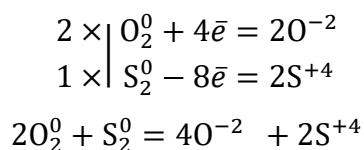
баланс электронов



2.2. Горение паров серы

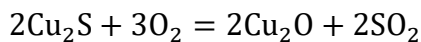


баланс электронов

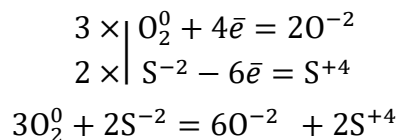


2.3. Окисление сульфидов

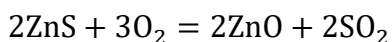
2.3.1. Окисление сульфида меди



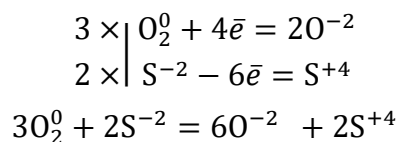
баланс электронов



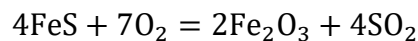
2.3.2. Окисление сульфида цинка



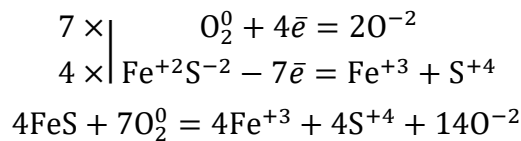
баланс электронов



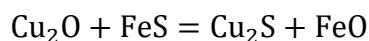
2.3.3. Окисление сульфида железа



баланс электронов

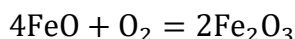


2.3.4. Образование сульфида меди (I) по реакции обмена

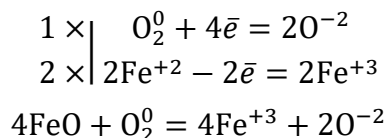


протекает по причине большей устойчивости сульфида меди и приводит к концентрированию сульфида меди в штейне и обеспечивает наличие железа в шлаке в форме оксида железа (II).

2.3.5. Окисление оксида железа (II)



баланс электронов



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 %:

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

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):

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

3.2.2. Масса серы в огарке

$$m_{\text{S}}^{\text{ог.}} = n_{\text{S}}^{\text{ог.}} \cdot M_{\text{S}} = 2,82 \cdot 10^6 \cdot 32 = 90,24 \cdot 10^6 \text{ г} = 90,24 \text{ т.}$$

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

$$m_{\text{S}} = 20,13 \text{ г,}$$

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

3.3.1.2. Количество вещества элементов

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

$$n_{\text{S}} = \frac{m_{\text{S}}}{M_{\text{S}}} = \frac{20,13}{32} = 0,63 \text{ моль.}$$

3.3.1.3. Соотношение количества вещества элементов

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

3.3.1.4. Формула халькозина: Cu_2S .

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

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

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

3.3.4. Массовая доля халькозина с учетом п. 3.1.2.

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

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.

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

3.4.2. Сульфид цинка

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

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

3.4.2.2. Масса сульфида цинка

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

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

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

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

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.

$$n_{\text{S}}^{\text{FeS}} = n_{\text{S}}^{\text{ог.}} - n_{\text{S}}^{\text{Cu}_2\text{S}} - n_{\text{S}}^{\text{ZnS}} = n_{\text{S}}^{\text{ог.}} - n_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{ог.}} - n_{\text{ZnS}}^{\text{ог.}} = 2,82 - 0,945 - 0,21 = 1,67 \text{ Ммоль}$$

3.5.1.2. Количество вещества сульфида железа

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

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.

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

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.

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

3.5.2.1.5. Соотношение количества вещества элементов

$$n_{Fe}^{Fe_xO_y} : n_O^{Fe_xO_y} = 4,27 : 6,44 = 2 : 3.$$

Формула оксида железа в огарке Fe_2O_3 .

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

$$n_{Fe_2O_3}^{ог.} = \frac{n_{Fe}^{Fe_2O_3}}{2} = \frac{4,27}{2} = 2,14 \text{ Ммоль.}$$

3.5.2.3. Масса оксида железа

$$m_{Fe_2O_3}^{ог.} = n_{Fe_2O_3}^{ог.} \cdot M_{Fe_2O_3} = 2,14 \cdot 10^6 \cdot 160 = 342,4 \cdot 10^6 \text{ г} = 342,4 \text{ т};$$

$$M_{Fe_2O_3} = 2 \cdot M_{Fe} + 3 \cdot M_O = 2 \cdot 56 + 3 \cdot 16 = 160 \text{ г/моль.}$$

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

$$\omega_{Fe_2O_3}^{ог.} = \frac{m_{Fe_2O_3}^{ог.}}{m_{ог.}} \cdot 100 \% = \frac{341,6}{743,52} \cdot 100 = 46,05 \%.$$

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.

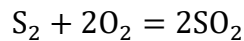
$$\omega_{\text{CaO}}^{\text{ог.}} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\text{конц.}}}{m_{\text{ог.}}} \cdot 100 \% = \frac{10,08}{743,52} \cdot 100 = 1,36 \%$$

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

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

4. Расход воздуха

4.1. Горение паров серы



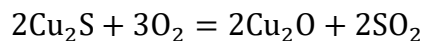
4.1.1. Количество вещества серы с учетом степени десульфуризации 80 %.

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

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

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

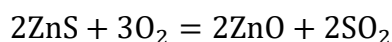
4.2. Окисление сульфида меди



4.2.1. Количество вещества кислорода с учетом п. 3.3.2.

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

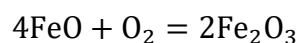
4.3. Окисление сульфида цинка



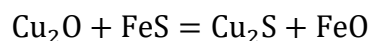
4.3.1. Количество вещества кислорода с учетом п. 3.4.1.1.

$$n_{\text{O}_2} = \frac{3}{2} \cdot n_{\text{ZnO}}^{\text{ог.}} = 1,5 \cdot 0,11 = 0,165 \text{ Ммоль}$$

4.4. Окисление оксида железа (II)



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

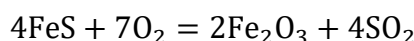


$$n_{\text{FeO}} = n_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{ог.}} = 0,945 \text{ Ммоль.}$$

4.4.2. Количество вещества кислорода

$$n_{\text{O}_2} = \frac{1}{2} \cdot n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = \frac{1}{4} \cdot n_{\text{FeO}} = \frac{1}{4} \cdot n_{\text{Cu}_2\text{S}}^{\text{ог.}} = \frac{0,945}{4} = 0,24 \text{ Ммоль.}$$

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.

$$n_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^{4.5} = n_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{ор.}} - n_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^{4.4} = n_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{ор.}} - 2 \cdot n_{\text{O}_2}^{4.4} = 2,14 - 2 \cdot 0,24 = 1,66$$

4.5.2. Количество вещества кислорода

$$n_{\text{O}_2} = \frac{7}{2} \cdot n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = \frac{7}{2} \cdot 1,66 = 5,81 \text{ Ммоль.}$$

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

$$n_{\text{O}_2}^{\Sigma} = n_{\text{O}_2}^{4.1} + n_{\text{O}_2}^{4.2} + n_{\text{O}_2}^{4.3} + n_{\text{O}_2}^{4.4} + n_{\text{O}_2}^{4.5} = 11,28 + 1,42 + 0,165 + 0,24 + 5,81 = 18,915 \text{ Ммоль}$$

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

$$n_{\text{возд.}} = \frac{100 \cdot n_{\text{O}_2}^{\Sigma}}{\omega_{\text{O}_2}^{\text{возд.}}} = \frac{100 \cdot 18,915}{21} = 90,07 \cdot 10^6 \text{ моль} = 90,07 \text{ Ммоль}$$

4.8. Объем воздуха

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

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

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

Ответ:

1) Вещественный состав концентрата

вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
CuS	180,50	18,05
ZnS	31,04	3,10
FeS ₂	712,80	71,28
SiO ₂	49,80	4,98
CaO	10,08	1,01
Al ₂ O ₃	14,79	1,48
Итого:	999,01	99,9

2) Вещественный состав огарка

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

3) Расход воздуха

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

Список рекомендованной литературы

1. Василевская Е.И., Свиридова Т.В. Методы решения задач по общей химии: учеб. Пособие / Минск: Высш.шк., 2007, 128 с.
2. Габриелян О.С. Химия: пособие для школьников старших классов и поступающих в ВУЗы. - М.: Дрофа, 2006, 704 с.
3. Глазкова О.В., Ивлев В.И., Сысманова Н.Ю. Азбука химии / Учебное пособие - Саранск: Референт, 2012, 42 с.2.
4. Кузьменко Н.Е., Еремин В.В. 2500 задач по химии с решениями для поступающих в вузы. – М.: Мир и образование, 2007, 560 с.
5. Кузьменко Н.Е., Еремин В.В., Попков В.А. Начала химии. Современный курс для поступающих в вузы. – М.: Экзамен, 2010, 768 с.
6. Кузьменко Н.Е., Еремин В.В., Чуранов С.С. Сборник конкурсных задач по химии. – М.: Экзамен, 2008, 464 с.
7. Левицкий М.М. О химии серьезно и с улыбкой / М., Издательство «ИКЦ «Академкнига», 2005, 287 с.
8. Леенсон И.А. Удивительная химия / М., Издательство «НЦ ЭНАС», 2006, 176 с.
9. Степин Б.Д., Алиакберова Л.Ю. Занимательные задания по химии / М., Издательство «Дрофа», 2006, 430 с.
10. Хомченко Г. П. Пособие по химии для поступающих в ВУЗы - М., 2002, 480 с.
11. Цветков Л.А. Органическая химия: учебник для учащихся 10 - 11 кл. общеобразовательных учеб. заведений / М., 2012, 271 с.