

**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**

ПО ХИМИИ

для учащихся 10-11 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 охватывают все разделы химии. Основное внимание будет обращено на понимание сути явлений, умение пользоваться периодической системой элементов и связывать химические свойства элементов и их соединений с положением в периодической таблице. Необходимо знать современную номенклатуру, принципы классификации неорганических и органических 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».

При выполнении олимпиадных заданий требуется дать краткое теоретическое обоснование каждого выбранного решения и привести соответствующие уравнения реакций.

Билет содержит задания следующих типов:

- окислительно-восстановительная реакция без указания продуктов;
- цепочка химических реакций по общей и неорганической химии с неизвестными компонентами;
- цепочка химических реакций по органической химии с неизвестными компонентами;
- творческая задача по неорганической химии;
- сложная задача по цепочкам превращения в органической химии;
- задача по общей или неорганической химии повышенной сложности;

Составляя цепочку химических превращений по свойствам элементов и классов неорганических соединений, необходимо соответствующие реакции уравнивать, записать в молекулярной и ионной формах.

В цепочке по свойствам органических соединений реакции следует уравнивать, а также показывать условия проведения процессов (температура, катализатор и т.д.).

При составлении цепочек по органической и неорганической химии с неизвестными компонентами необходимо назвать полученные соединения.

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 30 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 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.

3. Выполнить практическое задание, включающее составление цепочки

химических превращений с неизвестными продуктами, соответствующих органическому синтезу. Составляя цепочку химических превращений по свойствам классов органических соединений, необходимо соответствующие реакции уравнивать и указать условия их протекания.

4. Решить задачу из курса общей или неорганической химии, требующей умений проведения расчетов по химическим формулам и уравнениям реакции.

5. Решить задачу из курса органической химии, требующей знаний химических свойств, способов получения и практического применения основных классов органических соединений.

6. Решить задачу из курса общей или 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.

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.

Раздел 3. Органическая химия

1. Теория строения органических веществ А.М. Бутлерова. Зависимость свойств органических веществ от их строения. Изомерия.

2. Теория химического строения органических соединений А.М. Бутлерова. Электронная природа химических связей в молекулах органических соединений, способы разрыва связей. Понятие о свободных радикалах.

3. Именные реакции в органической химии и их значение. Реакции А.М. Бутлерова, Н.Н. Зинина, Н.Д. Зелинского, М.Г. Кучерова, Ш.А. Вюрца.

4. Природные источники углеводородов. Нефть, способы ее переработки (перегонка, крекинг нефтепродуктов).

5. Основные классы органических соединений.

6. Генетическая связь между классами органических соединений.

7. Гомологический ряд предельных углеводородов (алканов), их электронное и

пространственное строение, тип гибридизации. Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение.

8. Карбиды металлов. Их получение и использование в органическом синтезе.

9. Алкены. Тип гибридизации, σ - и π -связи. Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение.

10. Алкадиены. Особенности их строения. Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение.

11. Алкины. Особенности их строения (тип гибридизации, тройная связь). Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение.

12. Реакции полимеризации и поликонденсации. Их практическое использование.

13. Общие понятия химии высокомолекулярных соединений: мономер, полимер, элементарное звено, степень полимеризации. Полиэтилен. Природный и синтетический каучук.

14. Спирты. Строение. Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение. Водородная связь и ее влияние на физические свойства спиртов.

15. Альдегиды. Строение. Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение.

16. Карбоновые кислоты. Строение карбоксильной группы. Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение.

17. Арены. Электронное строение. Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение.

18. Фенол. Строение. Взаимное влияние атомов в молекуле фенола. Химические свойства в сопоставлении со свойствами алифатических спиртов.

19. Нитросоединения. Физические и химические свойства. Получение. Применение.

20. Жиры как представители сложных эфиров. Строение. Получение по реакции этерификации. Химические свойства.

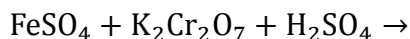
21. Глюкоза. Строение. Химические свойства. Гидролиз.

22. Амины. Химические свойства. Получение. Применение.

Примеры решения и оформления заданий типового билета

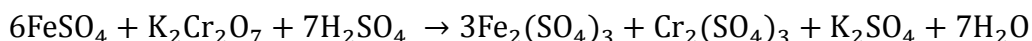
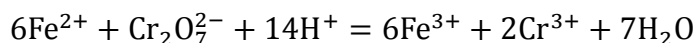
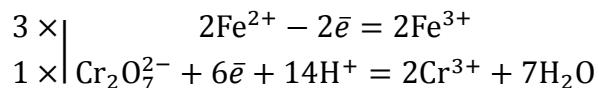
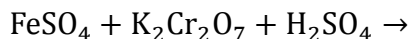
Задание № 1

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

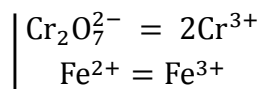


Решение:

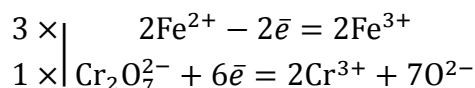
1. Степени окисления изменяются у железа Fe^{2+} и хрома Cr^{6+} .
2. Хром (VI) является окислителем, в кислой среде восстанавливается до Cr^{3+} .
3. Железо (II) является восстановителем, в кислой среде окисляется до Fe^{3+} .
4. Составим уравнение баланса электронов методом полуреакций



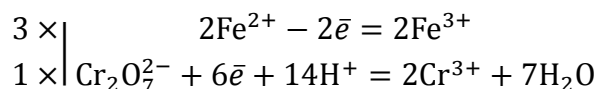
- 4.1. Составляют полу-реакции с участием ионов железа и хром-аниона с указанием наиболее вероятных продуктов окисления и восстановления



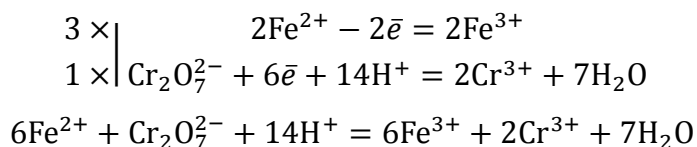
- 4.2. Дополняют полученные схемы балансом электронов



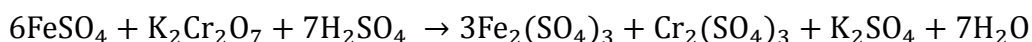
- 4.3. Уравнивают кислород и водород по обе стороны полуреакции, используя молекулы воды, катионы водорода (в кислой среде) или гидроксид-анионы в щелочной среде; в рассматриваемом примере процесс протекает в сернокислой среде



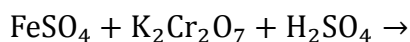
- 4.4. Суммируют полученные полуреакции, при необходимости сокращают одинаковые элементы по обе стороны реакции



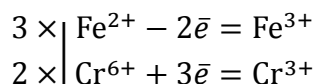
- 4.5. Формируют молекулярную форму реакции, используя продукты и коэффициенты сокращённого ионного уравнения



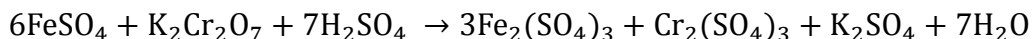
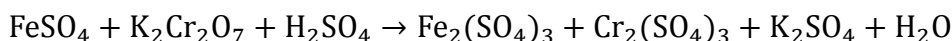
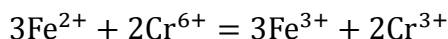
5. Применение метода электронного баланса



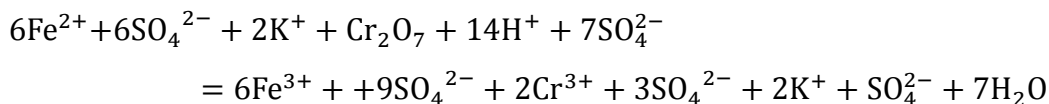
- 5.1. Составляют уравнения окисления/восстановления



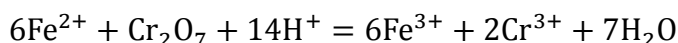
5.2. В суммарном балансе получают коэффициенты окислителя и восстановителя, которые используют при составлении и уравнивании молекулярной формы реакции, в этом случае образование воды следует «угадать», а водород и кислород уравнивают «по смыслу».



5.3. На основании полученного молекулярного уравнения формируют полное ионное уравнение

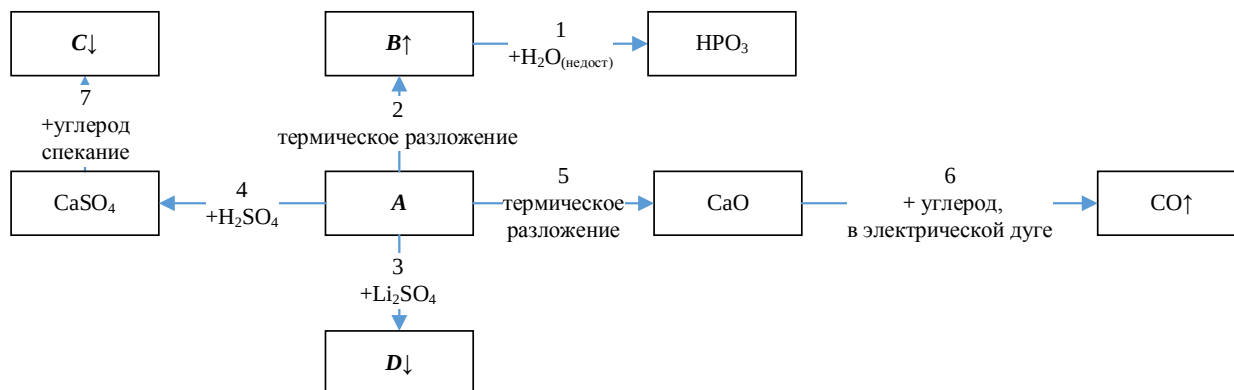


5.4. Сокращают катионы и анионы по обе стороны реакции и получают сокращённое ионное уравнение



Задание № 2

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

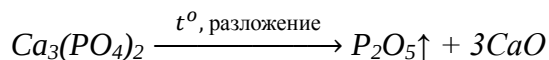


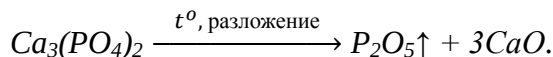
Решение

1. вещество **B** при взаимодействии с водой превращается в HPO_3

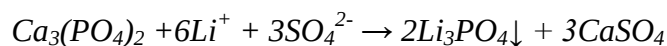
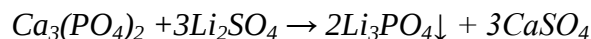


2. вещество **A** при термическом разложении превращается в вещество **B** то есть в P_2O_5

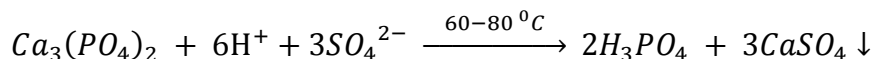
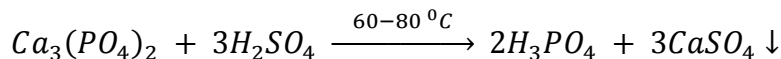




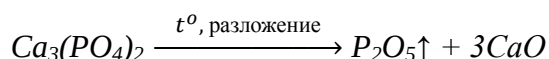
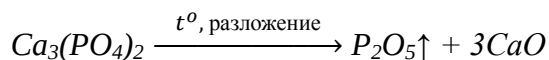
3. вещество **A** взаимодействует с Li_2SO_4 в результате чего образуется осадок



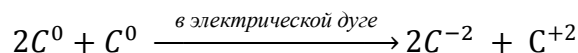
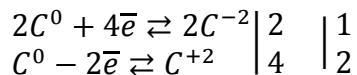
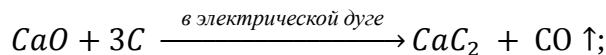
4. При добавлении к веществу **A** серной кислоты образуется сульфат кальция



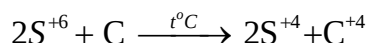
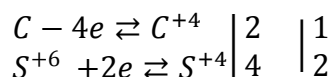
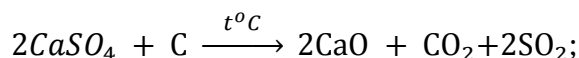
5. При термическом разложении вещества **A** образуется CaO



6. При взаимодействии оксида кальция с углеродом в электрической дуге образуется газ CO



7. При спекании сульфата кальция с углеродом образуется вещество **C** - осадок



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

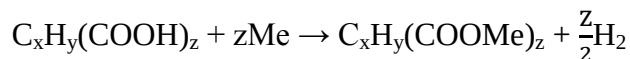
Задание № 3

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

Решение:

1. Общая формула органической кислоты $C_xH_y(COOH)_z$.

Уравнение реакции с металлом:



Количество кислоты по реакции с металлом:

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

Количество выделившегося водорода:

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

По уравнению реакции соотношение количеств кислоты и выделившегося водорода:

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

Из соотношения $z=2$.

2. Молярная масса кислоты:

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

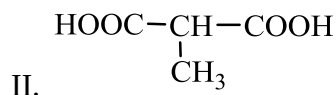
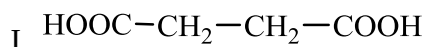
При $z=2$ получим:

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

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

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

Структурные формулы кислоты:



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

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

Молярная масса щелочного металла:

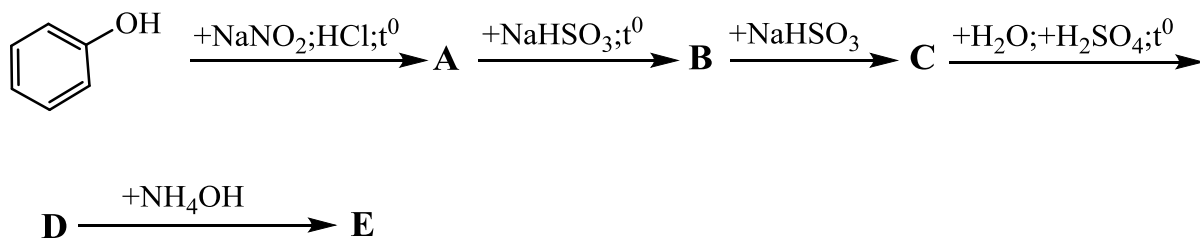
$$M_{Me} = \frac{m_{Me}}{n_{Me}} = \frac{0,46}{0,02} = 23, \text{ г/моль}$$

$$Ar_{Me} = 23$$

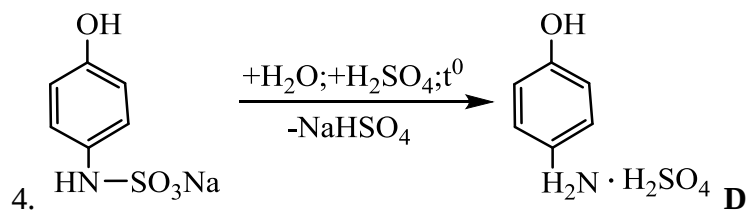
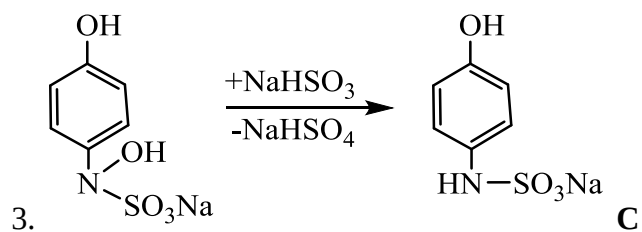
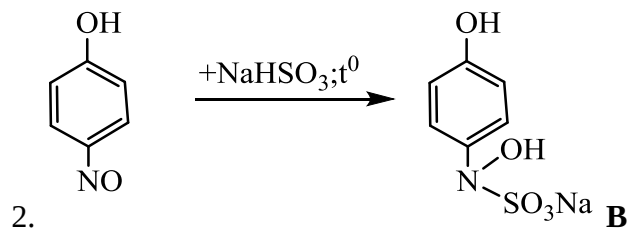
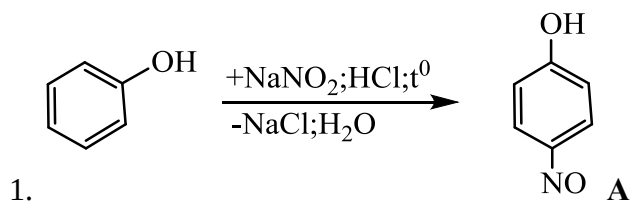
Относительная атомная масса соответствует щелочному металлу – Na

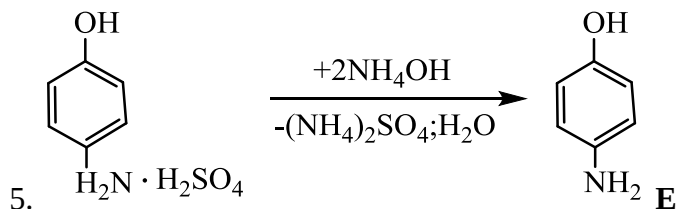
Задание № 4

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



Решение:





Задание № 5

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

Решение:

1. Определим массу исходного раствора соляной кислоты:

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

2. Определим массу и количество соляной кислоты в исходном растворе:

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

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

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

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

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

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

5. Тогда масса хлорида в растворе:

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

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

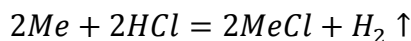
$$\omega_{(\text{хлорид в растворе})} = \frac{m_{(\text{хлорид})}}{m_{(\text{раствор HCl после реакции с Me})}} \cdot 100 \%$$

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

Таким образом, масса металла составит:

$$m_{(Me)} = x = 9 \text{ г}$$

7. Если металл одновалентный, он реагирует с соляной кислотой по реакции:

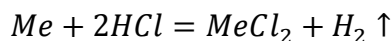


Тогда молярная масса металла с учетом стехиометрии реакции составит:

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

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

8. Если металл двухвалентный, он реагирует с соляной кислотой по реакции:

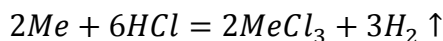


Тогда молярная масса металла с учетом стехиометрии реакции составит:

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

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

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



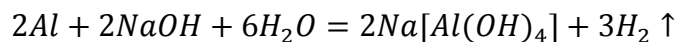
Тогда молярная масса металла с учетом стехиометрии реакции составит:

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

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

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

10. Алюминий реагирует со щелочью по реакции:



В соответствии со стехиометрией реакции образуется тетрагидроксоалюминат натрия массой:

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

В соответствии со стехиометрией реакции из раствора выделяется водород массой:

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

11. Тогда масса раствора после реакции алюминия со щелочью:

$$m_{(\text{раствор } 2)} = m_{(\text{раствор NaOH})} + m_{(\text{Me})} - m_{(\text{H}_2)} = (160 + 9 - 1) = 168 \text{ г}$$

12. Следовательно, массовая доля тетрагидроксоалюминат натрия в растворе:

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

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

Задание № 6

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

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

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

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

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

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

Решение

1. Вывод формул компонентов руды

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

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

$$m_{\text{Fe}} = 70,0 \text{ г},$$

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

1.1.2. Количество вещества элементов

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

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

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: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

1.2. 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: $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

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

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

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

$$m_{\text{SiO}_2} = 46 \text{ г};$$

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

1.3.2. Количество вещества

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

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

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

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

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

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

1.3.3. Соотношение количества вещества

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

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

2. Расчёт массы веществ – компонентов руды

m_i , составляющих массу руды выполняют по формуле

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

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

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

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

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

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

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

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

3. Расчёт количества вещества компонентов руды

n_i , выполняют по формуле

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.1. Расчёт массы шихты

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

и массы руды 100 т.

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

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

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

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

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

4.2. Расчёт никеля

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

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

4.2.2. Расчет никеля

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

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

4.2.2.2. Масса никеля

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

4.2.2.3. Массовая доля никеля с учетом п. 4.1.3.

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

4.3. Расчёт железа

4.3.1. Расчет оксида железа

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

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

4.3.1.2. Масса оксида железа

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

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

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

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

4.3.2. Расчет железа

4.3.2.1. Количество вещества железа с учетом п. 4.3.1.1.

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

4.3.2.2. Масса железа

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

4.3.2.3. Массовая доля железа с учетом п. 4.1.3.

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

4.4. Расчёт магнезия

4.4.1. Расчет оксида магнезия

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

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

4.4.1.2. Масса оксида магнезия

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

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

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

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

4.4.2. Расчет магнезия

4.4.2.1. Количество вещества магнезия с учетом п. 4.4.1.1.

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

4.4.2.2. Масса магнезия

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

4.4.2.3. Массовая доля магнезия с учетом п. 4.1.3.

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

4.5. Расчёт алюминия

4.5.1. Расчет оксида алюминия

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

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

4.5.1.2. Масса оксида алюминия

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

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

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

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

4.5.2. Расчет алюминия

4.5.2.1. Количество вещества алюминия с учетом п. 4.5.1.1.

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

4.5.2.2. Масса алюминия

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

4.5.2.3. Массовая доля алюминия с учетом п. 4.1.3.

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

4.6. Расчёт кремния

4.6.1. Расчет оксида кремния

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

$$\begin{aligned} n_{SiO_2}^{\Sigma} &= n_{SiO_2\text{-кварц}} + 4 \cdot n_{3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O} + 2 \cdot n_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} = \\ &= 0,13 + 4 \cdot 0,095 + 2 \cdot 0,053 = 0,616 \text{ Ммоль.} \end{aligned}$$

4.6.1.2. Масса оксида кремния

$$\begin{aligned} m_{SiO_2}^{\Sigma} &= n_{SiO_2}^{\Sigma} \cdot M_{SiO_2} = 0,616 \cdot 10^6 \cdot 60 = 36,96 \cdot 10^6 \text{ г} = 36,96 \text{ т;} \\ M_{SiO_2} &= M_{Si} + 2 \cdot M_O = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ г/моль.} \end{aligned}$$

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

$$\omega_{SiO_2}^{\Sigma} = \frac{m_{SiO_2}^{\Sigma}}{m_{ших.}} \cdot 100 \% = \frac{36,96}{138} \cdot 100 = 26,78 \%$$

4.6.2. Расчет кремния

4.6.2.1. Количество вещества кремния с учетом п. 4.6.1.1.

$$n_{Si}^{\Sigma} = n_{SiO_2}^{\Sigma} = 0,616 \text{ Ммоль.}$$

4.6.2.2. Масса кремния

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

4.6.2.3. Массовая доля кремния с учетом п. 4.1.3.

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

4.7. Расчёт гипса

4.7.1. Количество вещества гипса с учётом п. 4.1.1

$$n_{CaSO_4 \cdot 2H_2O} = \frac{m_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}}{M_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}} = \frac{30 \cdot 10^6}{172} = 0,17 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,17 \text{ Ммоль};$$

$$M_{CaSO_4 \cdot 2H_2O} = M_{Ca} + M_S + 4 \cdot M_O + 2 \cdot M_{H_2O} = 40 + 32 + 4 \cdot 16 + 2 \cdot 18 = 172 \text{ г/моль.}$$

4.7.2. Расчёт кальция

4.7.2.1. Расчет оксида кальция

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

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

4.7.2.1.2. Масса оксида кальция

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

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

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

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

4.7.2.2. Расчет кальция

4.7.2.2.1. Количество вещества кальция с учетом п. 4.7.2.1.1.

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

4.7.2.2.2. Масса кальция

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

4.7.2.2.3. Массовая доля кальция с учетом п. 4.1.3.

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

4.7.3. Расчёт серы

4.7.3.1. Расчет оксида серы

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

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

4.7.3.1.2. Масса оксида серы

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

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

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

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

4.7.3.2. Расчет серы

4.7.3.2.1. Количество вещества серы с учетом п. 4.7.3.1.1.

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

4.7.3.2.2. Масса серы

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

4.7.3.2.3. Массовая доля серы с учетом п. 4.1.3.

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

4.8. Расчёт водорода

4.8.1. Расчет воды

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

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\Sigma} = n_{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} + n_{3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}} + 2 \cdot n_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} + 2 \cdot n_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{H}_2\text{O}} =$$

$$= 0,214 + 0,095 + 2 \cdot 0,053 + 2 \cdot 0,17 + 0,1 = 0,855 \text{ Ммоль.}$$

4.8.1.2. Масса воды

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\Sigma} = n_{\text{H}_2\text{O}}^{\Sigma} \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} = 0,855 \cdot 10^6 \cdot 18 = 15,39 \cdot 10^6 \text{ г} = 15,39 \text{ т};$$

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

4.8.1.3. Массовая доля воды с учетом п. 4.1.3.

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

4.8.2. Расчет водорода

4.8.2.1. Количество вещества водорода с учетом п. 4.8.1.1.

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

4.8.2.2. Масса водорода

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

4.8.2.3. Массовая доля водорода с учетом п. 4.1.3.

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

4.9. Расчёт кислорода

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

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

4.9.2. Масса кислорода

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

4.9.3. Массовая доля кислорода с учетом п. 4.1.3.

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

4.10. Расчет углерода

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

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

4.10.2. Массовая доля углерода с учетом п. 4.1.3.

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

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

4.11.1. Элементный состав шихты

А) по массам элементов

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

Б) по массовым долям элементов

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

Небольшое расхождение допустимо и связано с точностью вычислений.

4.11.2. Вещественный (в пересчете на оксиды) состав шихты

А) по массам веществ

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

Б) по массовым долям веществ

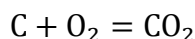
$$\omega_{\text{руд.}} = \omega_{NiO} + \omega_{Fe_2O_3} + \omega_{MgO} + \omega_{Al_2O_3} + \omega_{SiO_2}^{\Sigma} + \omega_{CaO} + \omega_{SO_3} + \omega_{H_2O}^{\Sigma} + \omega_C =$$
$$= 1,85 + 24,82 + 8,26 + 3,92 + 26,78 + 6,90 + 9,86 + 11,15 + 5,80 = 99,34 \%$$

Небольшое расхождение допустимо и связано с точностью вычислений.

5. Уравнения реакций

5.1. Реакции создания восстановительной атмосферы – образование СО

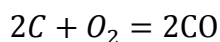
5.1.1. Сгорание углерода до углекислого газа



баланс электронов

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

5.1.2. Сгорание углерода до угарного газа



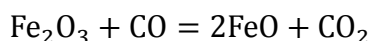
баланс электронов

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

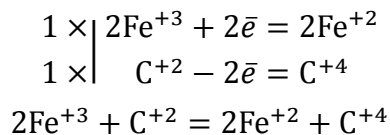
5.2. Реакции с угарным газом

5.2.1. Восстановление бурого железняка

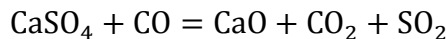
Угарным газом восстанавливают бурый железняк до двухвалентного железа; восстановления никеля и железа до металла на этом этапе не допускают.



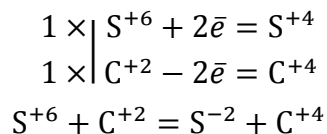
баланс электронов



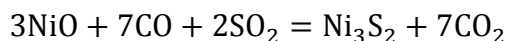
5.2.2. Восстановление сульфата кальция



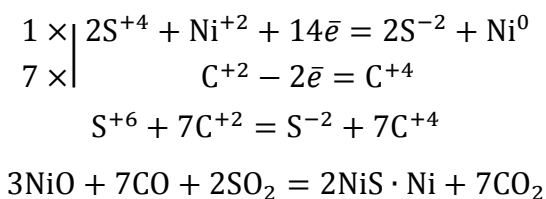
баланс электронов



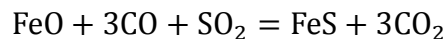
5.2.3. Сульфидизация оксида никеля



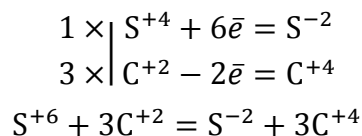
баланс электронов



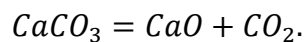
5.2.4. Сульфидизация оксида железа



баланс электронов



5.4. Разложение известняка



6. Расчёт самоплавкого шлака

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

6.1. Расчёт никеля

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

$$n_{Ni}^{шл.} = \frac{(100 - E_{Ni}^{шт.})}{100} \cdot n_{Ni} = \frac{(100 - 85)}{100} \cdot 0,034 = 5,1 \text{ кмоль};$$

$$m_{Ni}^{шл.} = n_{Ni}^{шл.} \cdot M_{Ni} = 5,1 \cdot 10^3 \cdot 59 = 0,30 \cdot 10^6 \text{ г} = 0,30 \text{ т.}$$

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

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

$$m_{NiO}^{шл.} = n_{NiO}^{шл.} \cdot M_{NiO} = 5,1 \cdot 10^3 \cdot 75 = 0,383 \cdot 10^6 \text{ г} = 0,383 \text{ т.}$$

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

6.2. Расчёт железа

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

$$n_{Fe}^{шл.} = \frac{(100 - E_{Fe}^{шт.})}{100} \cdot n_{Fe} = \frac{(100 - 19)}{100} \cdot 0,428 = 0,347 \text{ Ммоль;}$$

$$m_{Fe}^{шл.} = n_{Fe}^{шл.} \cdot M_{Fe} = 0,347 \cdot 10^6 \cdot 56 = 19,432 \cdot 10^6 \text{ г} = 19,432 \text{ т.}$$

6.2.2. Формула оксида железа

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

$$n_O^{Fe-Ni} = \frac{m_O^{Fe-Ni}}{M_O} = \frac{5,633 \cdot 10^6}{16} = 0,352 \cdot 10^6 \text{ моль} = 0,352 \text{ Ммоль.}$$

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

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

6.2.2.3 Соотношение количества вещества кислорода и железа

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

6.2.2.4 Формула оксида железа: FeO .

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

$$n_{FeO}^{шл.} = n_{Fe}^{шл.} = 0,347 \text{ Ммоль;}$$

$$m_{FeO}^{шл.} = n_{FeO}^{шл.} \cdot M_{FeO} = 0,347 \cdot 10^6 \cdot 72 = 24,984 \cdot 10^6 \text{ г} = 24,984 \text{ т.}$$

$$M_{FeO} = M_{Fe} + M_O = 56 + 16 = 72 \text{ г/моль.}$$

6.3. Остальные компоненты шихты

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

$$m_{MgO} = 11,40 \text{ т;}$$

$$m_{Al_2O_3} = 5,406 \text{ т;}$$

$$m_{CaO} = 9,52 \text{ т;}$$

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

6.4. Масса шлака

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

$$m_{шл.} = m_{NiO}^{шл.} + m_{FeO}^{шл.} + m_{MgO} + m_{Al_2O_3} + m_{CaO} + m_{SiO_2}^{\Sigma} =$$

$$0,383 + 24,984 + 11,40 + 5,406 + 9,52 + 36,96 = 88,653 \text{ т.}$$

6.5. Состав шлака

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

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

$$\omega_{MgO}^{шл.} = \frac{m_{MgO}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100 \% = \frac{11,40}{88,653} \cdot 100 = 12,86 \%;$$

$$\omega_{Al_2O_3}^{шл.} = \frac{m_{Al_2O_3}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100 \% = \frac{5,406}{88,653} \cdot 100 = 6,10 \%;$$

$$\omega_{CaO}^{шл.} = \frac{m_{CaO}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100 \% = \frac{9,52}{88,653} \cdot 100 = 10,74 \%;$$

$$\omega_{SiO_2}^{шл.} = \frac{m_{SiO_2}^{шл.}}{m_{шл.}} \cdot 100 \% = \frac{36,96}{88,653} \cdot 100 = 41,69 \%.$$

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

7. Расчёт флюсовой добавки

7.1. Масса шлака с составом по ТУ:

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

7.2. Масса оксида кремния в шлаке по ТУ:

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

7.3. Масса оксида кальция в шлаке по ТУ:

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

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

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

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

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

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

Отсюда

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

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

Тогда

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

Получаем

$$0,36 \cdot m_{\text{шл.ту}} = 42,17$$

$$m_{\text{шл.ту}} = 117,14 \text{ т.}$$

7.5. Масса флюсовой добавки кварца

$$m_{\text{SiO}_2}^{\Phi} = 0,46 \cdot m_{\text{шл.ту}} - 36,96$$

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

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

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

$$m_{\text{CaO}}^{\Phi} = 11,57 \text{ т;}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ответ

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

ЭЛЕМЕНТ	$\omega, \%$	$m, \text{т}$	вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
Ni	1,46	2,01	NiO	2,55	1,85
Fe	17,37	23,97	Fe_2O_3	34,24	24,82
Mg	4,96	6,84	MgO	11,40	8,26
Al	2,07	2,86	Al_2O_3	5,41	3,92
Si	12,50	17,25	SiO_2	36,96	26,78
Ca	4,93	6,80	CaO	9,52	6,90
S	3,94	5,44	SO_3	13,60	9,86
H	1,24	1,71	H_2O	15,39	11,15
O	45,10	62,24			
C	5,8	8	C	8	5,8
Итого:	99,37	137,12	Итого:	137,07	99,34

2) Вещественный состав самоплавкого шлака

вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
NiO	0,38	0,43
FeO	24,98	28,18
MgO	11,40	12,86
Al_2O_3	5,41	6,10
CaO	9,52	10,74
SiO_2	36,96	41,69
Итого:	88,65	100

3) Массы флюсовых добавок и уточненный вещественный состав шлака

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

$$m_{CaCO_3} = 20,66 \text{ т.}$$

вещество	$m, \text{т}$	$\omega, \%$
NiO	0,38	0,33
FeO	24,98	21,33
MgO	11,40	9,73
Al_2O_3	5,41	4,61
CaO	21,09	18,00
SiO_2	53,89	46,00
Итого:	117,15	100

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.