



Многопрофильная инженерная олимпиада «Звезда» «Химическая технология»

9-10 класс

Заключительный этап

2022-2023

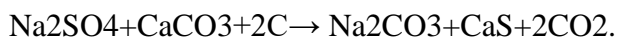
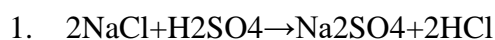
Задания, ответы и критерии оценивания

Задание 1

Фабричное производство соды (карбоната натрия) возникло в конце 18-го века и осуществлялось по методу Николая Леблана в два этапа: на первом этапе получали сульфат натрия смешиванием хлорида натрия с серной кислотой при высокой температуре (800-900°С) в специальных печах; на втором этапе сульфат натрия прокачивали в смеси с измельчённым мелом (или известняком) и углем, при этом протекала окислительно-восстановительная реакция.

1. Записать химические уравнения описанных процессов.
2. Определить количество морской воды с массовой долей хлорида натрия 3,5% и 96% раствора серной кислоты для получения 100 кг сульфата натрия. Какой объем газообразного продукта при этом выделиться (при пересчёте на н.у.)? Назовите этот продукт.
3. Определить количество известняка с содержанием примесей 3% и количество угля с содержанием углерода 91% и содержанием минеральных примесей 4,5% необходимых для спекания с 100 кг сульфата натрия при получении соды.
4. Указать на очевидные недостатки этого технологического процесса.

Решение



2. Количество 3,5% раствора хлорида натрия: $100 \cdot 2 \cdot \frac{58,443}{142,04} \cdot \frac{100}{3,5} = 82,29$ кг, где 58,443 и 142,04 – молярные массы хлорида натрия и сульфата натрия, соответственно. Количество 96% серной кислоты: $100 \cdot \frac{98,07}{142,04} \cdot \frac{100}{96} = 71,921$ кг, где 98,07 - молярная масса серной кислоты.

Объём хлороводорода при н.у.: $100 \cdot 2 \cdot \frac{22,4}{142,04} = 31,54$ м³.

3. Количество известняка: $100 \cdot \frac{140,008}{142,04} \cdot \frac{1}{0,97} = 101,618$ кг, где 140,008 - молярная масса карбоната кальция. Количество углерода: $100 \cdot 2 \cdot \frac{12,011}{142,04} \cdot \frac{1}{0,91} \cdot \frac{1}{0,955} = 19,461$ кг.

4. Процесс Леблана происходит при высоких температурах и требует больших энергозатрат.

Критерии оценивания

Часть задания	Количество баллов	Примечание
Химические уравнения получения соды по методу Леблана	5	Округление молярных масс не считать ошибкой
Определение количества растворов хлорида натрия, серной кислоты, объём хлороводорода на первой стадии процесса	5	
Определение количества известняка и углерода на второй стадии процесса	5	
Недостатки процесса Леблана	5	
Всего	20	

Задание 2

С 1861 по 1872 год инженер-химик и предприниматель Эрнест Гастон Сольве запатентовал более эффективный аммиачный метод производства соды, который в основе своей используется и в настоящее время.

Сырьем для производства соды по данному методу также является хлорид натрия, который используется в виде раствора. На первой стадии (стадии абсорбции) данный раствор в колонном аппарате насыщается газообразным реагентом А. Затем на второй стадии (стадии карбонизации) полученный на абсорбционной стадии рассол насыщается газообразным реагентом В. Продуктом второй стадии является раствор двух солей С и D. Соль С выпадает в осадок. Далее она отфильтровывается, промывается и прокаливается (кальцинируется). При этом в процессе кальцинации кроме С образуется реагент В, который возвращается в процесс карбонизации. Маточный раствор после фильтрации, содержащий соль D, обрабатывается реагентом Н в результате чего образуется реагент А, используемый на стадии абсорбции. Реагент Н получается при взаимодействии Е с водой. А Е, в свою очередь образуется в результате прокаливании F. Где Е – второй продукт, образующийся в процессе получения реагента вещества В из вещества F.

1. Определить вещества А, В, С, D, Е, Н, F.
2. Записать уравнения следующих химических реакций:
 - 1) реакцию, происходящую на стадии абсорбции и карбонизации (одним уравнением);
 - 2) реакции прокаливании реагента С;
 - 3) реакцию обработки маточного раствора, содержащего D, реагентом Н;
 - 4) реакцию получения реагента Н при взаимодействии вещества Е с водой;
 - 5) уравнение получения реагента В и Е из вещества F при прокаливании.
3. Указать очевидное достоинство аммиачного метода получения соды по сравнению с методом Леблана, описанным в задаче 1.

Решение

Раствор хлорида натрия в абсорбционной колонне насыщается аммиаком (метод аммиачный), а затем во второй колонне раствор насыщается углекислым газом (колонна карбонизации). При этом может происходить только реакция ионного обмена с образовавшимися карбонатами и ионами аммония:

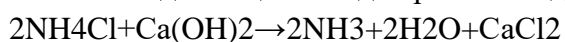
$\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NH}_3 + 2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{NaHCO}_3 + 2\text{NH}_4\text{Cl}$, где реагент А – аммиак, реагент В – углекислый газ, продукт С – гидрокарбонат натрия, продукт D – хлорид аммония.

Гидрокарбонат натрия (С) выпадает в осадок в его пересыщенном растворе, фильтруется и кальцинируется. Уравнение кальцинации имеет вид:



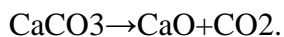
При этом образуется в соответствии с описанием вещество В – CO_2 , которое возвращается в колонну карбонизации.

Маточный раствор после фильтрации, содержащий продукт D – хлорид аммония, обрабатывается раствором основания, поскольку в этом процессе восстанавливается реагент А – аммиак. Поскольку в процессе используется углекислый газ, то можно предположить, что он получается разложением карбоната кальция, при котором образуется также оксид кальция. Тогда при взаимодействии с водой он даст $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – реагент Н:



Раствор гидроксида кальция получают при взаимодействии оксида кальция – вещества Е, с водой: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$.

Вещество Е - оксид кальция, и вещество В - углекислый газ, получают терморазложением карбоната кальция (известняка, мела):



Критерии оценивания

Часть задания	Количество баллов	Примечание
Определение веществ А, В, С, D, Е, Н	14	
Уравнения реакций	5	
Достоинства метода Сольве	1	
Всего	20	

Задание 3

1. Каково содержание СаО в извести (в %), если известняк содержал 95% СаСО₃, 1% влаги и 4% прочих не изменяющихся при обжиге примесей, при степени разложения, равной 97%?

2. При обжиге известняка образуется твёрдый продукт, состав которого характеризуется следующими данными анализа, % массовые: содержание СаО – 93, СО₂ – 2,2. Содержание карбоната кальция в исходном сырье 91%.

Определить расход известняка на одну тонну целевого продукта – оксида кальция, выход углекислого газа и степень превращения карбоната кальция.

Решение

1. Для удобства расчет ведём на 100 кг сырья для получения извести – известняка.

Продукт (известь) будет состоять из оксида кальция, примесей, которые не изменяются при отжиге, и карбоната кальция, который остался вследствие неполного разложения карбоната. Рассчитаем количество каждого компонента извести.

С учетом того, что молярная масса оксида кальция 56 кг/кмоль, а карбоната кальция 100 кг/кмоль, масса оксида кальция, полученного из 100 кг сырья, содержащего 95% СаСО₃ с учетом степени разложения 97 % составит: $100 \cdot 0,95 \cdot 0,97 \cdot 56 / 100 = 51,604$ кг.

Масса карбоната кальция в составе извести равна $100 \cdot 0,95 \cdot 0,03 = 2,85$ кг.

Масса примесей, не изменяющихся при обжиге равна $100 \cdot 0,04 = 4$ кг.

Масса всей извести $51,604 + 2,85 + 4 = 58,454$ кг.

Содержание оксида кальция в извести: $51,604 / 58,454 = 0,883$ или 88,3%.

2. Для определения расходного коэффициента – массы известняка, необходимой для получения одной тонны извести, необходимо определить количество карбоната кальция, превратившееся в оксид кальция –

$$1000 \cdot 0,93 \cdot (M_{\text{CaCO}_3} / M_{\text{CaO}}) = 1000 \cdot 0,93 \cdot 100 / 56 = 1660,714 \text{ кг,}$$

а также количество карбоната кальция, оставшееся неразложившимся:

$$1000 \cdot 0,022 \cdot \frac{M_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{CO}_2}} = 1000 \cdot 0,022 \cdot \frac{100}{44} = 50 \text{ кг.}$$

Тогда общее количество карбоната кальция составит 1710,714 кг. А количество известняка с учетом его состава, необходимое для получения одной тонны извести (расходный коэффициент), равно

$$1710,714 / 0,91 = 1879,906 \approx 1880 \text{ кг.}$$

Степень превращения карбоната кальция в процессе получения извести равно отношению превращенного карбоната к его исходному содержанию:

$$1660,714 / 1710,714 = 0,97 \text{ или } 97\%.$$

Выход углекислого газа в молях равен количеству моль образовавшегося оксида кальция. Тогда объем выделившегося газа равен

$$1000 \cdot 0,93 \cdot \frac{22,4}{M_{CaO}} = 1000 \cdot 0,93 \cdot \frac{22,4}{56} = 372 \text{ м}^3.$$

Критерии оценивания

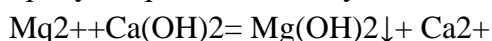
Часть задания	Количество баллов	Примечание
Определение содержания оксида кальция в извести	5	Округление молярных масс не считать ошибкой
Определение расхода известняка на тонну продукта	5	
Определение степени превращения карбоната кальция	5	
Определение объёма углекислого газа	5	
Всего	20	

Задача 4

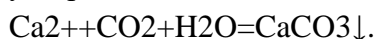
Сырьевой рассол хлорида натрия для получения соды содержит примеси ионов кальция и магния. Предложите способ очистки рассола от этих ионов. Какие вещества можно предложить в качестве сырья для этого процесса? Предложите варианты использования соединений магния и кальция как вторичных продуктов. Запишите уравнения химических реакций, протекающих при этом. Покажите последовательность процессов, реализующих предложенный способ, с помощью блок-схемы.

Решение

Катионы магния и кальция удаляют в виде нерастворимых соединений, затем отфильтровывают. Для удаления ионов магния рассол хлорида натрия обрабатывают гидроксидом кальция, который получают из оксида кальция, образующегося как вторичный продукт при выделении углекислого газа.



После отделения осадка гидроксида магния через маточный раствор барботируют оксид углерода (IV):



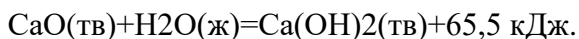
Затем карбонат кальция отфильтровывают, высушивают и возвращают в производство оксида углерода (IV).

Критерии оценивания

Часть задания	Количество баллов	Примечание
Способ очистки рассола (с химическими уравнениями)	10	Принять к рассмотрению все грамотные варианты. При отсутствии химических уравнений оценку снизить на 6 баллов. При отсутствии блок-схем оценку снизить на 1 балл.
Варианты использования соединений магния и кальция	10	
Всего	20	

Задача 5

Термохимическое уравнение гашения извести имеет вид



Какое количество тепла выделится при гашении 100 кг извести?

Сколько воды потребуется для растворения гидроксида кальция при 100° С, если его растворимость при этой температуре равна 0,185 г/100г воды?

Решение

1. Количество тепла, которое выделяется при протекании реакции пропорционально количеству моль прореагировавшего оксида кальция. Принимаем, что известь на 100% состоит из оксида кальция (ввиду отсутствия данных о примесях в извести). Тогда количество теплоты равно

$$\frac{100}{56} \cdot 1000 \cdot 65,5 = \mathbf{116964,286 \text{ кДж.}}$$

2. Необходимое количество воды для растворения гидроксида кальция при 100°С равно

$$\frac{100 \cdot 1000 \cdot 100}{0,185 \cdot 1000} = 54054,054 \text{ кг.}$$

Принимая плотность воды 1 кг/л определим её объём: 54054,054 л или 54,054 м³.

Критерии оценивания

Часть задания	Количество баллов	Примечание
Определение количества выделившейся теплоты	10	Округление молярных масс не считать ошибкой
Определение количества воды для растворения	10	
Всего	20	