

Большая олимпиада Росхим по химии и химической технологии

2024-2025 учебный год
Решения заключительного этапа
10 класс

Задача 1. Метод Сольве

1. Минимальная масса мешка с учётом погрешности равна

$$m_{\min} = m_{\text{мешка}} \cdot (1 - \omega_{\text{погреш.}}) = 50 \cdot (1 - 0,02) = 49 \text{ кг}$$

С учётом максимальных потерь после прокаливания:

$$m_{\text{остатка}} = m_{\min} \cdot (1 - \omega_{\text{потерь}}) = 49 \cdot (1 - 0,015) = 48,3 \text{ кг}$$

Формула кальцинированной соды — Na_2CO_3

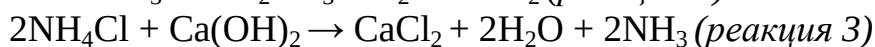
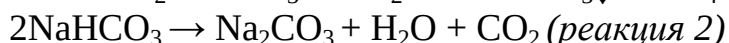
2. Из двух молей NaCl можно теоретически синтезировать 1 моль Na_2CO_3 (в расчёте на атомы натрия).

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{50000}{(23 \cdot 2 + 12 + 16 \cdot 3)} \approx 471,7 \text{ моль}$$

$$n(\text{NaCl}) = 2 \cdot n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 943,4 \text{ моль}$$

$$m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \cdot M(\text{NaCl}) = 943,4 \cdot (23 + 35,5) = 55189 \text{ г} \approx 55,2 \text{ кг}$$

3. Уравнения реакции 1-3:



Основной побочный продукт процесса — CaCl_2 , что видно из схемы и реакций процесса.

4. Количество часов в 2024 году равно

$$N = 366 \cdot 24 = 8784 \text{ ч.}$$

Производительность завода за час:

$$P = \frac{m(\text{год})}{N} = \frac{625,4 \cdot 1000}{8784} \approx 71,2 \frac{\text{тонн}}{\text{час}}$$

Примечание: расчёт без учёта високосности 2024 года оценивается полным баллом, производительность в час в таком случае будет равна 71,4 тонн/час.

5. В п. 2 было рассчитано, что на производство 50 кг кальцинированной соды теоретически расходуется 55,2 кг хлорида натрия.

Тогда из свойства пропорции при введении в производство 1,6 тонн NaCl должно теоретически получиться $\frac{50}{55,2} \cdot 1,6 = 1,449$ тонн. В реальности же завод произвел из этой массы 1 тонну, а значит:

$$\omega = \frac{m(\text{практ.})}{m(\text{теор.})} \cdot 100\% = \frac{1}{1,449} \cdot 100\% = 69\%$$

6. Массу NaCl можно легко посчитать из пропорции:

На 1 тонну Na_2CO_3 израсходуется 1,6 тонн NaCl

На 625,4 тысяч тонн Na_2CO_3 израсходуется x тонн NaCl

$$x = \frac{625400 \cdot 1,6}{1} = 100064 \text{ тонн} = 1001 \text{ тысяч тонн}$$

В теории для синтеза 1 моль Na_2CO_3 нам понадобится 1 моль CaCO_3 , однако с учетом выхода в 72 % на практике необходимо будет $\frac{1}{0,72} \approx 1,39$ моль.

Количество моль кальцинированной соды за год равно

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{625400000000}{(23 \cdot 2 + 12 + 16 \cdot 3)} \approx 5,9 \cdot 10^9 \text{ моль}$$

Соответственно количество моль известняка равно:

$$m(\text{CaCO}_3) = n(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3) = 5,9 \cdot 10^9 \cdot 100 \cdot 1,39 = 8,2 \cdot 10^{11} \text{ г} = 820 \text{ тысяч тонн}$$

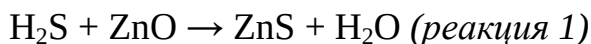
Система оценивания:

- | | |
|--|----------|
| 1. Минимальная масса мешка 1 балл | 3 балла |
| Минимальная масса остатка 1 балл | |
| Формула кальцинированной соды 1 балл | |
| 2. Расчёт массы Na_2CO_3 | 2 балла |
| 3. Уравнения реакций 1-3 по 1 баллу | 5 баллов |
| Указание на CaCl_2 2 балла | |
| 4. Расчёт производительности | 2 балла |
| 5. Расчёт выхода | 3 балла |
| 6. Расчёт массы NaCl 2 балла | 5 баллов |
| Расчёт массы CaCO_3 3 балла | |

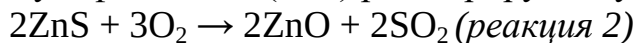
ИТОГО 20 баллов

Задача 2. Аммиак

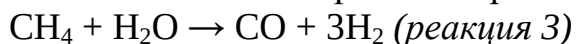
1. В начале, природный газ очищают от сероводорода (H_2S) с помощью оксида цинка (ZnO) с образованием **A** — ZnS .



Сульфид цинка (ZnS) регенерируют путем отжига в атмосфере воздуха.



Метан (CH_4) реагирует с водяным паром (H_2O) в шахтном реакторе, образуя смесь газов **Б** и **В**. Уравнение реакции:



Газ Б — это водород (H_2), который необходим для синтеза аммиака;

Газ В — это угарный газ (CO), который является опасным побочным продуктом.

2. Объем H_2S в 1 м^3 газа: $V(\text{H}_2\text{S}) = 1000 \cdot 0,026 = 26 \text{ л}$

При нормальных условиях 1 моль газа занимает $V_m = 22,4 \text{ л}$.

Количество сероводорода H_2S равно

$$n(\text{H}_2\text{S}) = \frac{V(\text{H}_2\text{S})}{V_m} = \frac{26}{22,4} = 1,16 \text{ моль.}$$

Согласно уравнению реакции 1 $n(\text{H}_2\text{S}) = n(\text{ZnO}) = 1,16 \text{ моль}$.

$$m(\text{ZnO}) = n(\text{ZnO}) \cdot M(\text{ZnO}) = 1,16 \cdot 81,38 = 94,46 \text{ г}$$

Для очистки 1 м^3 природного газа расходуется **94,46 г ZnO**.

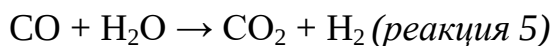
Объем газа за сутки: $V_{\text{день}} = 330 \cdot 24 = 7920 \text{ м}^3$, масса ZnO за день:

$$m_{\text{день}}(\text{ZnO}) = V_{\text{день}} \cdot 94,46 = 7920 \cdot 94,46 = 748123,2 \text{ г} = \mathbf{748 \text{ кг.}}$$

3. Согласно реакции 3 из 1 моль CH_4 образуется 1 моль CO и 3 моля H_2 . Воздух содержит около 78 % азота и 21 % кислорода по объёму, 1 % — инертные газы. Обозначим количество моль воздуха за неизвестную x , тогда количество азота равно $n(\text{N}_2) = 0,78x$, а кислорода $n(\text{O}_2) = 0,21x$.



Согласно реакции 4 окисления угарного газа: $0,21x$ моль O_2 прореагирует с $0,42x$ моль CO , остаток CO составит $(1 - 0,42x)$ моль.



Согласно реакции 5 оставшийся угарный газ в количестве $(1 - 0,42x)$ моль прореагирует с водой с образованием $(1 - 0,42x)$ молей H_2 . Тогда общее количество водорода равно

$$n(\text{H}_2) = 3 + (1 - 0,42x) = 4 - 0,42x$$

Соотношение количества водорода к азоту равно $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{N}_2)} = \frac{4 - 0,42x}{0,78x} = 3$, откуда

$$x = \frac{4}{2,76} \text{ моль} = 1,45 \text{ моль.}$$

Полным баллом оценивается расчёт с использованием состава воздуха от $V(\text{N}_2):V(\text{O}_2) = 80:20$ до $78:22$.

4. Реакция синтеза аммиака: $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ (реакция б)

а) увеличение давления:

Реагенты: 1 моль (N_2) + 3 моль (H_2) = 4 моль газа;

Продукты: 2 моль NH_3 ;

В реакции образования аммиака количество молей газа уменьшается. Согласно принципу Ле-Шателье увеличение давления смещает равновесие в сторону уменьшения количества газа, то есть **в сторону образования продуктов** (NH_3).

б) Так как теплота реакции образования аммиака больше 0, то в данной реакции выделяется тепло. Увеличение температуры эквивалентно добавлению тепла в систему. Согласно принципу Ле-Шателье равновесие сместится в сторону поглощения тепла, то есть **в сторону образования реагентов** (N_2 и H_2).

Система оценивания:

- | | |
|--|----------|
| 1. Формулы соединений А-В по 1 баллу | 6 баллов |
| Уравнения реакций 1-3 по 1 баллу | |
| 2. Расчёт массы ZnO 2 балла | 4 балла |
| Расчёт массы ZnO за день 2 балла | |
| 3. Формула соединения Г 1 балл | 6 баллов |
| Уравнения реакций 4-5 по 1 баллу | |
| Расчёт моль воздуха 3 балла | |
| 4. Уравнение реакции б 1 балл | 4 балла |
| Вывод о направлении реакции в пунктах а-б по 1,5 балла | |

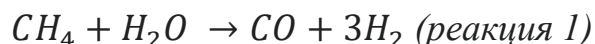
ИТОГО 20 баллов

Задача 3. Полимеры

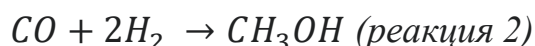
1. Рассчитаем ММ **А**, исходя из плотности его паров по неону:

$$M_A = 20 \cdot 1,6 = 32 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

Зная, что ПГ в основном содержит метан CH_4 , напомним уравнение реакции обработки метана водяным паром:

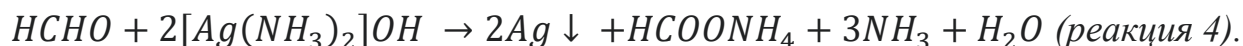


Полученную смесь газов еще называют «синтез – газ»; исходя из описания и молекулярной массы можно сделать вывод, что соединение **А** – CH_3OH . Тогда уравнение реакции 2:



2. Начнем с анализа условия: вещество **Б** вступает в реакцию «серебряного зеркала», что говорит о наличии в нем альдегидной ($-\text{CHO}$) группы; также известно, что **Б** получают окислением метанола (**А**) кислородом воздуха – исходя из этих условий можно сделать вывод, что веществом **Б** является формальдегид (HCHO).

Напомним уравнение реакций 3 и 4:



Реакция в следующем виде оценивается в 0,5 балла:



3. Рассчитаем ММ газов, из которых получают Г:

$$M_1 = \frac{M_{\text{возд}}}{1,706} = \frac{29}{1,706} = 17 \frac{\text{г}}{\text{моль}};$$

$$M_2 = M_{\text{возд}} \cdot 1,517 = 29 \cdot 1,517 = 44 \frac{\text{г}}{\text{моль}},$$

Где $M_{\text{возд}}$ – молярная масса воздуха, $29 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$. По полученным ММ видно, что описанные газы – это аммиак (NH_3) и углекислый газ (CO_2); суммируя это с фактом о том, что вещество **Г** впервые выделили из мочи, можно сделать вывод о том, что **Г** – мочевины ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$). Теперь, зная все компоненты раствора **В**, а также массовую долю формальдегида (**Б**) в нем, рассчитаем коэффициенты x , y и z в формуле **В** – $x\text{Б} \cdot y\text{Г} \cdot z\text{H}_2\text{O}$. Так как коэффициенты не имеют абсолютного значения, а нам важно лишь их соотношение, то пусть $y = 1$. Массовая доля кислорода тогда равна

$$\omega(\text{O}) = \frac{16 \cdot (x + y + z)}{x \cdot M(\text{Б}) + y \cdot M(\text{Г}) + z \cdot M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{16 \cdot (x + 1 + z)}{x \cdot 30 + 60 + z \cdot 18} = 0,52$$

Массовая доля Б равна

$$\omega(\text{Б}) = \frac{x \cdot M(\text{Б})}{x \cdot M(\text{Б}) + y \cdot M(\text{Г}) + z \cdot M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{x \cdot 30}{x \cdot 30 + 60 + z \cdot 18} = 0,60$$

Откуда выходит система уравнений

$$16 \cdot (x + 1 + z) = 15,6 \cdot x + 31,2 + 9,36 \cdot z$$

$$x \cdot 30 = 18 \cdot x + 36 + 10,8 \cdot z$$

Упрощая, получаем

$$0,4 \cdot x + 6,64 \cdot z = 15,2$$

$$12 \cdot x - 10,8 \cdot z = 36$$

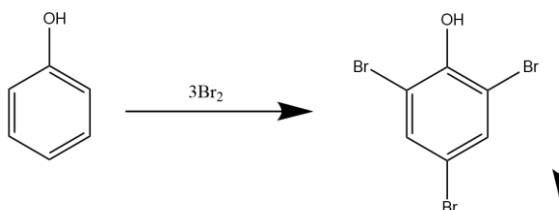
Решая систему уравнений $x = 4,8$, а $z = 2$. **В** — $4,8\text{CH}_2\text{O} \cdot (\text{NH}_2)_2\text{CO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Растворы данного типа называются — карбамидоформальдегидными концентратами (КФК) и имеют разную маркировку в зависимости от состава. Приведённый состав наиболее распространённый — КФК-85. Массовая доля воды в нём составляет 15 %.

4. Рассчитаем ММ вещества **Е**: очевидно, что белый осадок, выпадающий при взаимодействии некого газа с раствором гашеной извести — карбонат кальция, следовательно, выделившийся газ — CO_2 . Отсюда можем найти количество осадка и вещества **Е**, а затем — его ММ:

$$n_{\text{CaCO}_3} = n_{\text{Е}} = \frac{15}{100} = 0,15 \text{ моль};$$

$$M_{\text{Е}} = \frac{2,35}{0,15} \cdot n = 15,67n \frac{\text{г}}{\text{моль}},$$

Где n — число атомов углерода в **Е**. При $n=6$ молярная масса соответствует 94 г/моль — фенолу (**Е** - $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$); в подтверждение этому можно выделить тот факт, что при его взаимодействии с бромной водой выпадает осадок 1,3,5-трибромфенола белого цвета:

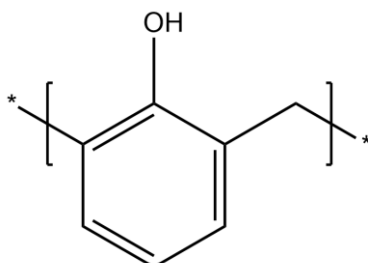


Теперь, зная вещества **Б** и **Е**, рассчитаем элементарное звено вещества **Д**: по условию становится понятно, что происходит реакция поликонденсации, при которой в продуктах реакции наблюдаются низкомолекулярные продукты — например, вода; это значит, что в итоговой молекуле атом кислорода остается только в виде -ОН групп из молекул фенола, а кислород формальдегида уходит с водой.

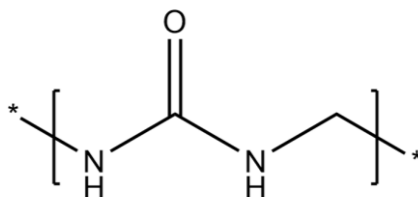
В таком случае рассчитаем ММ Д при том условии, что кол-во атомов кислорода в его элементарном звене равно 1:

$$M_E = \frac{16}{0,1509} = 106 \frac{г}{моль},$$

Что соответствует элементарному звену, содержащему 1 молекулу фенола и одну группу CH₂:



Проанализируем данные о веществе **Ж**: по условию, оно относится к тому же типу веществ, что и Д, однако вместо фенола в качестве основной молекулы используется мочевины (Г); механизм образования **Ж** подобен Д:



5. Начнем с анализа графика «ММ – время»: ММ, равная 8000 достигается **за ~ 27 минут** (± 3 минуты); теперь проанализируем графики «ММ/Выход – Температура»: ММ, равная 8000 достигается уже при **100 °С**, что соответствует выходу **~ 95%**. Ответ в диапазоне 100-110 °С оценивается также полным баллом. Эти параметры являются наиболее оптимальными, так как при более низкой температуре, выход реакции значительно снижается, что сильно влияет на эффективность и экономику процесса.

Система оценивания:

- | | |
|--|-----------------|
| 1. Структурная формула А 1 балл
Уравнения реакций 1-2 по 1 баллу | 3 балла |
| 2. Структурная формула Б 1 балл
Уравнения реакций 3-4 по 1 баллу | 3 балла |
| 3. Формула вещества Г 2 балла
Формула раствора В 2 балла | 4 балла |
| 4. Структурная формула Д-Ж по 2 балла | 6 баллов |
| 5. Время протекания и температура по 2 балла | 4 балла |

ИТОГО 20 баллов

Задача 4. Сульфат, выпадай

1. Вычислим массу раствора в озере Селитряное

$$m(\text{рапы}) = V\rho = 40,0 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \cdot 1270 \text{ кг/м}^3 = 5,08 \cdot 10^{10} \text{ кг}$$

Масса сульфата натрия соответственно равна

$$\begin{aligned} m(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{в озере}} &= m(\text{рапы}) \cdot \omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 5,08 \cdot 10^{10} \cdot 0,0556 = \\ &= 2,83 \cdot 10^9 \text{ кг} \end{aligned}$$

2. Найдём объём воды в озере после испарения:

$$V(\text{H}_2\text{O})_{\text{после испарения}} = 40 \cdot (1 - 0,5) = 20 \text{ млн м}^3$$

Масса сульфата натрия в растворе равна произведению объёма воды на растворимость сульфата натрия

$$\begin{aligned} m(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{после испарения}} &= V(\text{H}_2\text{O})_{\text{после испарения}} \cdot S(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \\ &= 20 \cdot 10^9 \text{ л} \cdot \frac{4,5 \text{ г}}{0,1 \text{ л}} = 9 \cdot 10^8 \text{ кг} \end{aligned}$$

3. Масса выпавшего сульфата натрия равна

$$\begin{aligned} m(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{выпавший}} &= m(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{в озере}} - m(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{после испарения}} = \\ &= 2,83 \cdot 10^9 \text{ кг} - 0,9 \cdot 10^9 \text{ кг} = 1,93 \cdot 10^9 \text{ кг} \end{aligned}$$

Тогда масса соответствующего ему мирабилита равна

$$\begin{aligned} m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) &= \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{выпавший}} \cdot M(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O})}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4)} = \\ &= \frac{1,93 \cdot 10^9 \text{ кг} \cdot 322 \text{ г/моль}}{142 \text{ г/моль}} = 4,38 \cdot 10^9 \text{ кг} \end{aligned}$$

Выход с 1 м³ объёма озера равен

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O})_{\text{с 1 м}^3} = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O})}{V(\text{озера})} = \frac{4,38 \cdot 10^9}{40,0 \cdot 10^6} = 109,5 \text{ кг}$$

4. Масса 1 м³ объёма озера равна

$$m(\text{рапы}) = V\rho = 1 \text{ м}^3 \cdot 1270 \text{ кг/м}^3 = 1270 \text{ кг}$$

Найдём массы хлоридов:

$$m(\text{NaCl})_1 = m(\text{рапы}) \cdot \omega(\text{NaCl}) = 1270 \text{ кг} \cdot 0,1468 = 186,5 \text{ кг}$$

$$m(\text{MgCl}_2)_1 = m(\text{рапы}) \cdot \omega(\text{MgCl}_2) = 1270 \text{ кг} \cdot 0,0460 = 58,4 \text{ кг}$$

Объём воды, оставшийся после усыхания: $V(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ м}^3 \cdot (1 - 0,5) = 0,5 \text{ м}^3$

Найдём массы хлоридов в насыщенном растворе объёма 0,5 м³:

$$m(\text{NaCl})_2 = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot S(\text{NaCl}) = 500 \text{ л} \cdot \frac{36,5 \text{ г}}{0,1 \text{ л}} = 182,5 \text{ кг}$$

$$m(\text{MgCl}_2)_2 = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot S(\text{MgCl}_2) = 500 \text{ л} \cdot \frac{52,9 \text{ г}}{0,1 \text{ л}} = 264,5 \text{ кг}$$

Масса хлорида натрия, выпавшая в осадок:

$m(\text{NaCl})_{\text{выпавший}} = m(\text{NaCl})_1 - m(\text{NaCl})_2 = 186,5 \text{ кг} - 182,5 \text{ кг} = 4 \text{ кг}$
 Масса же хлорида магния в насыщенном растворе больше массы в растворе озера, следовательно, **MgCl₂ не выпадает в осадок.**

5. Рассчитаем массу воды в 100 г мирабилита

$$m(\text{H}_2\text{O})_{\text{в мир.}} = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \cdot 10 \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O})} = \frac{100 \cdot 10 \cdot 18}{322} = 55,9 \text{ г}$$

Так как вся вода перешла в раствор, то масса растворившегося сульфата натрия равна:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{р-р}} = m(\text{H}_2\text{O})_{\text{в мир.}} \cdot S_{32,4^\circ\text{C}}(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 55,9 \text{ г} \cdot \frac{49,7 \text{ г}}{100 \text{ г}} = 27,8 \text{ г}$$

Следовательно, масса сульфата натрия в осадке равна

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{в осадке}} = m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) - m(\text{H}_2\text{O})_{\text{в мир.}} - m(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{р-р}} = 100 - 55,9 - 27,8 = 16,3 \text{ г}$$

Выход сульфата натрия равен

$$\eta(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{в осадке}}}{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{в мирабилите}}} = \frac{16,3 \text{ г}}{100 \text{ г} - 55,9 \text{ г}} = 0,36 \text{ или } 36 \%$$

Система оценивания:

1. Расчёт массы раствора озера 2 балла	4 балла
Расчёт массы Na ₂ SO ₄ 2 балла	
2. Расчёт массы растворённого Na ₂ SO ₄	3 балла
3. Расчёт массы мирабилита 3 балла	5 баллов
Расчёт выхода мирабилита 2 балла	
4. Расчёт массы выпавшего NaCl 2 балла	4 балла
Вывод о не выпадении MgCl ₂ 2 балла	
5. Расчёт массы растворённого Na ₂ SO ₄ 2 балла	4 балла
Расчёт выхода Na ₂ SO ₄ 2 балл	
ИТОГО	20 баллов

Задача 5. Чугун.

1. В условии задачи сказано, что **А** последовательно восстанавливается газом **Б** до простого вещества **Е**. Чугун — сплав железа, следовательно, простое вещество **Е** — Fe. На первой стадии происходит неполное окисление кокса до газа **Б** — CO (угарный газ).



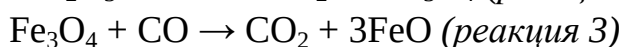
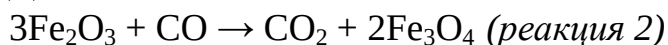
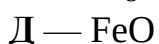
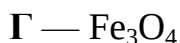
Так как, **А** содержит кислород, предположим, что **А** — неизвестный оксид железа Fe_xO_y . Найдем его формулу, используя соотношения элементов, исходя из массовых долей:

$$\omega(\text{Fe}) = 100 - \omega(\text{O}) = 100 - 30 = 70 \%;$$

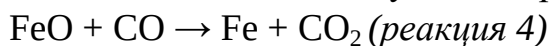
$$y : x = \frac{\omega(\text{O})}{M(\text{O})} : \frac{\omega(\text{Fe})}{M(\text{Fe})} = \frac{30}{16} : \frac{70}{56} = 1,875 : 1,25 = 1,5 : 1 = 3 : 2$$

Значит брутто-формула **А** — Fe_2O_3 .

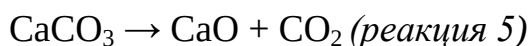
Последовательное восстановление приводит к уменьшению степени окисления железа в оксидах.



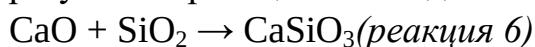
И в конечном итоге получается простое вещество — железо.



Разложение известняка идет с образованием **Ж** — CaO, **В** — CO_2 .



Соединение **З** — SiO_2 , так как кислород является первым по распространенности элементом в земной коре, а кремний вторым. В результате реакции с оксидом кальция образуется вещество **И** — CaSiO_3 .



Определим соединение **К**. Для определения формулы воспользуемся значениями массовой доли углерода. Нам уже известно, что **Е** — Fe. При его реакции с углеродом будет образовываться карбид. Найдем массовую долю железа в соединении **К**: $\omega(\text{Fe}) = 1 - \omega(\text{C}) = 1 - 0,0667 = 0,9333$

Найдем его формулу, используя соотношения элементов, исходя из массовых долей. Обозначим брутто-формулу **К** как Fe_xC_y , тогда

$$y : x = \frac{\omega(\text{Fe})}{M(\text{Fe})} : \frac{\omega(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{0,9334}{56} : \frac{0,0667}{12} = 0,01667 : 0,00556 = 3 : 1; \text{ значит брутто-формула соединения } \text{К} — \text{Fe}_3\text{C}.$$

2. Найдём массовую долю **А** и **З** в обогащенном минерале. Пусть Fe_2O_3 — 1 моль. Найдем «молярную массу» минерала:

$$M(\text{минерала}) = \frac{N(Fe) \cdot M(Fe) \cdot n(Fe_2O_3)}{\omega(Fe \text{ в минерале})} = \frac{56 \cdot 2 \cdot 1}{0,6} = 186,67 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

$$\text{Тогда } \omega(Fe_2O_3) = \frac{M(Fe_2O_3)}{M(\text{минерала})} = \frac{160}{186,67} = 0,857 \text{ или } 85,7 \%$$

$$\text{Откуда } \omega(SiO_2) = 1 - 0,857 = 0,143 \text{ или } 14,3 \%$$

Найдем сколько минерала нужно для получения чугуна. Вычислим массу железа в чугуне. $m(Fe) = \omega(Fe) \cdot m(\text{чугуна}) = 0,95 \cdot 1 = 0,95 \text{ тонн.}$

Рассчитаем массу обогащенного минерала:

$$m(\text{минерала}) = \frac{m(Fe)}{\omega(Fe \text{ в минерале})} = \frac{0,95}{0,6} = 1,5833 \text{ тонн}$$

3. Найдем массу SiO_2 в минерале массой 1,5833 тонн, необходимой для получения 1 тонны чугуна.

$$m(SiO_2) = \omega(SiO_2) \cdot m(\text{минерала}) = 0,143 \cdot 1,5833 = 0,2264 \text{ тонн}$$

Согласно реакции 6 $n(SiO_2) = n(CaO)$, а согласно реакции разложения известняка $n(CaCO_3) = n(CaO)$. Найдем количество SiO_2

$$n(SiO_2) = \frac{m(SiO_2)}{M(SiO_2)} = \frac{0,2264 \cdot 10^6}{60} = 3773 \text{ моль}$$

$$\text{Тогда } n(CaCO_3) = n(CaO) = n(SiO_2) = 3773 \text{ моль.}$$

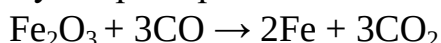
$$m(CaCO_3) = M(CaCO_3) \cdot n(CaCO_3) = 100 \cdot 3773 = 377300 \text{ г} = 0,3773 \text{ тонн}$$

Согласно реакции 1 $n(C) = n(CO)$.

Количество моль железа в 1 тонне чугуна равно

$$n(Fe) = \frac{m(Fe)}{M(Fe)} = \frac{0,95 \cdot 10^6}{56} = 16964,3 \text{ моль}$$

Суммарная реакция восстановления Fe_2O_3 выглядит как:



$$\text{Тогда } n(C) = n(CO) = \frac{3}{2} \cdot n(Fe) = \frac{3}{2} \cdot 16964,3 = 25446,5 \text{ моль}$$

Найдем массу кокса

$$m(C) = n(C) \cdot M(C) = 12 \cdot 25446,5 = 305358 \text{ г} = 0,3054 \text{ тонн}$$

Рассчитаем массу кокса, пошедшего в чугун

$$m(\text{кокса}) = \omega(\text{кокса}) \cdot m(\text{чугуна}) = 0,05 \cdot 1 = 0,05 \text{ тонн}$$

Найдем общую массу углерода, необходимую для получения 1 тонны чугуна.

$$m(C_{\text{общ}}) = 0,3054 + 0,05 = 0,3554 \text{ тонн}$$

4. Найдем общую массу сырья для получения 1 тонны чугуна:

$$\begin{aligned} m(\text{сырья}) &= m(\text{минерала}) + m(CaCO_3) + m(C) = \\ &= 1,5833 + 0,3773 + 0,3554 = 2,316 \text{ тонн.} \end{aligned}$$

Тогда для получения 5000 тонн в сутки нужно $5000 \cdot 2,316 = 11580 \text{ тонн.}$

Найдем количество вагонов, разделив количество сырья в сутки, на

$$\text{грузоподъемность 1 вагона } N = \frac{11580}{60} = 193 \text{ вагонов.}$$

Система оценивания:

1. Формулы соединений А-З по 0,5 балла Уравнения <i>реакций</i> 1-6 по 0,5 балла Формулы соединений И-К по 1 баллу	9 баллов
2. Расчёт массовой доли каждого компонента в минерале по 1,5 балла Расчёт массы минерала 2 балла	5 баллов
3. Расчёт массы кокса 2 балла Расчёт массы известняка 2 балла	4 балла
4. Расчёт массы сырья в день 1 балл Расчёт количества вагонов 1 балл	2 балла
ИТОГО	20 баллов