

Большая олимпиада Росхим по химии и химической технологии

2024-2025 учебный год

Задания заключительного этапа

10 класс

Задача 1. Метод Сольве

Предприятие «Крымский содовый завод» АО «Росхим» — одно из крупнейших предприятий Республики Крым, расположенное в городе Красноперекопске. Основной продукцией завода является кальцинированная сода, выпускаемая в двух марках:

- **Марка «А»:** тяжелая сода, используется преимущественно в производстве стекла.
- **Марка «Б»:** легкая сода, применяется в химической, металлургической, нефтехимической и других отраслях промышленности.

Отличие марок заключается в размере частиц: марка «А» представлена крупными гранулами, а марка «Б» — мелкодисперсная. Кальцинированная сода марки «Б» второго сорта реализуется в мешках по 50 кг с погрешностью в массе $\pm 2\%$, потеря массы при прокаливании этого сорта, согласно ГОСТу, может достигать 1,5 %.

1. Рассчитайте минимальную массу (кг) мешка номинальной массой 50 кг и минимальную массу (кг) остатка после его прокаливания. Приведите формулу кальцинированной соды.

Производство кальцинированной соды на предприятии осуществляется аммиачным методом (метод Сольве). Этот процесс включает взаимодействие насыщенного водного раствора хлорида натрия и углекислого газа в присутствии аммиака, что приводит к образованию бикарбоната натрия (*реакция 1*), который затем прокаливают для получения кальцинированной соды (*реакция 2*). Для регенерации аммиака маточный раствор после осаждения бикарбоната натрия вводят в реакцию с гашеной известью (*реакция 3*). Схема производства кальцинированной соды методом Сольве представлена на рисунке ниже.

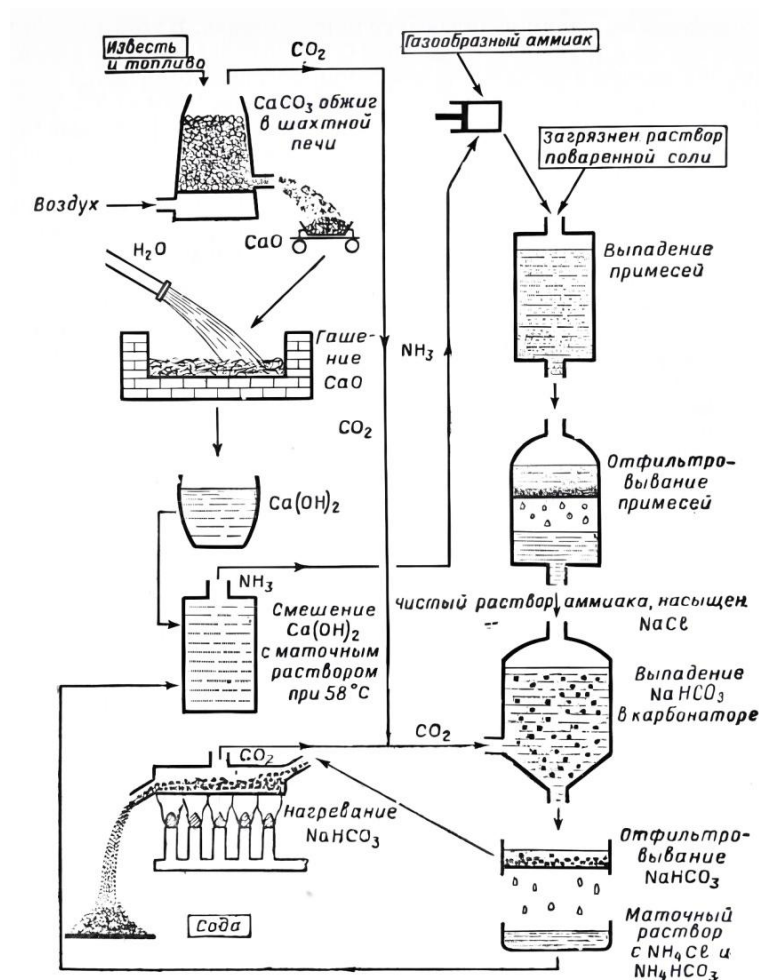


Рисунок 1. Схема производства кальцинированной соды методом Сольве

Данный метод является высокоэффективным в связи с тем, что помимо основного продукта, с его помощью можно получить пищевую соду и аммиак.

2. Какую массу (кг) хлорида натрия необходимо взять для синтеза 50 кг кальцинированной соды? Считайте выход по натрию равным 100 %.
3. Напишите уравнения *реакции 1-3*. Укажите основной побочный продукт производства методом Сольве.

В 2024 году объём производства кальцинированной технической соды на предприятии «Крымский содовый завод» составил 625,4 тысяч тонн.

4. Какая среднечасовая производительность завода (тонн/час) в 2024 году, если он работал круглосуточно все дни в году?

Известно, что на производство 1 тонны соды в среднем уходит около 1,6 тонн NaCl.

5. Рассчитайте реальный массовый выход целевого продукта по натрию.
6. Вычислите массы (кг) хлорида натрия и известняка, которые потребовались для производства всего объёма соды в 2024 году? Выход реакции по известняку считайте равным 72 %.

Задача 2. Аммиак

«Аммиак — ключ к жизни и промышленности» — так говорили химики XIX века, открывая его роль в удобрениях и производстве. В 2024 году на российских предприятиях, было произведено около 20 млн тонн аммиака. Сырьем для получения аммиака служат вода, воздух и природный газ, основным компонентом которого является метан. Принципиальная технологическая схема конверсии природного газа представлена ниже.

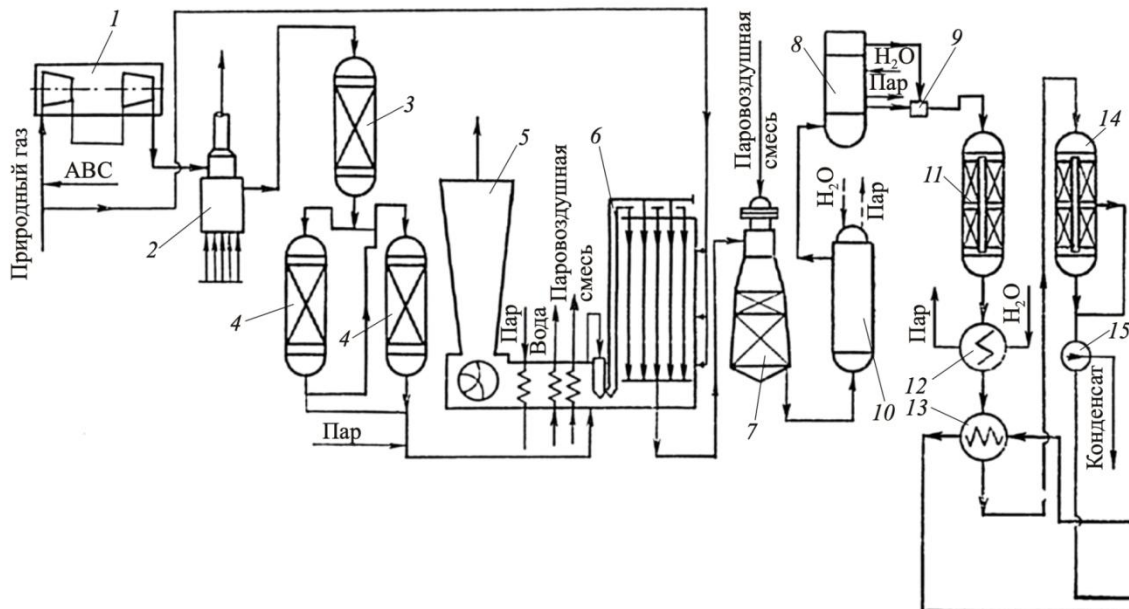


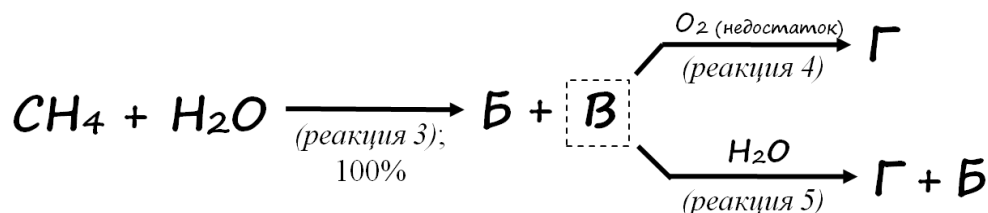
Рисунок 2. Технологическая схема конверсии природного газа: 1 — компрессор; 2 — подогреватель; 3 — реактор гидрирования сернистых соединений; 4 — адсорберы сероводорода; 5 — дымовая труба; 6 — трубчатая печь; 7 — шахтный конвертер; 8, 10 — котлы-утилизаторы; 9 — увлажнитель; 11 — конвертер газа В первой ступени; 12 — котел-утилизатор; 13 — подогреватель; 14 — конвертер газа В второй ступени; 15 — охладитель

Технологический процесс начинается с того, что природный газ попадает в реактор гидрирования, где его очищают от сероводорода реакцией с оксидом цинка, при этом образуется вещество А (реакция 1). Соединение А регенерируют путем его отжига в атмосфере воздуха (реакция 2). Очищенный газ смешивается с водяным паром и направляется в трубчатую печь, на выходе из которой образуется смесь газов Б и В (реакция 3). Газ Б необходим для получения аммиака, а газ В является опасным побочным продуктом.

1. Напишите уравнения реакций 1-3. Приведите формулы соединений А-В.
2. Рассчитайте массу (г) оксида цинка, расходуемую при полной очистке 1 м^3 (н.у.) природного газа с содержанием сероводорода 2,6 % по объёму. Найдите массу (кг) оксида цинка, расходуемую за день, если объёмный поток природного газа составляет $330 \text{ м}^3/\text{ч}$, а установка работает 24 часа в сутки.

После трубчатой печи конвертированная парогазовая смесь подается в шахтный конвертер метана, где смешивается с воздухом. При этом в реакторе происходит неполное окисление В кислородом воздуха

(реакция 4), а остатки газа **В** реагируют с парами воды с образованием газов **Б** и **Г** (реакция 5). Итоговая смесь содержит только азот, газ **Б** и газ **Г**.



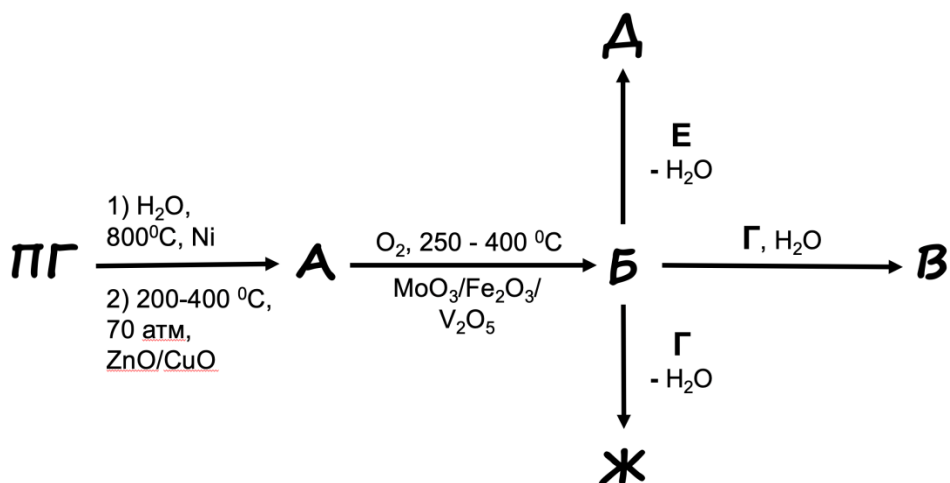
3. Приведите формулу соединения **Г**. Напишите уравнения *реакций 4-5*. Рассчитайте количество моль воздуха, которое необходимо подать в шахтный конвертор, чтобы в конечной смеси мольное соотношение газов **Б**:**Н**₂ составляло 3:1. Считайте, что был взят 1 моль метана, и *реакция 3* прошла количественно.

После полной конверсии и очистки газовой смеси от соединения **Г** смесь подают в реактор получения аммиака. Реакция синтеза аммиака является равновесной, поэтому реакционную смесь рециркулируют, а аммиак отделяют сжижением.

4. Приведите уравнение реакции образования аммиака (*реакция 6*). Используя принцип Ле-Шателье, определите направление смещения химического равновесия данной реакции при: а) увеличении давления; б) увеличении температуры. Теплота образования аммиака равна $Q_f^{\circ}(\text{NH}_3) = 46,1 \text{ кДж/моль}$.

Задача 3. Полимеры

Производство «Метафракс Кемикалс» АО «Росхим» занимает более 50 % внутреннего рынка по производству вещества **А**, что делает его крупнейшим производителем **А** и производных на его основе. Вещество **А** – ключевое сырье химической промышленности, ведь оно «открывает» доступ к синтезу большого количества органических веществ.



На «Метафракс Кемикалс» **А** получают из природного газа (ПГ) в две стадии: сначала ПГ обрабатывают водяным паром на никелевом катализаторе при 800 °С (*реакция 1*). Затем полученную смесь газов пропускают над катализатором на основе оксидов цинка и меди при 200 – 400 °С и давлении порядка 70 атм. (*реакция 2*).

1. Напишите структурную формулу **А**, а также уравнения *реакций 1-2*, если известно, что плотность паров **А** по неону составляет 1,6.

Одним из основных продуктов, получаемых из **А**, является вещество **Б**, синтезируемое окислением **А** кислородом воздуха на катализаторе из оксидов железа, молибдена и ванадия при 250 – 400 °С (*реакция 3*). Качественной реакцией на вещество **Б** в лаборатории является его взаимодействие с аммиачным раствором оксида серебра — реакция известна под названием «серебряное зеркало» (*реакция 4*).

2. Напишите структурную формулу **Б**, а также уравнения *реакций 3-4*.

Часть **Б** для дальнейшего хранения стабилизируют: для этого на производстве предусмотрена установка по получению раствора **В** — смеси компонентов **Б**, **Г** и воды. Вещество **Г** получают из 2 газов — один легче воздуха в 1,706 раз, а другой — тяжелее его в 1,517 раз; про вещество **Г** также известно, что впервые его выделили из мочи.

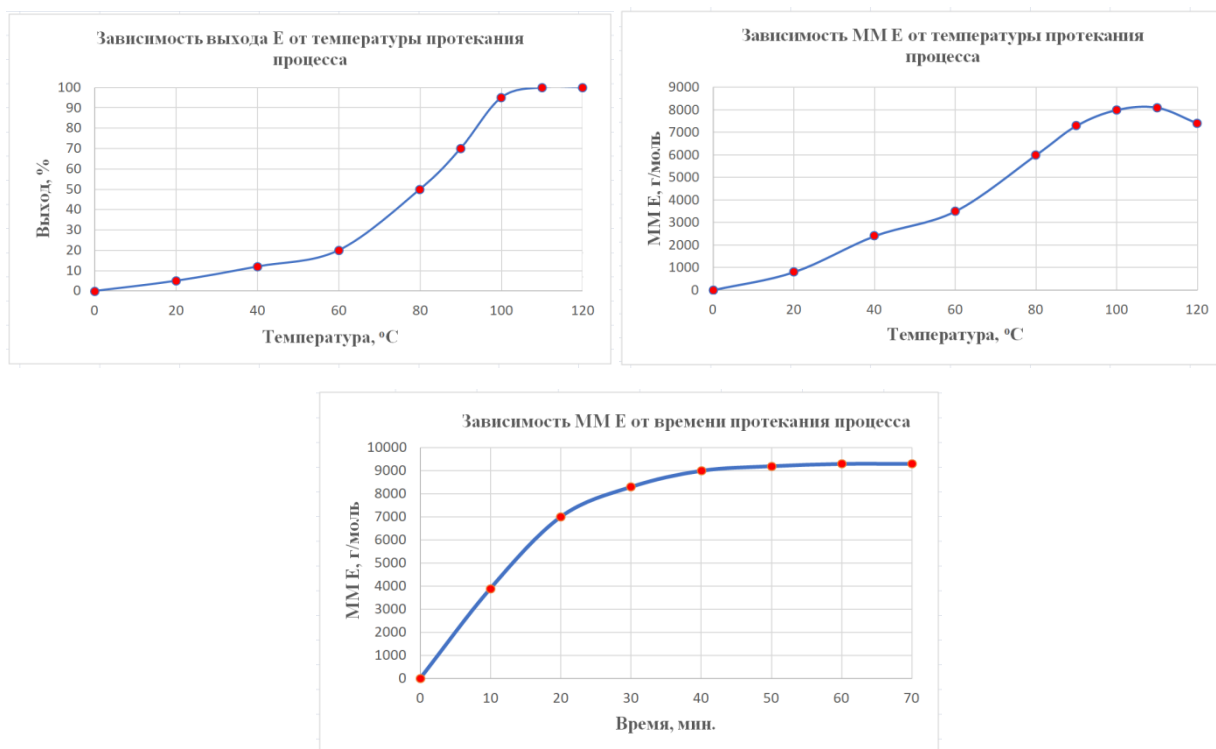
3. Напишите формулу вещества **Г**, а также раствора **В** в виде $x\text{Б} \cdot y\text{Г} \cdot z\text{H}_2\text{O}$, зная, что в наиболее распространённом растворе данного типа содержание кислорода равно 52 % по массе, а массовое содержание **Б** составляет 60 %.

«Метафракс Кемикалс» также является производителем группы полимерных материалов **Д**, получаемых из вещества **Б** и ароматического вещества **Е**. Вещество **Б** в полимере выполняет функцию «мостика» между молекулами **Е**. Известно, что качественной реакцией на вещество **Е** является его взаимодействие с бромной водой, в результате чего выпадает белый осадок. А при реакции **Е** с хлоридом железа (III) образуется сине-фиолетовый раствор. На производстве из **Б** и **Г** получают полимер **Ж**, относящийся к тому же типу полимеров, что и **Д**.

4. Напишите структурную формулу **Е** и элементарного звена полимеров **Д** и **Ж**, если содержание кислорода в элементарном звене **Д** составляет 15,09 % по массе, а при сжигании навески 2,35 г **Е** выделяется газ, при взаимодействии которого с раствором гашеной извести выпадает 15,00 г белого осадка.

Важными показателями полимерной продукции являются их выход и молекулярная масса (ММ) — для того, чтобы эти показатели достигали требуемых значений, необходимо подобрать оптимальные условия реакции полимеризации: температуру, давление в реакторе и время протекания процесса.

5. На графиках ниже представлены экспериментальные зависимости выхода и ММ вещества Д от температуры (Т) и времени (τ) протекания реакции полимеризации (при оптимальной температуре). Определите наилучшие параметры (Т, τ) данного процесса, если необходимо получить полимер с выходом более 90 % и ММ равной 8000. **Ответ обоснуйте.**



Справка: Структурное звено (элементарное звено) – многократно повторяющаяся в макромолекуле полимера группа атомов. В качестве примера приведено структурное звено молекулы полиэтилена: $[-CH_2-CH_2-]_n$

Задача 4. Сульфат, выпадай

На просторах Алтайского края, среди бескрайних степей и солёных озёр, скрыто настоящее сокровище — месторождение сульфата натрия. Это не просто белый порошок, а ключевой компонент для производства стекла, моющих средств, бумаги и даже лекарств. Но как его добывают?

Представьте: огромные бассейны, где под жарким солнцем испаряется вода, оставляя после себя кристаллы «чудесной соли». Завод «Кучуксульфат» АО «Росхим» — один из крупнейших в мире и единственный в России производитель природного сульфата натрия.



Технология получения сульфата натрия на предприятии «Кучуксульфат» состоит из нескольких этапов:

- Пересохшее озеро Селитряное (садочный бассейн), на берегу которого расположено предприятие, наполняют водой из соседнего озера Кучук.
- При понижении температуры в осенние и зимние месяцы сульфат натрия осаждается на дне в виде мирабилита ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).
- Воду откачивают обратно в озеро Кучук, а по дну озера Селитряное прокладывают временные ветки узкоколейной железной дороги.
- В течение следующего года активно вывозят мирабилит с учётом запаса на следующий год.
- Вывезенное из котловины озера сырьё проходит переработку, затем товарный сульфат натрия отправляется потребителям.

Промысел работает по двухгодичному циклу, что означает, что закачку рапы (насыщенного раствора) в садочный бассейн осуществляют один раз в два года. Летом озеро Селитряное наполняют раствором из озера Кучук плотностью $\rho = 1270 \text{ кг/м}^3$, массовая доля сульфата натрия в котором составляет 5,56 %.

1. Рассчитайте массу (кг) раствора в озере Селитряное, а также массу (кг) сульфата натрия в нём, если общий объём озера составляет 40,0 млн м^3 .

За время от заполнения озера Селитряное летом до откачки зимой объём воды в озере из-за испарения и выпадения осадка уменьшается.

2. Найдите массу (кг) сульфата натрия, растворённого в озере Селитряное во время откачки, если объём озера за это время уменьшился на 50 %, а растворимость сульфата натрия при данной температуре составляет 4,5 г на 100 мл H_2O .
3. Рассчитайте массу (кг) выпавшего в осадок мирабилита, исходя из п.1 и п.2. Найдите выход мирабилита (кг) с 1 м^3 воды из озера Кучук.

В воде озера Кучук присутствуют и другие соли, такие как хлорид натрия и хлорид магния, их массовые доли в растворе составляют 14,68 % и 4,60 % соответственно.

4. Рассчитайте массы (кг) хлорида натрия и хлорида магния, которые выпадут вместе с сульфатом натрия из 1 м^3 воды озера, если растворимость NaCl в данных условиях равна 36,5 г на 100 мл H_2O , а растворимость MgCl_2 равна 52,9 г на 100 мл H_2O . *Примечание: учтите уменьшение объёма озера на 50 %.*

При нагревании до температуры 32,4 °С мирабилит плавится и разлагается на Na_2SO_4 и H_2O . Освобождающаяся кристаллизационная вода растворяет часть сульфата натрия с образованием насыщенного раствора, а остальная его часть остается в твердой фазе и может быть отделена

отстаиванием, центрифугированием и т. д. В дальнейшем проводят её выветривание при комнатной температуре и малой влажности воздуха до образования порошкообразного Na_2SO_4 .

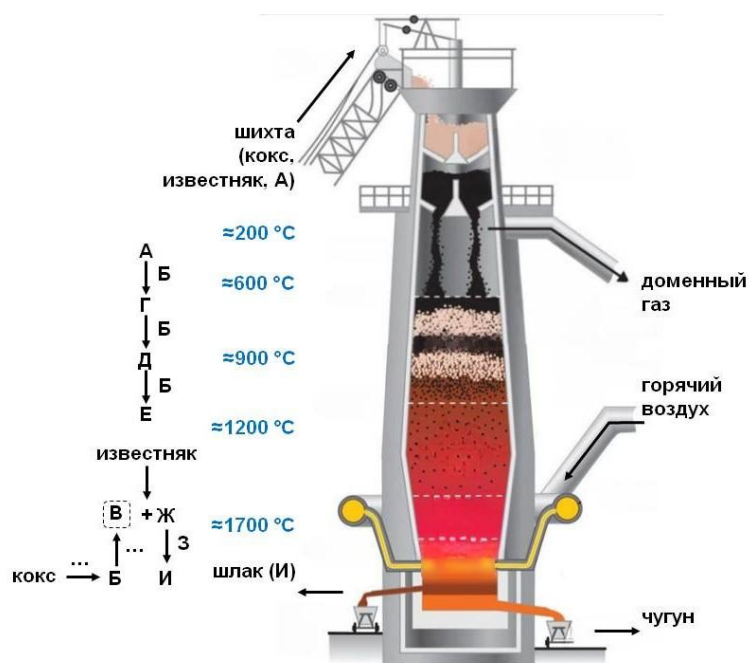
5. Оцените, какую массу (г) безводного сульфата натрия можно получить из 100,0 г мирабилита по данной методике, если растворимость Na_2SO_4 составляет 49,7 г на 100 г воды при температуре 32,4 °С. Рассчитайте выход процесса — массовую долю сульфата натрия (%), которую удаётся выделить из мирабилита, следуя данной методике.

Задача 5. Чугун

Чугун — ценный продукт металлургии, он используется в машиностроении, строительстве, при производстве транспорта и бытовой техники. Россия занимает третье место в мире по производству чугуна.

Для производства чугуна используют специальную печь — доменную, выложенную внутри огнеупорным кирпичом. Сырьём, загружаемым в печь для получения чугуна, является смесь кокса (углерода), соединения А с массовой долей кислорода 30 % и известняка для связывания примесей.

В доменной печи есть градиент температур, от 200 °С у верхней части печи до 1700 °С в нижней части печи, называемой горном, причём на разных уровнях печи происходят разные процессы:



- Сначала при 1700 °С в печи происходит неполное окисление кокса с образованием газа Б (реакция 1), поднимающегося вверх по установке.
- Далее, при температурах от 400 °С до 1000 °С происходит последовательное восстановление А газом Б с образованием веществ Г, Д и простого вещества Е (реакции 2–4).
- При температуре 1500 °С происходит разложение известняка с образованием газа В и твердого вещества Ж (реакция 5). Вещество Ж вступает в реакцию с одним из основных примесных соединений З, состоящего из двух самых распространенных элементов в земной коре, с образованием соли И (реакция 6).

- При температуре 1700°C **Е** находится в расплавленном виде, и благодаря разности в плотностях веществ **Е** и **И** происходит разделение шлака и расплавленного чугуна. При этой же температуре может происходить реакция между **Е** и коксом с образованием соединения **К** с массовой долей углерода 6,67 %. Чугун, содержащий **К**, называется белым, а не содержащий — серым.

1. Приведите формулы соединений **А-К**. Напишите уравнения реакций 1-6.

Чугун марки ПЛ1 без учёта примесей и добавок содержит около 95 %_{масс.} простого вещества **Е** и 5 %_{масс.} углерода. Обогащённый минерал, используемый для его получения, будем считать смесью соединений **А** и **З** с массовой долей элемента **Е** 60 %.

2. Рассчитайте массовые доли (%) веществ **А** и **З** в обогащённом минерале, а также массу (тонн) обогащённого минерала, необходимую для получения 1 тонны чугуна. Считайте, что элемент **Е** из минерала в чугун переходит количественно.

3. Рассчитайте массы (тонн) кокса (углерода) и известняка необходимые для получения 1 тонны чугуна марки ПЛ1.

*Примечание: учтите не только кокс, необходимый для восстановления соединения **А**, но и попадающий впоследствии в чугун.*

4. Рассчитайте общую массу (тонн) сырья (минерал + известняк + кокс), которую необходимо загружать в сутки для получения чугуна марки ПЛ1, если производительность средней по объёму доменной печи составляет 5000 тонн чугуна в сутки. А также рассчитайте количество вагонов, которые необходимо поставлять к доменной печи в сутки, если грузоподъёмность одного вагона равна 60 тонн.