

Большая олимпиада Росхим по химии и химической технологии

**2025-2026 учебный год
Заключительный этап
Задания теоретического тура
10 класс**

Длительность теоретического тура: 235 минут

Мы очень рады, что ты решил проявить себя в олимпиадном движении по химии. Это увлекательный путь к самосовершенствованию, развитию своего кругозора и лучшему пониманию мира, в котором мы живём.

Обрати внимание: решение каждой задачи оформляется на выданных листах, не забудь указать номер задачи и пункта, решение которого приводишь. Пиши разборчиво и будь внимателен: учитывай, что именно требуется в вопросе; не забывай о подтверждении расчётами, где это требуется. Будь уверен: каждый из вас может решить какую-то часть задачи. При возникновении трудностей переходи к следующим заданиям – вернёшься в конце, если у вас останется время.

Желаем интересной олимпиады и плодотворного участия!

Константы, которые могут быть полезными

Число Авогадро $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ моль⁻¹

Постоянная Больцмана $k_B = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К

Универсальная газовая постоянная $R = 8,314$ Дж/(К*моль)

Постоянная Планка $h = 6,626 \times 10^{-34}$ Дж*с

Число Фарадея (заряд 1 моля электронов) $F = 9,6485 \times 10^4$ Кл/моль

Масса электрона $m_e = 9,1093 \times 10^{-31}$ кг

Атмосферное давление $P_{atm} = 1,01325 \times 10^5$ Па = 760 mmHg = 760 Торр

Ноль по шкале Цельсия 273,15 К

1 пикометр (пм) 10^{-12} м, 1 ангстрем (Å) 10^{-10} м, 1 нанометр (нм) 10^{-9} м

1 кал = 4,18 Дж

Задача 1. Дымовые газы

На предприятиях цветной металлургии при переработке сульфидных руд, в виде которых в природе встречается большинство d-металлов, серьёзной экологической проблемой являются выбросы газообразных соединений элемента А. Основным источником загрязнения – летучий оксид Б, образующий при взаимодействии с водой кислотные растворы.

1. Выберите из приведенного списка все кислотные оксиды: CO_2 , CO , SO_3 , H_2O , MgO , Mn_2O_7 , Cr_2O_3 .
2. Какие газы при растворении в воде образуют кислые растворы? Приведите два примера и подтвердите их уравнениями реакций.
3. Что происходит при контакте водяного пара воздуха со сбросами “лисьего хвоста” - диоксида азота? Напишите уравнение протекающей реакции диспропорционирования.

На следующих картинках указаны лишь некоторые последствия попадания соединений А в атмосферу:



4. Какое природное явление приводит к таким последствиям?
5. Основной компонент мрамора памятников – карбонат кальция. Укажите причину их разъедания и подтвердите уравнением реакции.

Кроме обозначенной проблемы, соединения А в атмосфере также способствуют глобальному потеплению, поэтому критически важно удалять их из промышленных отходов. Для очистки дымовых газов применяют многоступенчатую схему. На первой стадии газ пропускают через водную суспензию карбоната кальция, в результате чего образуется малорастворимый осадок В (реакция 1). При избытке кислорода В постепенно окисляется до вещества Г (реакция 2), широко используемого в строительстве. На второй стадии остаточное количество оксида Б каталитически окисляют кислородом воздуха до оксида Д (реакция 3). Полученный продукт поглощают концентрированной кислотой Е с образованием соединения Ж (реакция 4). Вещество Ж при добавлении воды вновь образует раствор кислоты Е (реакция 5). Раствор Е реагирует с гидроксидом натрия с образованием соли З, содержащей 32,37 % масс. натрия (реакция 6). Также известно, что при термическом разложении Г образуется оксид И и газ Д (реакция 7).

6. Приведите формулы А–И, уравнения реакций 1–7, обоснуйте.
7. Как вы думаете, почему на первой стадии очистки используют именно карбонат кальция, а не гидроксид натрия?
8. Каким еще методом можно очистить выбросы от летучих соединений А?

Задача 2. Легкий металл

Металл **X** – один из ключевых современных конструкционных материалов: его используют в производстве лёгких сплавов, кабелей, теплообменников и пищевой упаковки. **X** получают из **бокситовой** руды, которая содержит соединения **X** с примесями оксидов железа и кремния.

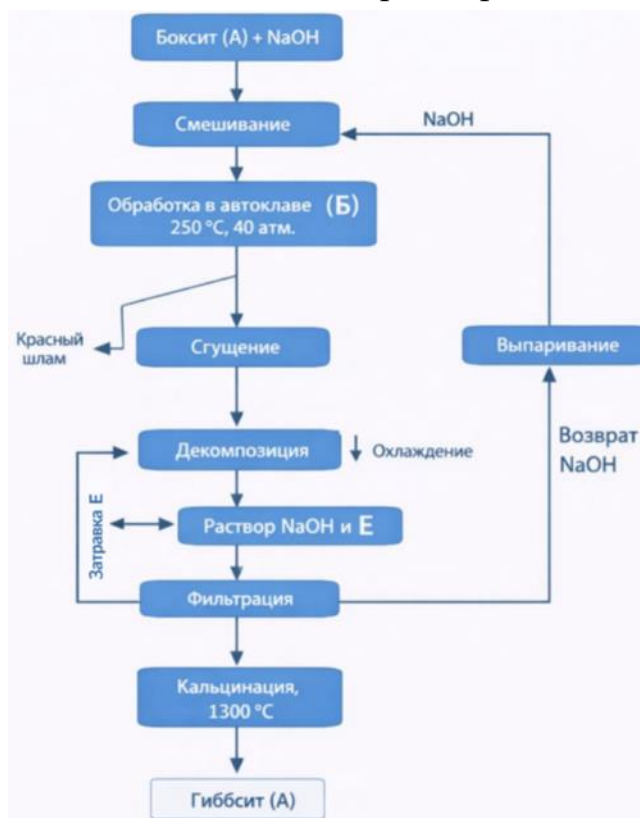
1. Как вы думаете, чем отличаются металлы, которые могут тысячелетиями пребывать в земле в самородном виде, от металлов, которые находятся в природе только в виде соединений? Приведите примеры металлов, находящихся в земной коре в самородном виде.

Технологическая схема получения **X** включает стадии: перевод соединений **X** в раствор (вскрытие руды), отделение твёрдых примесей, осаждение соединения **X** высокой чистоты, прокаливание и электролиз расплава оксида **A**, содержащего 34,62% **X** по массе.

2. Найдите металл **X** и его оксид **A**. Ответ подтвердите расчетом.

На стадии вскрытия руду обрабатывают горячим концентрированным раствором NaOH . Основной компонент боксита, гиббсит (полиморфная модификация **A**) растворяется с образованием растворимой натриевой соли комплексного гидроксо- соединения **B** (*реакция 1*). Иногда в боксите присутствует бемит **B** (45,00% **X** по массе); он также переходит в раствор (*реакция 2*). Оксид железа (III) при этом практически не растворяется и остаётся в твёрдом остатке («красный шлам»). Диоксид кремния в горячей щёлочи растворяется с образованием силиката (*реакция 3*). Для удаления кремния в раствор добавляют известковое молоко **Г** (*реакция 4*); образующийся осадок **Д**, содержащий 24,14% масс. кремния, отделяют фильтрацией.

3. Определите вещества **B**-**Д**. Ответ подтвердите расчетом.



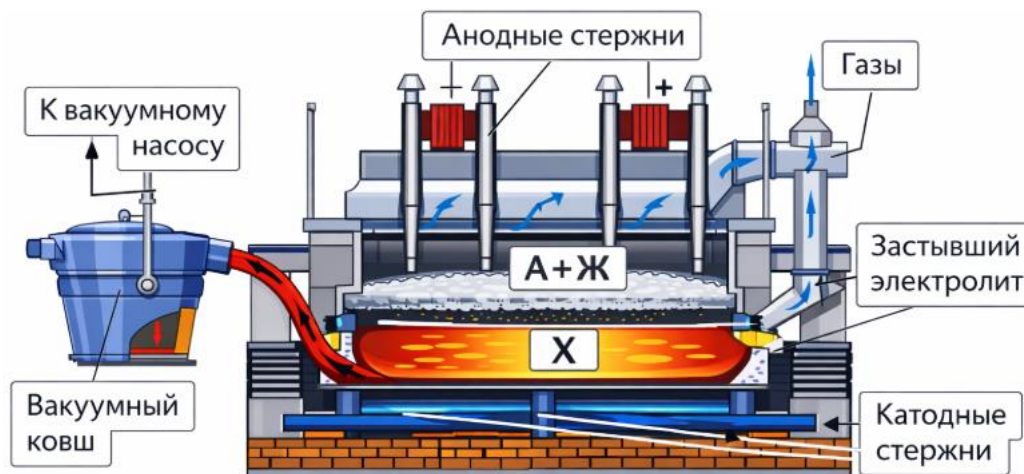
Раствор **Б** охлаждают и вводят затравку – кристаллы **Е**, что вызывает его разложение с выпадением осадка **Е** и позволяет регенерировать щёлочь (*реакция 5*). Осадок **Е** промывают и прокаливают: при нагревании он теряет воду и превращается в глинозём, ещё один минерал **А** (*реакция 6*). Из-за высокой температуры плавления глинозёма металл **Х** получают электролизом расплава глинозёма с криолитом – комплексной фторидной солью **Ж**.

4. Какая масса **Х** может быть получена из тонны бокситовой руды, содержащей 72,0 % масс. гидроксита, если общий выход процесса получения чистого глинозёма составляет 88 %?

Для приготовления чистого криолита используют фториды натрия и **Х**. Плавиковую кислоту получают из плавикового шпата **З**, содержащего 51,28% кальция по массе, действием концентрированной серной кислоты (*реакция 7*). Плавиковую кислоту используют для получения фторида натрия из кальцинированной соды (*реакция 8*). Соединения **Х** также переводят во фторид **И**, а затем смешением NaF и **И** получают криолит **Ж** (*реакция 9*).

5. Определите вещества **Е-З**, подтвердите расчётом. Известно, что в составе **Ж** центральный атом находится в октаэдрическом окружении.

При электролизе глинозём растворяют в расплаве криолита: на катоде выделяется **Х**, а угольный анод окисляется (*реакция 10*). Фторсодержащие примеси из газовой фазы улавливают сухой газоочисткой: газы пропускают через слой глинозёма, который связывает фтор с образованием **И**, пригодного для возврата в расплав (*реакция 11*).



6. Цех по получению металла **Х** располагает 120 электролитическими ваннами, каждая работает при силе тока 180 кА. Электролиз идёт 24 ч. составляет 90,8%. Рассчитайте массу металла **Х**, полученного за сутки и объём CO_2 (н.у.), который выделяется за сутки при таких мощностях.
7. Напишите *реакции 1-11*.

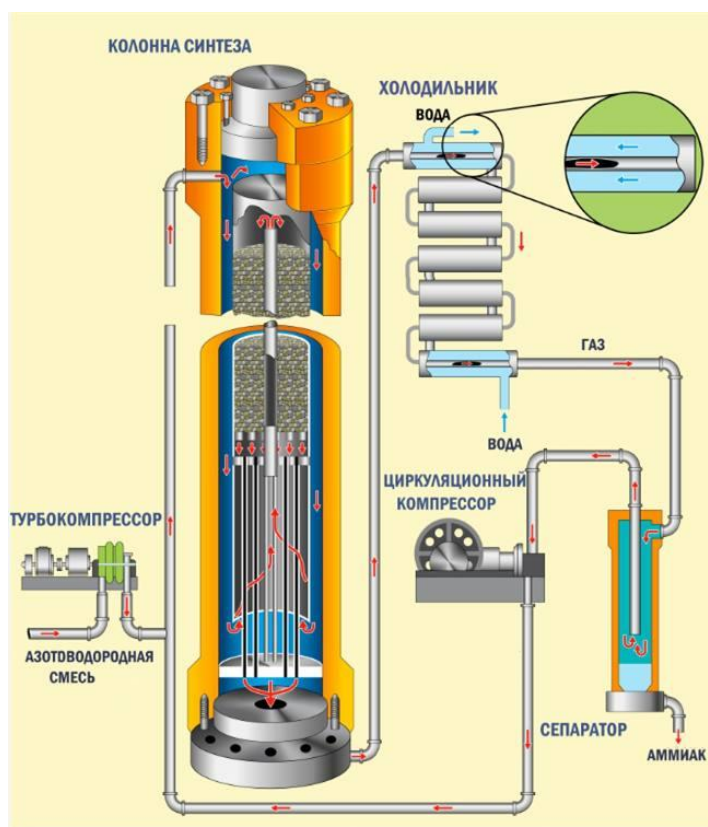
Задача 3. Равновесие аммиака

Синтез аммиака, без преувеличения, один из фундаментальных процессов современной химической промышленности, его мировая выработка достигает 200 млн тонн ежегодно, то есть 24 кг/год на каждого жителя планеты. В числе крупнейших производств аммиака в России – предприятия АО «Росхим»: «Минудобрения», «Метафракс Кемикалс», «Газпром нефтехим Салават» и строящийся «Находкинский завод минеральных удобрений». Его используют в производстве удобрений, азотной кислоты, взрывчатых веществ и полимеров.

Технология производства аммиака из атмосферного азота получила мощное развитие в работах нобелевских лауреатов Ф.Габера и К.Боша в начале XX века: стехиометрическую (в соотношении, заданном уравнением реакции) смесь азота и водорода подвергают конверсии на пористом железном катализаторе при высоких температуре и давлении.

1. Приведите уравнение реакции, используя минимально возможные целочисленные коэффициенты. В каком соотношении находятся газы в смеси? Рассчитайте её плотность по гелию.

Реакция синтеза является равновесной. Поскольку равновесная степень превращения далека от 100 %, смесь, отходящую с колонны синтеза, охлаждают для конденсации аммиака, жидкую фазу отделяют в сепараторе, а газы возвращают в колонну (рециркулируют). Чтобы не накапливались инертные компоненты (например, аргон), часть рециркуляционного потока выводят в продувку. Технологическая схема процесса приведена на рисунке.



В некоторых условиях степень превращения 4 м³ смеси (объем приведен к н.у.) за однократный проход через колонну синтеза составила 15 %, при этом выделилось 308 кДж тепла.

2. На сколько процентов изменится объем смеси после прохождения?

3. В какую сторону смещается равновесие реакции синтеза аммиака при повышении температуры? Почему в промышленности используют высокую температуру (400-500 °С)?

В реактор синтез-газ подают под общим давлением $P_{\text{общ}} = 250$ атм. Количество каждого компонента в газовой смеси характеризуют парциальным давлением — давлением, которое создают молекулы именно этого газа. Парциальное давление газа P_i в смеси удобно рассчитывать через его мольную долю χ_i :

$$P_i = \chi_i \cdot P_{\text{общ}}$$

4. Чему равно парциальное давление азота в синтез-газе до начала реакции?

Для количественного описания протекания реакции используется константа равновесия K_p , которая при постоянной температуре не зависит от давления. Она определяется по формуле:

$$K_p = \frac{P_{\text{NH}_3}^2}{P_{\text{H}_2}^3 \cdot P_{\text{N}_2}^2},$$

где P_i — равновесные парциальные давления газов, атм.

5. Рассчитайте равновесную степень превращения (конверсии в аммиак) и состав газа, %, на выходе колонны синтеза (до конденсации), если давление в колонне 250 атмосфер, константа равновесия K_p при температуре 400 °С составляет $1,6 \times 10^{-4}$.

6. Рассчитайте мольный состав смеси газа после полной конденсации и удаления аммиака из получившейся в п.5 смеси.

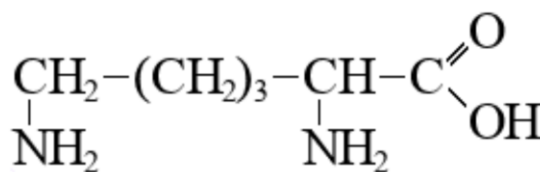
7. Почему процесс проводят при высоком давлении? Обоснуйте, используя выражение константы равновесия

8. Изменится ли выход аммиака, если увеличить в два раза массу загруженного катализатора? А если использовать катализатор с меньшим размером гранул (измельчить)?

Задача 4. Незаменимая аминокислота для сельского хозяйства

Компания «Росхим» приступила к завершению строительства одного из крупнейших заводов по глубокой переработке зерна «Донбиотех» в Волгодонске Ростовской области, первые

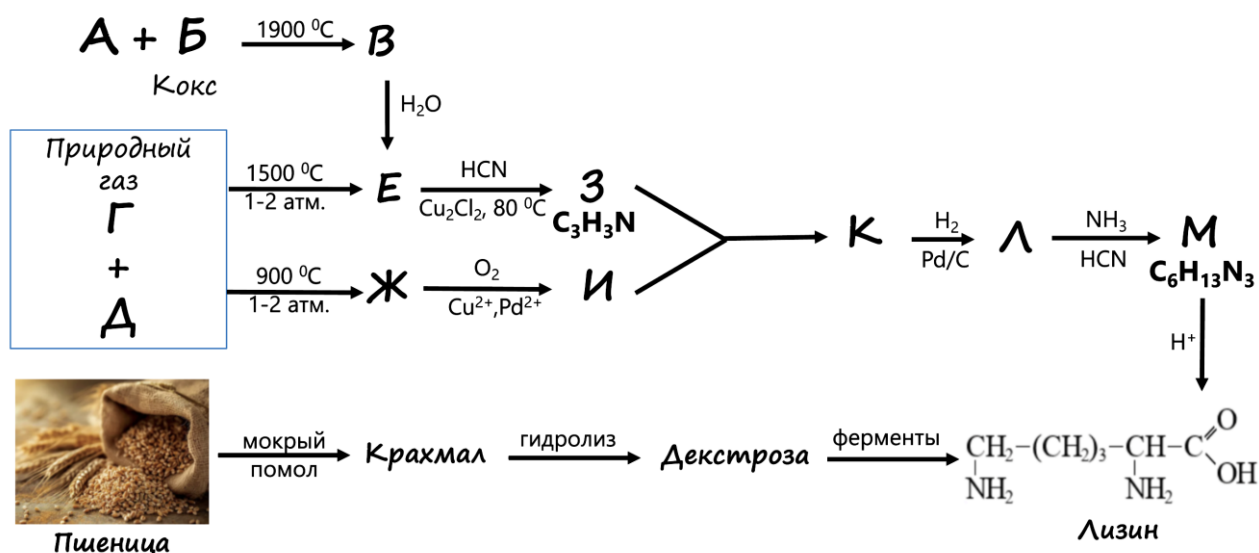
партии продукции планируется получить уже в 2027 году. Производственный комплекс биотехнологического кластера сможет производить до 90 тыс. тонн лизина – незаменимой аминокислоты, которая используется как высокоэффективная кормовая добавка в животноводстве и птицеводстве. Это позволит существенно сократить зависимость сельского хозяйства от импорта и внести весомый вклад в обеспечение продовольственной безопасности России.



1. Где в живых организмах встречаются аминокислоты и в чем заключается их биологическая роль?
2. Простейшая аминокислота - 2-аминоуксусная кислота. Приведите её структурную формулу и укажите тривиальное название.
3. Приведите название лизина по номенклатуре IUPAC.
4. Каким классам органических веществ могут быть изомерны аминокислоты? Приведите пример межклассового изомера лизина.
5. Все аминокислоты обладают амфотерными свойствами, так как содержат в своем составе и кислотную, и основную группы. Напишите уравнения реакции лизина с: а) избытком соляной кислоты; б) избытком гидроксида натрия.

Рассмотрите возможную схему получения лизина из природного сырья:

Известняк



Известняк **А** спекают с коксом **Б** и полученный пек **В** гидролизуют с выделением горючего газа **Е**, который широко используется в высокотемпературной сварке. С началом переработки ископаемых углеводородов более доступным методом получения **Е** стал пиролиз основного компонента природного газа **Г**. Пиролиз же **Д** – ближайшего гомолога **Г** – является промышленным способом производства **Ж**, мономера самого крупнотоннажного современного полимера.

Окисление **Ж** воздухом в присутствии водного раствора хлоридов меди и палладия (вакер-процесс) позволяет получить легколетучую жидкость **И** с характерным резким запахом. В присутствии солей меди (I) **Е** присоединяет циановодород с образованием ненасыщенного вещества **З**. **З** и **И** могут вступать в реакцию присоединения с получением **К**, который не содержит кратных связей C-C, но может быть восстановлен водородом на палладиевой черни до **Л** (содержание азота составляет 13,86 % масс.). **М** в свою очередь получают из **Л** по методу Штрекера: к **Л** присоединяется аммиак, далее образующийся нестабильный интермедиат отщепляет молекулу воды и затем подвергается атаке синильной кислоты. Гидролиз полученного нитрила приводит нас к целевому продукту.

6. Расшифруйте цепочку превращений, определив структурные формулы веществ **А - М**.
7. В нижней части схемы показан биотехнологический способ производства лизина из пшеницы, который реализуется на АО «Донбиотех». Объясните, почему ферментативный синтез в промышленности оказывается более эффективным и безопасным, чем чисто химический путь (не менее 2 аргументов).