



Большая олимпиада Росхим по химии и химической технологии

**2025-2026 учебный год
Заключительный этап
Задания теоретического тура
11 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 – вернётся 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

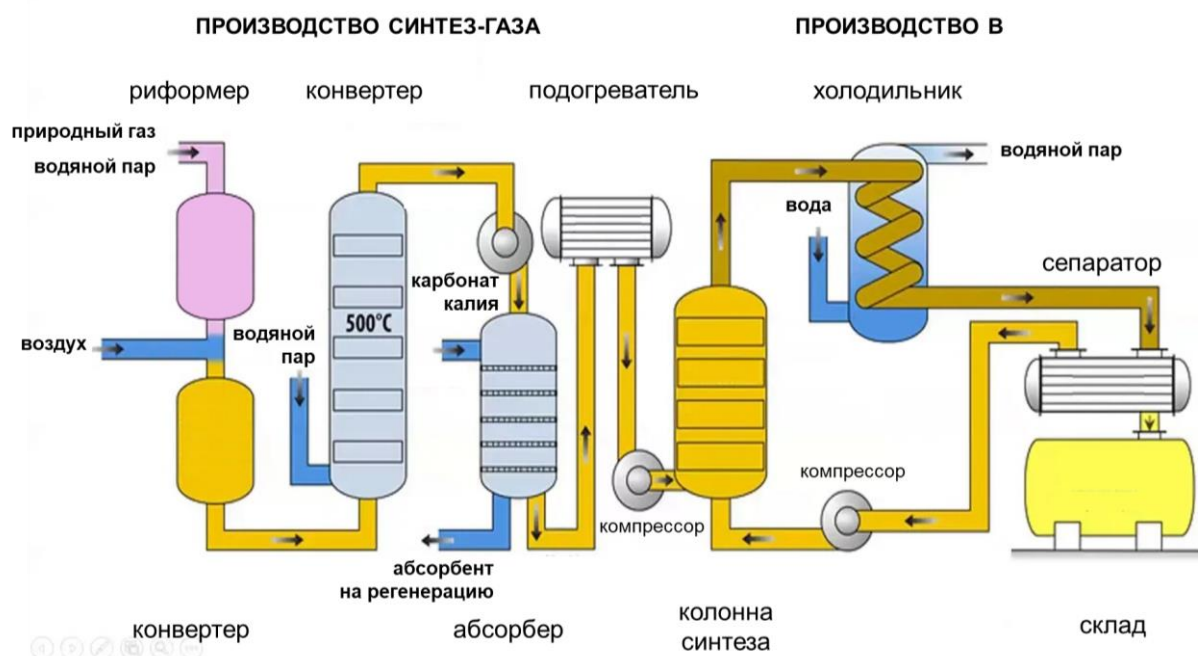
1 кал = 4,18 Дж

Задача 1. Крупнотоннажная кислота

Азотная кислота относится к числу ключевых продуктов крупнотоннажной неорганической химии. В России её производства интегрированы с синтезом аммиака и азотных удобрений: такая связка обеспечивает устойчивое снабжение сырьём, эффективное использование тепла окислительных стадий и минимизацию транспортных издержек. Производство азотной кислоты достигает десятки миллионов тонн в год в пересчете на «слабую» (неконцентрированную) кислоту. Например, мощности АО «Минудобрения» (г. Россошь, Воронежская область) позволяют выпускать более 850 тыс. тонн в год такой кислоты.

Упрощённая технологическая цепочка синтеза включает следующие этапы. На первой стадии метан вовлекают в паровую конверсию на никелевом катализаторе (*реакция 1*). Для дополнительного подогрева и оптимизации состава часть метана подвергают неполному окислению кислородом до газа **A** (*реакция 2*). После этого смесь направляют на стадию водяного сдвига, где газ **A** окисляется парами воды (*реакция 3*). Образующийся **B** удаляют абсорбцией раствором карбоната калия (*реакция 4*), этот раствор можно регенерировать кипячением (*реакция 5*). Оставшиеся следовые количества **A** и **B** (каталитические яды для дальнейшего синтеза) подвергают полному восстановлению водородом (*реакции 6 и 7*).

Далее очищенная смесь азота и водорода в стехиометрическом соотношении поступает в колонну синтеза в присутствии пористого железного катализатора при повышенных температуре и давлении (*реакция 8*).

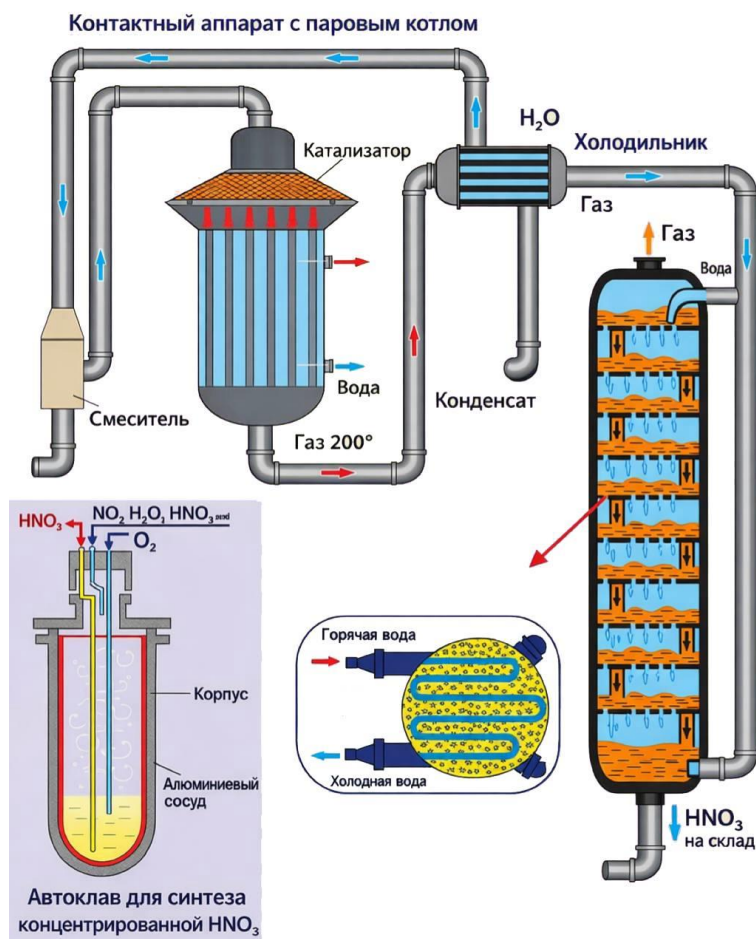


Полученный газ **В** направляют на производство азотной кислоты по методу Оствальда. На первой стадии **В** каталитически окисляют кислородом воздуха на платиновом катализаторе (*реакция 9*). После этого происходит доокисление продукта кислородом воздуха (*реакция 10*). Полученный бурый газ **Г** поглощают водой в присутствии кислорода с образованием целевого продукта (*реакция 11*).

1. Напишите уравнения *реакций 1–11* и определите газы **А–Г**.
2. Рассчитайте объем кислорода, необходимого для получения 100 кг азотной кислоты в методе Оствальда (считать, что процесс протекает количественно).
3. Объясните, почему *реакцию 10* проводят при избытке кислорода, а *реакцию 8* при повышенном давлении.

Одно из самых широкоиспользуемых удобрений получают нейтрализацией концентрированной азотной кислоты газообразным **В** (*реакция 12*). Процесс протекает в специальном аппарате-нейтрализаторе при температуре от 90°C до 180°C. Эта соль также способна разлагаться при внешнем воздействии, выделяя большой объем газообразных продуктов, и поэтому, помимо удобрений, используется как компонент взрывчатки (*реакция 13*).

4. Приведите тривиальное название полученной соли. Напишите уравнения *реакций 12* и 13.
5. Какие побочные реакции могут возникать при недостаточной скорости подачи кислорода в поглотительную башню?

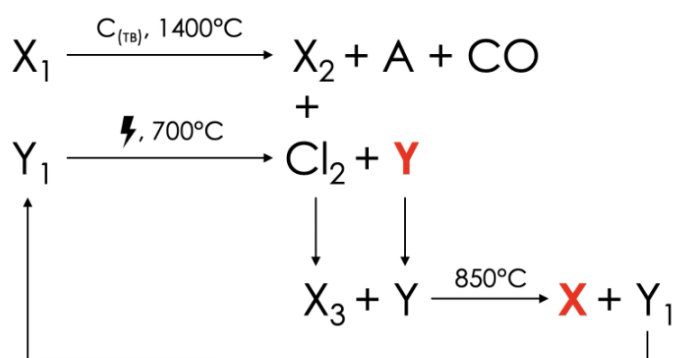


Задача 2. Конструкционный металл

Одной из главных проблем металлургии является выделение чистого металла, потому что большая часть сырья является комплексной, то есть содержит множество разных соединений в определенном соотношении. Инженеры-химики, работающие над созданием технологий извлечения конкретных металлов, вынуждены экспериментировать и искать нестандартные решения. Один из примеров – технология получения металла **X**, соединения которого производятся одним из южных заводов Росхима.

1. Как вы думаете, чем отличаются металлы, тысячелетиями пребывающие в земле в самородном виде, от металлов, находящихся в природе только в виде соединений? Приведите примеры самородных металлов.

Этот металл является одним из наиболее совершенных конструкционных материалов за счет удивительного сочетания свойств. Легкий, одновременно с этим очень прочный и устойчивый к коррозии, он нашел применение в самых ответственных отраслях промышленности – авиастроении, аэрокосмической, химической промышленности и даже в медицине. Его соединения можно встретить в пищевой промышленности и ювелирном деле. Получение этого металла не было бы возможно без еще одного металла **Y**. Рассмотрим совместную технологическую цепочку их производства (все вещества, отмеченные на схеме буквой **X**_n – содержат металл **X**, а вещества, отмеченные на схеме буквой **Y**_n – соответственно содержат металл **Y**):



Процесс начинается с восстановительной плавки концентрата минерала **X**₁, содержащего 31,58 % масс. **X**. В ходе данного процесса образуется основной продукт **X**₂ и побочные продукты – простое вещество **A** и угарный газ. Далее вещество **X**₂ хлорируется, единственным продуктом

реакции является вещество **X**₃. Для получения чистого металла **X** вещество **X**₃ восстанавливают металлом **Y** в герметичных ретортах. В ходе этой реакции образуются два продукта – «губчатый» металл **X** и соединение **Y**₁, содержащее 74,74 % масс. хлора. Расплав **Y**₁ подвергают электролизу для получения металла **Y** и хлора, таким образом, возвращая его в технологическую цепочку. Известно, что простое вещество **A** – переходный металл, который был освоен человеком в древние времена. С древности из него создавали оружие и орудия труда, так и сегодня он находит применение практически во всех областях деятельности человека.

2. Назовите металлы **X** и **Y**, а также соединения **X**₁, **X**₂, **X**₃, **Y**₁, **A**.
3. Можно ли в описанном процессе заменить металл **Y** на другой металл? Если да, то на какой? Обоснуйте свой ответ.
4. Приведите название минерала **X**₁.

При расчетах молярные массы округлять до целого.

Задача 3. Ректификация

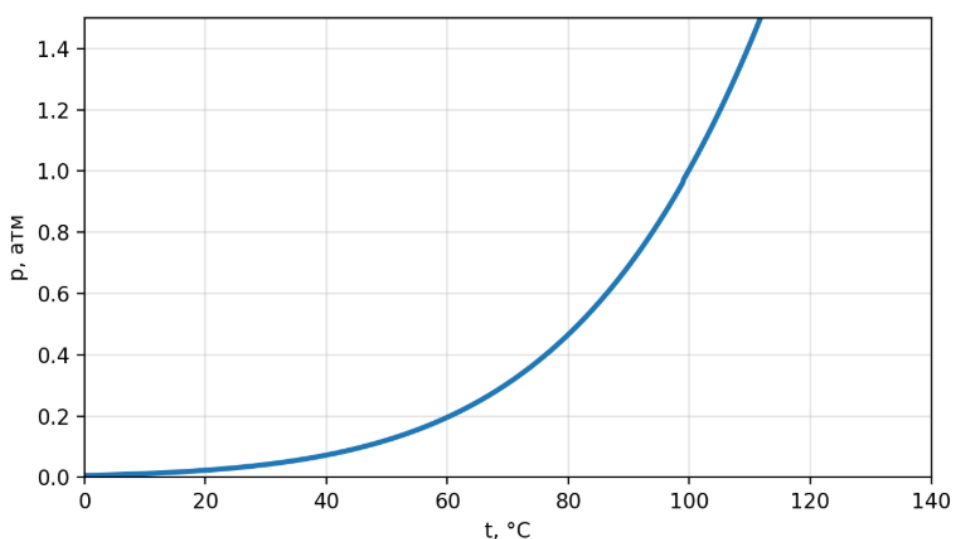
В промышленности для разделения жидких смесей широко применяют перегонку и её более эффективный вариант – ректификацию. Эти методы основаны на различии летучести компонентов: при нагревании смесь закипает, и в паровой фазе оказывается больше того вещества, которое легче испаряется. Самые высокие цилиндрические аппараты химических и нефтехимических производств, уступающие разве что трубам, – ректификационные колонны, возвышающиеся на десятки метров. Эти колоссальные размеры необходимы для того, чтобы внутри колонны могло произойти многократное испарение и конденсация смеси для её разделения на компоненты.



Кипение любой жидкости начинается тогда, когда давление её насыщенного пара при данной температуре становится равным внешнему давлению:

$$P_{\text{атм}} = P_{\text{нас.пар}}(T)$$

1. Используя приведенный ниже график зависимости давления насыщенного пара воды от температуры,
 - а) определите температуру кипения воды при атмосферном давлении;
 - б) оцените температуру кипения воды на вершине Эвереста, если давление там примерно в 3 раза меньше, чем нормальное атмосферное.
 - в) при какой температуре закипит вода в скороварке, если давление внутри составляет 1,4 атм? В чем причина более быстрого приготовления пищи в такой скороварке?



После каталитического риформинга и стабилизации бензиновой фракции получена ароматическая смесь из трёх углеводородов **А**, **Б** и **В**. Известно, что **А** и **Б** – низшие гомологи ряда аренов, а **В** – ароматический углеводород состава C_8H_{10} , содержащий два заместителя, представленный в виде смеси трех изомеров.

- Определите вещества **А**, **Б** и **В**. Приведите их названия и формулы. Для **В** укажите структурные формулы изомеров и приведите их тривиальные названия.

Для оценки возможности разделения смеси газов рассматривают равновесие жидкость–пар при $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Давления насыщенного пара при $110\text{ }^{\circ}\text{C}$: $P_{\text{нас}}(\text{А}) = 242\text{ кПа}$, $P_{\text{нас}}(\text{Б}) = 101\text{ кПа}$, $P_{\text{нас}}(\text{В}) = 33,0\text{ кПа}$.

Давление насыщенного пара над смесью создается всеми летучими компонентами. Давление насыщенного пара компонента $P(X)$ над смесью жидкостей в идеальном случае пропорционально мольной доле этого компонента $\chi(X)$ и давлению насыщенного пара над чистым веществом, что соответствует закону Рауля:

$$P(X) = \chi(X) \cdot P_{\text{нас}}(X)$$

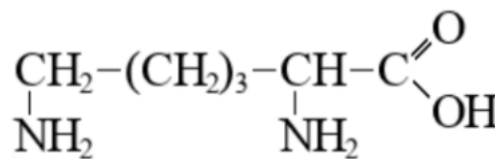
- Жидкая смесь при $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ имеет содержит 40 % **А**, 35 % **Б** и 25 % **В** (мольные доли). Рассчитайте общее давление насыщенного пара P над смесью и мольный состав пара.
- При повышении температуры давления насыщенного пара всех компонентов возрастают. Как качественно изменится состав пара (будет ли он богаче или беднее лёгким компонентом) при рассмотрении равновесной системы «пар-жидкость», если состав жидкости остается постоянным? Объясните через закон Рауля.
- Часть выделенной фракции **Б** планируют использовать как топливо в печи. Запишите уравнение полного сгорания вещества **Б** и рассчитайте теплоту этой реакции (кДж/моль), используя данные таблицы.

Вещество	$CO_{2(g)}$	$H_2O_{(ж.)}$	$B_{(ж.)}$
Стандартная теплота образования из простых веществ Q_f , кДж/моль	393,5	285,8	-12,0

- Сколько теплоты (кДж) выделится при сжигании 2,00 кг вещества **Б**, если КПД печи 80,0%? Достаточно ли этого, чтобы нагреть 200 кг воды от $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $90\text{ }^{\circ}\text{C}$? Принять $C(H_2O) = 4,18\text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$.
- Почему ароматические углеводороды редко используют как топливо? Сравните теплоту сгорания **Б** с теплотой сгорания циклогексана. Аргументируйте полученное различие. $Q_f(C_6H_{12(ж.)}) = 124\text{ кДж/моль}$

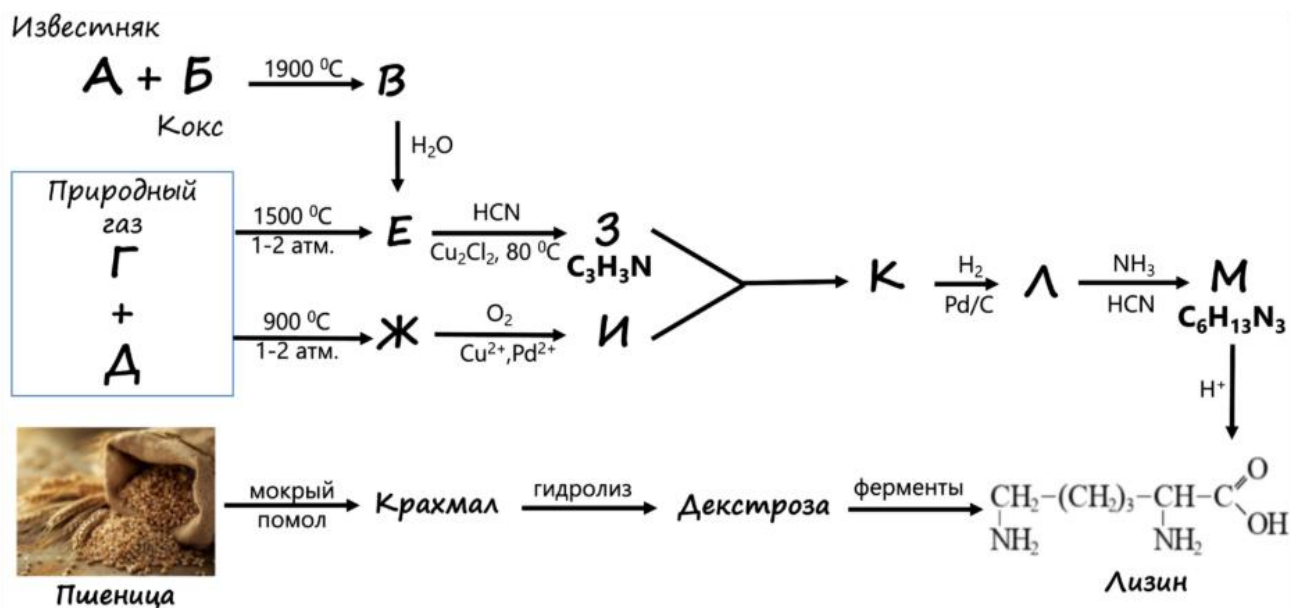
Задача 4. Незаменимая аминокислота для сельского хозяйства

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. Помимо структурной изомерии, лизин проявляет пространственную изомерию, причем один из изомеров усваивается живыми веществами намного лучше, чем другой. Изобразите структуры таких изомеров у лизина.
6. 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 **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 (**И**) **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.

7. Расшифруйте цепочку превращений, определив структурные формулы веществ **А - М**.
8. Почему в промышленности лизин часто выделяют и выпускают не в виде свободной аминокислоты, а в виде соли (например, гидрохлорида или сульфата)? Какие преимущества даёт эта форма?
9. 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).