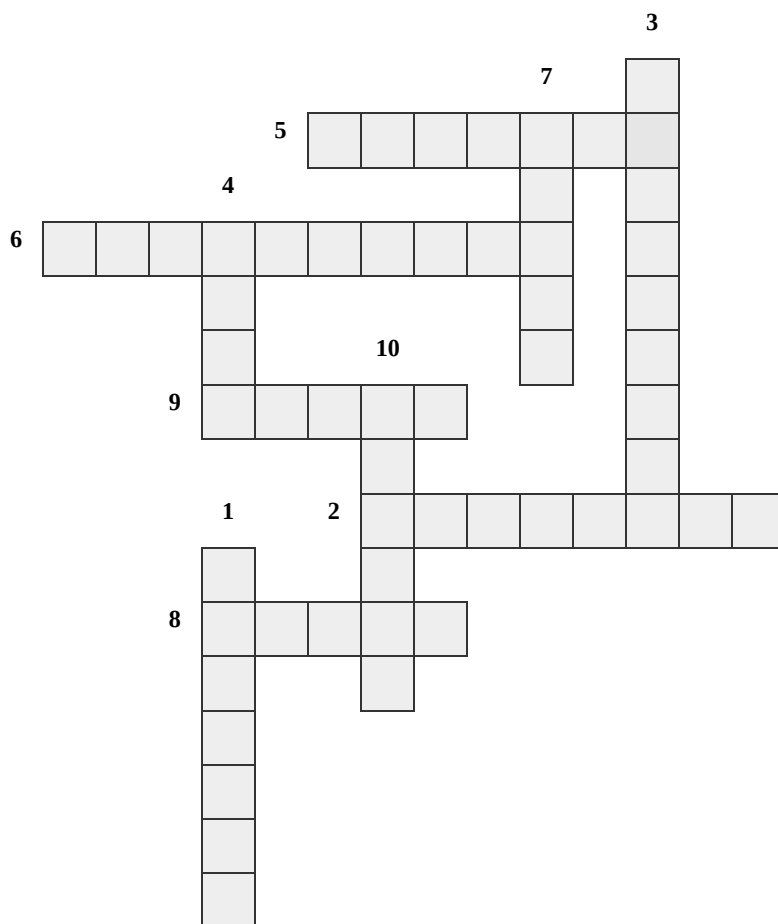


Большая олимпиада Росхим по химии и химической технологии

2024-2025 учебный год
Задания отборочного этапа
10 класс

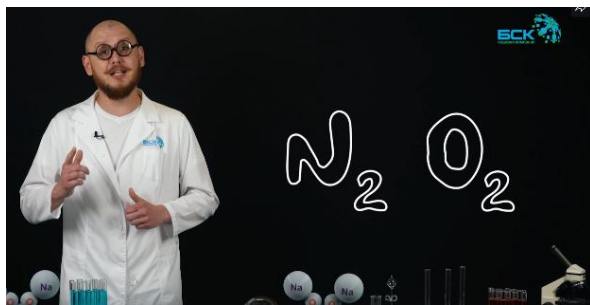
Задача 1. Кроссворд

В этом задании мы предлагаем вам разгадать кроссворд, посвященный компании АО «Росхим» и химическому производству.



1. Торговое название азотно-фосфорного гранулированного удобрения.
2. Серосодержащая аминокислота, являющаяся незаменимой аминокислотой для животных и птиц, синтезируется на предприятии «Волжский оргсинтез».
3. Полициклический амин, использующийся в быту в качестве сухого горючего и получаемый взаимодействием аммиака с формальдегидом, производится предприятием «Метафракс Кемикалс».
4. Пережженный каменный уголь, используемый при выплавке железной руды, а также в качестве топлива в печах и кузницах.
5. Вещество, состоящее из макромолекул с цепным строением и повторяющимися звеньями. Примером таких соединений является ПВХ — продукт предприятия «Башкирская содовая компания».
6. Окислительно-восстановительный процесс, происходящий в растворе или расплаве электролита под действием постоянного электрического тока. Применяется для получения хлора предприятием «Башкирская содовая компания».
7. Жидкий чёрный остаток после отгонки нефти, переработкой которого получают автомобильные масла, парафин и нефтяной битум.
8. Углеводород, являющийся основным составляющим природного газа.
9. Материал, состоящий из двух и более компонентов, по крайней мере один из которых металл. Например: чугун, бронза, латунь.
10. Газ, получаемый в промышленности процессом Габера-Боша из водорода и атмосферного азота.

Задача 2. Кислород



Ознакомьтесь с [видео из серии «Уроки химии с Росхим»](#), посвященным кислороду. Одним из способов его получения является разложение перманганата калия (*реакция 1*). Подтвердить образование кислорода можно по воспламенению тлеющей лучины, кроме того, как было показано

в видеоуроке, в кислороде голубым пламенем разгорается нагретая сера с образованием сернистого газа (*реакция 2*).

1. Рассчитайте массу перманганата калия, которую необходимо разложить для того, чтобы заполнить кислородом стакан объёмом 400 мл, и рассчитайте массу серы, которую можно сжечь в данном количестве кислорода. *Ответы выразите в г, округлив до сотых.*

Самым доступным в быту способом получения кислорода является разложение пероксида водорода (*реакция 3*), который используется для обеззараживания в виде 3% раствора. В лабораторных условиях пероксид водорода получают реакцией соединения бария **А** с разбавленной серной кислотой и образованием осадка **Б** (*реакция 4*).

2. Рассчитайте объём кислорода (н.у.), который можно получить при полном разложении пероксида водорода, содержащегося в 100 мл его 3 % раствора, плотность раствора считайте равной 1 г/мл. *Ответ выразите в мл, округлив до целых.* Приведите формулу соединений **А-Б**, если известно, что массовая доля кислорода в **А** равна 18,93 %.

Кислород применяют для выплавки металлов, в качестве окислителя ракетного топлива, в медицине, значительная часть получаемого кислорода используется в производстве оксида титана (IV), широко применяющегося пигмента белого цвета. Одним из способов его синтеза является обжиг минерала ильменита FeTiO_3 в избытке кокса (углерода) в токе хлора (*реакция 5*), при этом в реакции образуются хлорид железа **В**, хлорид титана **Г** и газообразный оксид **Д**. Последней стадией синтеза оксида титана (IV) является либо гидролиз соединения **Г** водой (*реакция 6*) с образованием побочного летучего соединения **Е**, либо сжигание соединения **Г** в кислороде с регенерацией хлора (*реакция 7*).

3. Приведите сумму минимально возможных целочисленных коэффициентов в уравнении *реакции 5*. Приведите формулы соединений **В-Е**.

Упомянутую в видеоуроке аллотропную модификацию кислорода — озон — можно получить при действии на кислород тихим (без искр) электрическим зарядом (*реакция 8*). Определить же мольную долю озона в образовавшейся смеси с кислородом легче всего путём пропускания смеси через щелочной раствор иодида калия, реагирующего с озоном с образованием иода (*реакция 9*), концентрацию которого находят титриметрическим методом.

4. 45 мл (н.у.) смеси озона с кислородом пропустили через избыточное количество раствора иодида калия, который после количественно перенесли в мерную колбу на 250 мл и довели до метки дистиллированной водой. На титрование 20,0 мл аликвоты образовавшегося раствора иода в присутствии крахмала было затрачено 16,0 мл раствора тиосульфата натрия (*реакция 10*), имеющего концентрацию 0,001 моль/л. Вычислите объёмную долю озона в исходной смеси. *Ответ выразите в процентах (%), округлив до целых.*

Важной задачей ответственного подхода к химическому производству является предотвращение негативного влияния на окружающую среду, это относится и к проблеме состояния озонового слоя. Вещество **Ж** является известным растворителем, имеющим плотность 38,5 по гелию, который получают ректификацией смеси продуктов хлорирования метана. В свою очередь, из смеси продуктов взаимодействия **Ж** с фтороводородом можно выделить соединение **З** с плотностью 6,14 г/л (н.у.) — первый широко используемый хладагент. Однако соединение **З** обладает высокой озоноразрушающей активностью, вследствие чего, с целью сохранения озонового слоя, его производство было ограничено Монреальским протоколом в 1989 году.

5. Приведите формулы соединений **Ж-З**.

Задача 3. Топливо

Одним из основных продуктов нефтепереработки на предприятии «Газпром нефтехим Салават», является топливо, в частности, бензин. Бензин представляет собой смесь различных углеводородов, преимущественно алканов – от бутана C_4H_{10} до додекана $C_{12}H_{26}$.



Октановое число бензина означает его стойкость к детонации во время сжатия в двигателе внутреннего сгорания. Чем выше октановое число – тем меньше вероятность досрочного воспламенения топлива, появления «стука» в двигателе, перегрева и прочих неполадок.

Эталоном для измерения октанового числа принята смесь изооктана и *n*-гептана, где октановое число чистого изооктана равно 100, а чистого *n*-гептана – 0. К примеру, марка бензина АИ-92 обладает той же стойкостью к детонации, что и смесь 92% изооктана и 8% *n*-гептана.

1. Изобразите структурную формулу изооктана, если известно, что его название по системе ИЮПАК – 2,2,4-триметилпентан.

Принцип работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) основан на тепловом расширении газов, которые образуются при сгорании топлива, в результате чего прокручивается поршень, приводя машину в движение. При этом большая часть выделяемой теплоты ($Q_{\text{общ}}$) не преобразуется в механическую энергию, а расходуется на нагрев мотора и окружающей среды. Это соотношение характеризуется коэффициентом полезного действия (КПД):
$$\text{КПД} = \frac{Q_{\text{полез}}}{Q_{\text{общ}}} \cdot 100 \%, \text{ где } Q_{\text{полез}} - \text{теплота, расходуемая на совершение работы.}$$

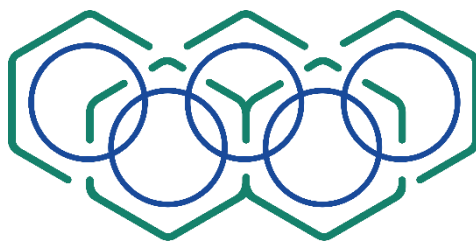
2. Напишите уравнения реакций сгорания изооктана и *n*-гептана в кислороде. В качестве ответов укажите минимальную целочисленную сумму коэффициентов для каждой реакции.

Ниже представлена таблица со стандартными теплотами образования некоторых веществ:

	$C_8H_{18}(ж)$	$H_2O(г)$	$CO_2(г)$	$O_2(г)$
$Q_f^0_{298}, \text{ кДж/моль}$	250,0	241,8	393,5	0

3. Рассчитайте стандартные теплоты сгорания изооктана и *n*-гептана, если известно, что при сгорании 1 г гептана выделяется 44,5 кДж тепла. Ответ выразите в кДж/моль, округлив до целых.
4. Расстояние от Армянска, самого западного города присутствия АО «Росхим», до самого восточного, Дальнегорска, составляет 10106 км. Рассчитайте стоимость бензина марки АИ-92, необходимого для переезда между этими городами на автомобиле LADA Granta. Средний расход топлива примите за 6 литров на 100 км пути, цену бензина марки АИ-92 примите за 53 рубля за литр. Ответ дайте в рублях, округлите до целого числа.
5. Найдите количество теплоты, которое израсходуется на нагрев двигателя и окружающей среды ($Q_{общ} - Q_{полез}$) при сжигании объема топлива из пункта 4. КПД бензинового двигателя считайте равным 25,7 %, а состав бензина примите за смесь 92 %_{объем.} изооктана и 8 %_{объем.} *n*-гептана. Плотность изооктана и *n*-гептана составляет 0,692 г/мл и 0,680 г/мл соответственно. Ответ выразите в кДж, округлив до целых.
6. Используя значение из пункта 5, рассчитайте, какую массу воды температурой 20 °С можно нагреть до кипения при помощи потерянной теплоты. Если вам не удалось решить пункт 5, используйте значение в 10 ГДж. Ответ дайте в тоннах, округлив до целых.

Справочная информация и формулы: $C_p(H_2O)=4,2 \text{ кДж/кг К}$;
 $Q = C_p m \Delta t$.



**Большая олимпиада Росхим
по химии и химической технологии**

2024-2025 учебный год
Решения отборочного этапа
10 класс

Задача 1. Кроссворд

1. Аммофос
2. Метионин
3. Уротропин
4. Кокс
5. Полимер
6. Электролиз
7. Мазут
8. Метан
9. Сплав
10. Аммиак

Система оценивания:

1. За каждый верный ответ

1 балл

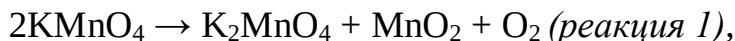
ИТОГО 10 баллов

Задача 2. Кислород

1. Количество кислорода при н.у. равно

$$n(O_2) = \frac{V(O_2)}{22,4} = \frac{0,4}{22,4} = 0,01786 \text{ моль.}$$

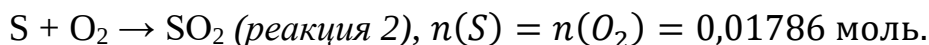
Согласно стехиометрии реакции разложения перманганата калия



$$n(KMnO_4) = 2 \cdot n(O_2) = 2 \cdot 0,01786 = 0,03572 \text{ моль.}$$

Откуда масса перманганата калия равна

$$m(KMnO_4) = n(KMnO_4) \cdot M(KMnO_4) = 0,03572 \cdot 158 = 5,64 \text{ г.} \quad \text{Согласно стехиометрии реакции серы с кислородом}$$



Откуда, масса серы равна

$$m(S) = n(S) \cdot M(S) = 0,01786 \cdot 32 = 0,57 \text{ г.}$$

2. Масса пероксида водорода равна

$$m(H_2O_2) = m_{p-ра}(H_2O_2) \cdot \omega(H_2O_2) = V_{p-ра}(H_2O_2) \cdot \rho_{p-ра}(H_2O_2) \cdot \omega(H_2O_2) = 100 \cdot 1 \cdot 0,03 = 3 \text{ г.} \quad \text{Количество пероксида водорода равно}$$

$$n(H_2O_2) = \frac{m(H_2O_2)}{M(H_2O_2)} = \frac{3}{34} = 0,0882 \text{ моль.} \quad \text{Согласно стехиометрии реакции разложения пероксида водорода } 2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2 \text{ (реакция 3),}$$

$$n(O_2) = \frac{1}{2} n(H_2O_2) = 0,0441 \text{ моль.}$$

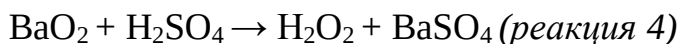
Объём кислорода при н.у. равен:

$$V(O_2) = n(O_2) \cdot 22,4 = 0,441 \cdot 22,4 = 0,988 \text{ л} = 988 \text{ мл.}$$

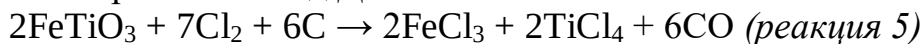
Массовая доля кислорода в соединении **A** равна 18,93 %, предположим, что вещество **A** бинарное, тогда массовая доля бария равна $100 - 18,93 = 81,07$ %. Найдём соотношение бария к кислороду в соединении **A**:

$$n(Ba):n(O) = \frac{\omega(Ba)}{M(Ba)} : \frac{\omega(O)}{M(O)} = \frac{0,8107}{137} : \frac{0,1893}{16} = 0,00592 : 0,0118 = 1 : 2.$$

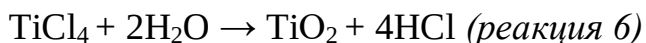
Тогда **A** — BaO_2 , а **Б** — $BaSO_4$.



3. При обжиге минерала ильменита $FeTiO_3$ образуются хлорид железа **B** — $FeCl_3$, хлорид титана **Г** — $TiCl_4$, и так как реакция происходит в избытке углерода, то газообразный оксид **Д** — CO .



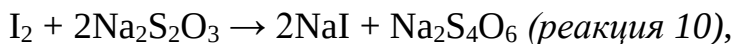
Сумма минимально возможных целочисленных коэффициентов равна 25.



Е — HCl

4. Количество тиосульфата натрия, израсходованное на титрование иода, равно $n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = V_{\text{р-ра}}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot c_{\text{р-ра}}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,016 \cdot 0,001 = 1,6 \cdot 10^{-5}$ моль.

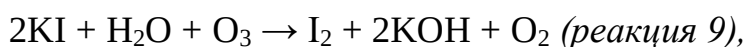
Согласно стехиометрии реакции



количество иода в 20,0 мл аликвоте равно

$$n(\text{I}_2) = \frac{1}{2} n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 8 \cdot 10^{-6} \text{ моль.} \quad \text{Тогда общее количество иода}$$
$$\text{равно } n_{\text{всего}}(\text{I}_2) = \frac{V_{\text{всего}}(\text{I}_2) \cdot n(\text{I}_2)}{V_{\text{аликвоты}}(\text{I}_2)} = \frac{250 \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{20} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ моль.}$$

Согласно стехиометрии реакции



$n(\text{O}_3) = n(\text{I}_2) = 1 \cdot 10^{-4}$ моль, откуда объём озона при н.у. равен

$$V(\text{O}_3) = n(\text{O}_3) \cdot 22,4 = 1 \cdot 10^{-4} \cdot 22,4 = 2,24 \cdot 10^{-3} \text{ л} = 2,24 \text{ мл,}$$

а объёмная доля озона соответственно равна

$$\omega(\text{O}_3) = \frac{V(\text{O}_3)}{V_{\text{всего}}} = \frac{2,24}{45} = 0,05 \text{ или } 5 \%$$

5. Так как вещество **Ж** имеет плотность 38,5 по гелию, то его молекулярная масса равна $M(\text{Ж}) = 38,5 \cdot M(\text{He}) = 38,5 \cdot 4 = 154 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$. Из всех продуктов хлорирования метана подходит CCl_4 . Откуда, **Ж** — CCl_4 . Соединение **З** — продукт замещения хлора на фтор в молекуле **Ж** реакцией с фтороводородом, при этом молекулярная масса соединения **З** равна $M(\text{З}) = \rho(\text{З}) \cdot 22,4 = 6,14 \cdot 22,4 = 137,5 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$. Следовательно, **З** — CFCl_3 .

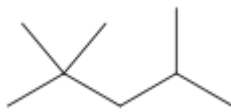
Система оценивания:

1. Масса KMnO_4	1 балл
Масса S	1 балл
2. Объём O_2	2 балла
Формулы соединений А-Б по 1,5 балла	3 балл
3. Формулы соединений В-Е по 1 баллу	4 балла
Сумма коэффициентов в реакции 5	2 балла
4. Объёмная доля O_3	4 балла
5. Формулы соединений Ж-З по 1,5 балла	3 балла

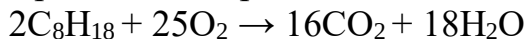
ИТОГО 20 баллов

Задача 3. Топливо

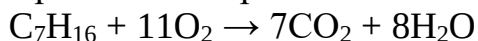
1. Структурная формула изооктана:



2. Уравнение сгорания изооктана, сумма коэффициентов – 61.



- Уравнение сгорания н-гептана, сумма коэффициентов – 27.



3. Стандартная теплота сгорания изооктана равна разнице теплоты образования продуктов и теплоты образования реагентов с учётом стехиометрических коэффициентов:

$$2 \cdot Q_r(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 18 \cdot Q_{f,298}^0(\text{H}_2\text{O}) + 16 \cdot Q_{f,298}^0(\text{CO}_2) - 2 \cdot Q_{f,298}^0(\text{C}_8\text{H}_{18}) - 25 \cdot Q_{f,298}^0(\text{O}_2) = 241,8 \cdot 18 + 393,5 \cdot 16 - 2 \cdot 250,0 = 10148 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Теплота сгорания изооктана рассчитывается на 1 моль вещества,

$$Q_r(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 5074 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Для н-гептана:

$$Q_r(\text{C}_7\text{H}_{16}) = \lambda(\text{C}_7\text{H}_{16}) \cdot M(\text{C}_7\text{H}_{16}) = 44,5 \cdot 100 = 4450 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

4. Расход топлива на весь путь составит

$$V(\text{топлива}) = \frac{10106}{100} \cdot 6 = 606,36 \text{ л}$$

Стоимость бензина составит $S = 606,36 \cdot 53 \approx 32137$ рублей.

5. Вычислим количество изооктана и н-гептана, исходя из их плотностей и молярной массы.

$$V(\text{C}_8\text{H}_{18}) = V(\text{топлива}) \cdot \omega_{\text{об.}}(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 606,36 \cdot 0,92 = 557,85 \text{ л.}$$

$$n(\text{C}_8\text{H}_{18}) = \frac{m(\text{C}_8\text{H}_{18})}{M(\text{C}_8\text{H}_{18})} = \frac{V(\text{C}_8\text{H}_{18}) \cdot \rho(\text{C}_8\text{H}_{18})}{M(\text{C}_8\text{H}_{18})} = \frac{557,85 \cdot 0,692}{0,114} = 3386,25 \text{ моль.}$$

$$V(\text{C}_7\text{H}_{16}) = V(\text{топлива}) \cdot \omega_{\text{об.}}(\text{C}_7\text{H}_{16}) = 606,36 \cdot 0,08 = 48,5 \text{ л.}$$

$$n(\text{C}_7\text{H}_{16}) = \frac{m(\text{C}_7\text{H}_{16})}{M(\text{C}_7\text{H}_{16})} = \frac{V(\text{C}_7\text{H}_{16}) \cdot \rho(\text{C}_7\text{H}_{16})}{M(\text{C}_7\text{H}_{16})} = \frac{48,5 \cdot 0,68}{0,1} = 329,8 \text{ моль.}$$

$$Q_{\text{сгор.}}(\text{смеси}) = n(\text{C}_8\text{H}_{18}) \cdot Q_r(\text{C}_8\text{H}_{18}) + n(\text{C}_7\text{H}_{16}) \cdot Q_r(\text{C}_7\text{H}_{16}) = 3386,25 \cdot 5074 + 329,8 \cdot 4450 = 18649442,5 \text{ кДж.}$$

Количество теплоты, которое израсходуется на нагрев двигателя:

$$Q_{\text{нагрев}} = Q_{\text{сгор.}}(\text{смеси}) \cdot (1 - \eta) = 18649442,5 \cdot (1 - 0,257) = 13856536 \text{ кДж } (\pm 1000000 \text{ кДж}).$$

6. При использовании точного значения, масса воды равна:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{13856536}{4,2 \cdot 80} \approx 41240 \text{ л} \approx 41 \text{ тонна}$$

При использовании приближенного значения, объем воды равен:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{10000000}{4,2 \cdot 80} \approx 29762 \text{ л} \approx 30 \text{ тонн}$$

Система оценивания:

1. Структурная формула	2 балла
2. Суммы коэффициентов <i>по 2 балла</i>	4 балла
3. Теплоты сгорания <i>по 2 балла</i>	4 балла
4. Расчёт	2 балла
5. Расчёт	4 балла
6. Расчёт	4 балла

ИТОГО 20 баллов