

Большая олимпиада Росхим по химии и химической технологии

Решения заданий экспериментального тура
заключительного этапа
2024-2025 учебный год
10 класс



**МЕТАФРАКС
КЕМИКАЛС**

Химическое предприятие «Метафракс Кемикалс» (Пермский край) – единственный в России и один из крупнейших в Европе производителей уротропина, важного для химической технологии соединения. Его выпуск составляет порядка 35 тысяч тонн в год. Данное вещество находит широкое применение в различных отраслях промышленности: в производстве пластмасс, каучука и лаковой пленки, как отвердитель фенолформальдегидных смол, исходное вещество для органического синтеза, топливо («сухой спирт») и антисептик.

- 1. Определите молекулярную формулу уротропина, если известно, что он содержит 51,4 % углерода, 40,0 % азота, 8,6 % водорода по массе, а его молярная масса, по данным масс-спектрометрии, находится в диапазоне от 90 до 180 г/моль.**

Предположим, что масса образца равна 100 г. Тогда массы элементов в образце составят: углерод 51,4 г, азот 40,0 г, водород 8,6 г., сумма 100 г, значит других элементов в составе уротропина нет.

Найдём количества вещества каждого элемента:

$$n_C = \frac{51,4}{12} \approx 4,283 \text{ моль}, n_N = \frac{40,0}{14} \approx 2,857 \text{ моль}, n_H = \frac{8,6}{1} = 8,6 \text{ моль}$$

Определим простейшее соотношение атомов:

$$\frac{n_C}{2,857} \approx \frac{4,283}{2,857} \approx 1,5, \frac{n_N}{2,857} \approx \frac{2,857}{2,857} = 1, \frac{n_H}{2,857} \approx \frac{8,6}{2,857} \approx 3$$

Чтобы получить целые числа, умножим все значения на 2, простейшая формула (эмпирическая) — $C_3N_2H_6$.

Диапазон молярной массы по условию: **90–180 г/моль**, $n = \frac{M_{\text{ист}}}{M_{\text{прост}}}$,

$\frac{90}{70} \approx 1,29$ и $\frac{180}{70} \approx 2,57$. Единственное целое число в этом интервале – 2.

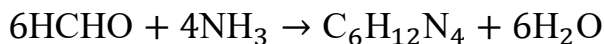
Следовательно, молекулярная формула: $(C_3N_2H_6)_2 = C_6N_4H_{12}$

4 балла (2 балла, если рассчитана простейшая формула)

Формула уротропина: $C_6N_4H_{12}$

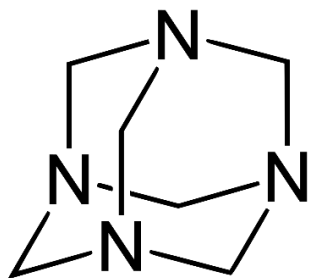
Технология получения уротропина, реализованная АО «Метафракс Кемикалс», принципиально новая и уникальна для России. Уротропин получается газожидкофазным методом при взаимодействии 55-процентного концентрированного формалина (водного раствора формальдегида) и газообразного аммиака. Производство экологично, стоки и отходящие газы утилизируются.

2. Приведите уравнение реакции образования уротропина.



2 балла (1 балл, если неверные коэффициенты)

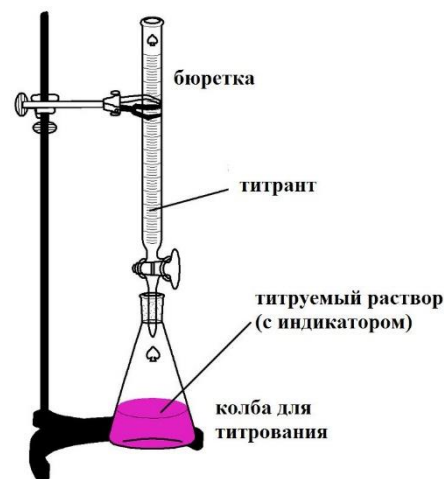
3. Изобразите структурную формулу уротропина, если известно, что он структурно подобен адамантану.



2 балла

Сегодня вам предстоит выступить в роли сотрудника аналитической лаборатории и провести химический анализ полупродукта получения уротропина методом кислотно-основного титрования, а также дать заключение о его соответствии требованиям. Титрование – это метод количественного анализа, основанный на измерении объёма раствора реактива точно известной концентрации, расходуемого для полного протекания реакции с определяемым веществом неизвестной концентрации.

Для анализа в колбу для титрования отбирают аликвоту (пробу) анализируемого раствора, при необходимости добавляют индикатор. Бюретку заполняют раствором титранта (вещества с точно известной концентрацией), устанавливают нулевое деление. Титрование проводят, медленно приливая титрант из бюретки при постоянном перемешивании. При полном прохождении реакции изменяется окраска раствора, что свидетельствует о достижении конечной точки титрования. После этого фиксируют объём затраченного титранта, и рассчитывают концентрацию определяемого вещества, используя уравнение реакции.



4. Рассчитайте молярную концентрацию раствора гидроксида натрия, моль/л, если известно, что на титрование его аликвоты объемом 10,00 мл затрачено 14,7 мл соляной кислоты с концентрацией 0,1000 моль/л.

Уравнение реакции: $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$

$$n_{\text{NaOH}} = n_{\text{HCl}},$$

$$n_{\text{HCl}} = C_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} = 0,1000 \text{ моль/л} \times 0,0147 \text{ л} = 0,00147 \text{ моль} = n_{\text{NaOH}},$$

$$C_{\text{NaOH}} = \frac{n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{NaOH}}} = \frac{0,00147 \text{ моль}}{0,010 \text{ л}} = 0,147 \text{ моль/л}$$

4 балла (если допущена ошибка в единицах измерения величин, но логика верная, **2 балла**)

Концентрация раствора: 0,147 моль/л

5. Определение уротропина основано на его взаимодействии с соляной кислотой. Приведите уравнение реакции.

Вследствие наличия атомов азота, содержащих неподеленные электронные пары, уротропин может выступать донором электронной пары (основание Льюиса) по отношению к протону и при реакции с кислотами образовывать соли: $C_6H_{12}N_4 + HCl \rightarrow C_6H_{12}N_4^+ Cl^-$.

2 балла

Для фиксирования конечной точки титрования применяют индикатор бромфеноловый синий: в кислой среде индикатор имеет желтый цвет, а в щелочной – насыщенный синий.

6. Какие еще кислотно-основные индикаторы вы знаете? Назовите два любых индикатора и приведите их окраску.

Индикатор	Цвета индикаторов в разных средах		
	Кислая	Нейтральная	Щелочная
фенолфталеин	бесцветный (в сильноокислой среде ярко-розовый, но указание этого не требуется)	бесцветный	малиновый
метиловый оранжевый	красный	оранжевый	желтый
лакмус	красный	фиолетовый	синий

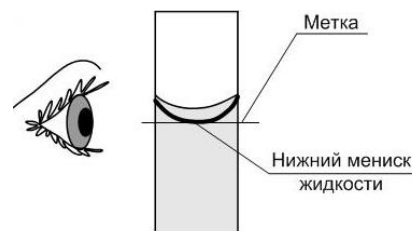
Принимаются любые разумные ответы, по 0,5 балла за индикатор и 0,5 балла за его окраску, всего за пункт **2 балла**.

Методика проведения работы:

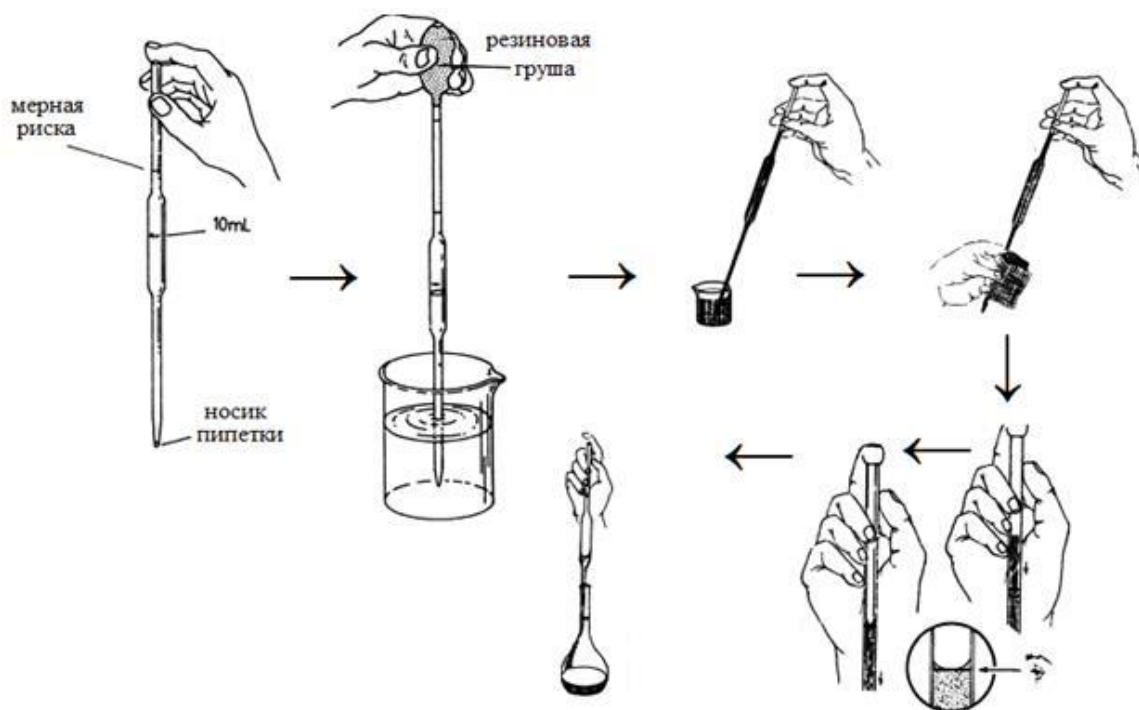
В выданном вам контейнере находится образец уротропина. Используя предоставленные реактивы и оборудование, вам необходимо оттитровать выданный образец и определить массовую долю чистого уротропина в образце.

1. Используя воронку, количественно перенесите весь образец уротропина в мерную колбу на 100 мл. Если в контейнере остались крупинцы вещества, растворите их в небольшом количестве воды и также внесите в колбу, тщательно ополосните контейнер и воронку, собирая промывные воды в колбе.

2. Заполните мерную колбу водой строго до метки. Границу раствора по метке определяйте по нижнему мениску. Плотнo закройте колбу пробкой и тщательно перемешайте, переворачивая колбу вверх дном 30-40 раз.



3. Ополосните пипетку Мора сначала водой, а затем исследуемым раствором. Для этого с помощью груши всосите в неё небольшое количество раствора. Не допуская слива в стакан с образцом, зажмите конец пипетки и ополосните её стенки раствором, слейте раствор в слив.
4. Используя пипетку Мора и грушу, отберите аликвоту 10 мл из мерной колбы и перенесите в коническую колбу. Отложите мерную колбу в сторону до окончания цикла титрования.



5. Внесите в коническую колбу ~20 мл воды, добавьте в колбу 2-3 капли индикатора бромфенолового синего из капельницы и тщательно перемешайте. Ваш исследуемый раствор готов.
6. Вам необходимо подготовить бюретку. Для этого слейте дистиллированную воду с помощью шарика и один раз ополосните ее изнутри раствором соляной кислоты. Для этого используйте соответствующую малую воронку, не вынимая бюретку из зажима.

7. После этого заполните бюретку раствором титранта (соляной кислотой) до нулевой отметки по нижнему мениску. Проверьте, чтобы в резиновой части бюретки не было пузырей. Если они есть, их необходимо удалить. Если у вас возникнут с этим трудности, обратитесь за помощью к членам жюри.
8. Начните титровать ранее приготовленный в конической колбе раствор. Титруйте по каплям, чтобы точно зафиксировать конечную точку титрования (момент перехода окраски). Титрование необходимо вести до перехода окраски из синей в желтую. Как только вы заметите переход окраски раствора, прекращайте титрование и запишите затраченный объем соляной кислоты в таблицу (по нижнему мениску).
9. Для достоверности результатов проведите титрование еще раз (повтор шагов 4-5, 7-8). Не забывайте доливать титрант в бюретку до нулевой отметки перед каждым новым титрованием. Результат считается приемлемым, если различие между объемами титранта в каждом титровании не превышает 0,1 мл. При необходимости повторите анализ и отбросьте выпадающие значения.
10. Найдите среднее значение объема титранта и приступите к обработке результатов.

Титрование	V ₁	V ₂	V ₃		
Объем, мл					

Среднее значение $V_{\text{ср}} = \underline{\hspace{2cm}}$

Точность определения уротропина оценивается, исходя из разницы (ΔV , мл) между величиной среднего объема титранта, который участник затратил на титрование, и ожидаемым значением, в соответствии с таблицей:

ΔV , мл	Баллы
$\leq 0,30$	20
0,30 – 0,60	17
0,60 – 1,20	14
1,20 – 1,80	12
$\geq 1,80$	10

7. Рассчитайте массовую долю уротропина в смеси. Приведите подробный расчет и расчет в общем виде.

Количество HCl, израсходованное на титрование (моль):

$$n_{\text{HCl, моль}} = C_{\text{HCl, } \frac{\text{моль}}{\text{л}}} \times V_{\text{ср., мл}} \times 10^{-3}$$

Количество уротропина в аликвоте (моль): $n_{\text{уротропин, ал}} = n_{\text{HCl}}$

Количество уротропина в мерной колбе (моль):

$$n_{\text{уротропин, общ, моль}} = n_{\text{уротропин, ал, моль}} \times \frac{V_{\text{м.к., мл}}}{V_{\text{ал, мл}}}$$

Масса уротропина в навеске (г):

$$m_{\text{уротропин, г}} = n_{\text{уротропин, общ, моль}} \times M_{\text{уротропин, г/моль}}$$

Массовая доля уротропина в смеси (%):

$$\omega_{\text{уротропин}} = \left(\frac{m_{\text{уротропин}}}{m_{\text{смеси}}} \right) \times 100\%$$

Формула в общем виде:

$$\omega_{\text{уротропин, \%}} = \frac{C_{\text{HCl, } \frac{\text{моль}}{\text{л}}} \times V_{\text{ср., мл}} \times 10^{-3} \times M_{\text{уротропин, г/моль}} \times 100}{m_{\text{смеси, г}} \times \frac{V_{\text{м.к., мл}}}{V_{\text{ал, мл}}}}$$

Формула с подстановкой значений: $\omega_{\text{уротропин, \%}} = \frac{0,14 \times V_{\text{ср., мл}}}{m_{\text{смеси, г}}}$

4 балла (оценивается вывод формулы или логика расчета безотносительно точности титрования. При частично верном решении:

1 балл за расчет количества вещества уротропина в аликвоте,

1 балл за учет разбавления, **1 балл** за формулу массовой доли)

Система оценивания:

Теоретическая часть

1. Определение молекулярной формулы уротропина **4 балла**
по 4 балла
2. Уравнение реакции образования уротропина *по 2 балла* **2 балла**
балла
3. Изображение структурной формулы уротропина *по 2 балла* **2 балла**
2 балла
4. Расчет молярной концентрации гидроксида натрия **4 балла**
по 4 балла
5. Уравнение реакции уротропина и соляной кислоты **2 балла**
по 2 балла
6. Приведение двух примеров индикаторов *по 0,5 балла* **2 балла**
балла и указание из цветов в разных средах по 0,5 балла

Экспериментальная часть

7. Определение среднего значения объема титранта **20 баллов**
по 20 баллов
8. Расчет массовой доли уротропина в смеси *по 4 балла* **4 балла**
балла

ИТОГО 40 баллов