

Большая олимпиада Росхим по химии и химической технологии

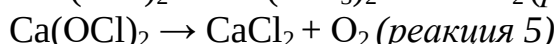
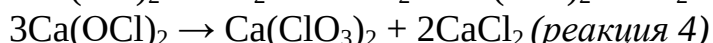
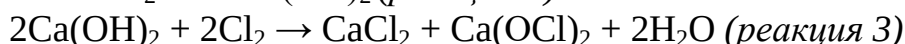
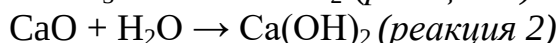
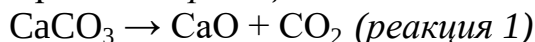
2024-2025 учебный год

Решения заключительного этапа

11 класс

Задача 1. Метод Либиха

1. Уравнения реакций 1-6:



2. Общая масса KClO_3 в растворе равна

$$m(\text{KClO}_3)_{\text{общ}} = V(\text{р-ра}) \cdot c(\text{KClO}_3) = 1000 \cdot 160 = 160000 \text{ г}$$

Масса KClO_3 в оставшемся после кристаллизации растворе равна

$$m(\text{KClO}_3)_{\text{ост}} = V(\text{р-ра}) \cdot S(\text{KClO}_3) = 1000 \cdot \frac{8,6}{0,1} = 86000 \text{ г}$$

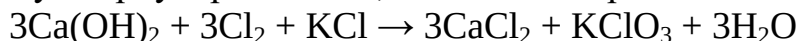
Масса выпавшего KClO_3 равна

$$m(\text{KClO}_3)_{\text{осадок}} = m(\text{KClO}_3)_{\text{общ}} - m(\text{KClO}_3)_{\text{ост}} = 160 - 86 = 74 \text{ кг}$$

Выход кристаллизации

$$\eta(\text{KClO}_3) = \frac{m(\text{KClO}_3)_{\text{осадок}}}{m(\text{KClO}_3)_{\text{общ}}} = \frac{74}{160} = 0,4625 \text{ или } 46,25 \%$$

3. Суммарную реакцию 3,4 и 6 можно представить как:



$$\text{Тогда } c(\text{CaCl}_2) = 3 \cdot c(\text{KClO}_3) = 160 \cdot 3 = 480 \frac{\text{г}}{\text{л}}$$

Масса хлорида кальция равна

$$m(\text{CaCl}_2) = V(\text{р-ра}) \cdot c(\text{CaCl}_2) = 480000 \text{ г}$$

Количество моль кристаллогидрата равно соответственно

$$n(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = n(\text{CaCl}_2) = \frac{m(\text{CaCl}_2)}{M(\text{CaCl}_2)} = \frac{480000}{111} = 4324 \text{ моль}$$

Теоретическая масса $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ равна

$$m(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = n(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 4324 \cdot 219 = 947 \text{ кг}$$

4. Пусть масса раствора равна 100 г, тогда масса хлорида кальция равна 67 г, а масса воды равна 33 г.

$$n(\text{CaCl}_2):n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{CaCl}_2)}{M(\text{CaCl}_2)} : \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{67}{111} : \frac{33}{18} = 0,6036:1,833 \approx 1:3$$

Условная формула кальция при данной концентрации $\text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, откуда очевидно, что получаемые $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ будут образовываться в мольном соотношении 1:1.

5. Уравнение диссоциации хлорида кальция в воде $\text{CaCl}_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{Cl}^-$

При этом образуется 3 иона, соответственно $i = 3$.

6. Преобразуем формулу

$$\Delta T = i \cdot K \cdot C_m = i \cdot K \cdot \frac{\nu(\text{растворённого в - ва})}{m(\text{растворителя})}$$

$$\nu(\text{растворённого в - ва}) = \frac{\Delta T \cdot m(\text{растворителя})}{i \cdot K}$$

$$\Delta T = 5 \text{ K}, i = 3, K = 1,86 \text{ K} \cdot \text{кг/моль}$$

$$C_m = \frac{\nu(\text{растворённого в - ва})}{m(\text{растворителя})}, \text{ размерность [моль/кг]!}$$

Масса льда равна

$$m(\text{лёд}) = V \cdot \rho = 3700 \text{ м} \cdot 60 \text{ м} \cdot 0,01 \text{ м} \cdot 0,917 \text{ кг/м}^3 = 2036 \text{ кг}$$

Количество моль хлорида кальция равно

$$\nu(\text{CaCl}_2) = \frac{\Delta T \cdot m(\text{лёд})}{i \cdot K} = \frac{5 \text{ K} \cdot 2036 \text{ кг}}{3 \cdot 1,86 \text{ K} \cdot \text{кг/моль}} = 1824,4 \text{ моль}$$

Откуда масса хлорида кальция

$$m(\text{CaCl}_2) = \nu(\text{CaCl}_2) \cdot M(\text{CaCl}_2) = 1824,4 \text{ моль} \cdot 111 \text{ г/моль} = 202,5 \text{ кг}$$

Система оценивания:

- | | |
|--|----------|
| 1. Уравнения реакций 1-6 по 1,5 балла | 9 баллов |
| 2. Расчёт массы KClO_3 2 балл
Расчёт выхода 1 балл | 3 балла |
| 3. Расчёт концентрации CaCl_2 1 балл
Расчёт массы $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1 балла | 2 балла |
| 4. Расчёт соотношения $\text{CaCl}_2:\text{H}_2\text{O}$ 1 балл
Вывод о соотношении кристаллогидратов
1 балл | 2 балла |
| 5. Уравнение реакции диссоциации 1 балл
Изотонический коэффициент 1 балл | 2 балла |
| 6. Расчёт массы CaCl_2 2 балл | 2 балла |

ИТОГО 20 баллов

Задача 2. Пропан-бутановая смесь

1. В 1 баллоне находится общий объем углеводородов равный $V = V(\text{баллона}) \cdot \varphi(\text{газов}) = 5 \cdot 0,85 = 4,25$ л; Рассчитаем объем жидких углеводородов, при этом не забыв перевести объемы в м^3 . Тогда объем пропана равен $V(\text{C}_3\text{H}_8) = 4,25 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} = 2,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, а бутана $V(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 4,25 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Рассчитаем массу газов:

$$m(\text{C}_3\text{H}_8) = \rho(\text{C}_3\text{H}_8 \text{ жидк.}) \cdot V(\text{C}_3\text{H}_8 \text{ жидк.}) = 528 \cdot 2,55 \cdot 10^{-3} = 1,35 \text{ кг};$$

$$m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \rho(\text{C}_4\text{H}_{10} \text{ жидк.}) \cdot V(\text{C}_4\text{H}_{10} \text{ жидк.}) = 601 \cdot 1,7 \cdot 10^{-3} = 1,02 \text{ кг}$$

2. Рассчитаем, какой объём каждого из газов нужно сконденсировать, чтобы заполнить 1 баллон. Пересчитаем объемы на газообразное агрегатное состояние углеводородов.

$$V(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_8)}{\rho(\text{C}_3\text{H}_8 \text{ газ})} = \frac{1,35}{1,96} = 0,689 \text{ м}^3$$

$$V(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{m(\text{C}_4\text{H}_{10})}{\rho(\text{C}_4\text{H}_{10} \text{ газ})} = \frac{1,02}{2,70} = 0,378 \text{ м}^3$$

Значит, такие объемы газов идут на заполнение 1 баллона.

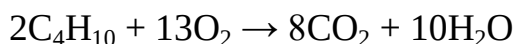
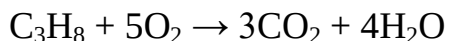
Найдем общий объем природного газа по пропану и бутану. По пропану:

$$V(\text{газа}) = \frac{V(\text{C}_3\text{H}_8 \text{ газ.})}{\varphi(\text{C}_3\text{H}_8)} = \frac{0,689}{0,01} = 68,9 \text{ м}^3.$$

По бутану:

$$V(\text{газа}) = \frac{V(\text{C}_4\text{H}_{10} \text{ газ.})}{\varphi(\text{C}_4\text{H}_{10})} = \frac{0,378}{0,005} = 75,6 \text{ м}^3.$$

3. Баллон нельзя заполнять на весь объём, так как под действием внутреннего давления сжиженного газа, который очень легко испаряется, давление внутри может быть нестабильно и баллон может «разорвать».
4. При низкой температуре, баллон может охладиться до температуры ниже $-0,5^\circ\text{C}$, что приведёт к **полной конденсации н-бутана** в баллоне, в результате чего он не будет выходить из баллона, будет отсутствовать газовая шапка.
5. Реакции сгорания пропана и бутана:



В «зимней» смеси в баллоне находится:

$$m(\text{C}_3\text{H}_8) = \rho(\text{C}_3\text{H}_8 \text{ жидк.}) \cdot V(\text{C}_3\text{H}_8 \text{ жидк.}) = 528 \cdot 4,25 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} = 1,57 \text{ кг}$$

$$m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \rho(\text{C}_4\text{H}_{10} \text{ жидк.}) \cdot V(\text{C}_4\text{H}_{10} \text{ жидк.}) = 601 \cdot 4,25 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} = 0,766 \text{ кг}$$

Пусть удельная теплота сгорания пропана $q(\text{C}_3\text{H}_8) = x$, а н-бутана $q(\text{C}_4\text{H}_{10}) = y$. Тогда для «зимней» смеси

$$Q(C_3H_8) = q(C_3H_8) \cdot m(C_3H_8) = x \cdot 1,57$$

$$Q(C_4H_{10}) = q(C_4H_{10}) \cdot m(C_4H_{10}) = y \cdot 0,766$$

$$Q_{\text{зимняя}}(\text{общ.}) = Q(C_3H_8) + Q(C_4H_{10}) = 1,57x + 0,766y = 109,658 \text{ МДж}$$

А для «летней» смеси:

$$Q(C_3H_8) = q(C_3H_8) \cdot m(C_3H_8) = x \cdot 1,35$$

$$Q(C_4H_{10}) = q(C_4H_{10}) \cdot m(C_4H_{10}) = y \cdot 1,02$$

$$Q_{\text{летняя}}(\text{общ.}) = Q(C_3H_8) + Q(C_4H_{10}) = 1,35x + 1,02y = 110,841 \text{ МДж}$$

Откуда, решая систему уравнений

$$q(C_4H_{10}) = y = \frac{110,841 \cdot 1,57 - 109,658 \cdot 1,35}{1,02 \cdot 1,57 - 0,766 \cdot 1,35} = 45,8 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$$

$$q(C_3H_8) = x = \frac{(109,658 - 45,8 \cdot 0,766)}{1,57} = 47,5 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$$

$$\Delta H_{\text{сгор.}}(C_4H_{10}) = q(C_4H_{10}) \cdot M(C_4H_{10}) = 45,8 \cdot 58 = 2656,4 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$$\Delta H_{\text{сгор.}}(C_3H_8) = q(C_3H_8) \cdot M(C_3H_8) = 47,5 \cdot 44 = 2090 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Система оценивания:

1. Расчёт масс углеводородов по 2 балла	4 балла
2. Расчёт объёмов природного газа по 2 балла	4 балла
3. Указание на взрыв	2 балла
4. Указание на конденсацию н-бутана	2 балла
5. Реакции сгорания по 1 баллу	8 баллов
Расчёт теплот сгорания по 3 балла	
ИТОГО	20 баллов

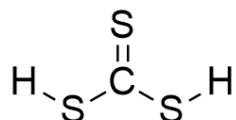
Задача 3. Флотационные агенты

1. Определим формулы веществ А-Г. Легче всего определить формулу вещества Г — Na_2CS_3 , так как при реакции А с Na_2S образуется только одно вещество Г, у которого состав идентичен Na_2CO_3 , однако атомы кислорода заменены на атомы простого вещества В. Отсюда можно сделать вывод, что В — элементарная сера (S), а кислота Д — H_2CS_3 , так как ей соответствует соль Na_2CS_3 .

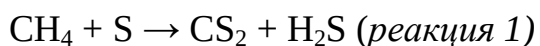
Вещество Б — метан (CH_4), так как он является основным компонентом природного газа. Отсюда А — CS_2 , так как он должен состоять из углерода и серы; проверка по массовой доле серы подтверждает эту идею.

$$\omega(\text{S}) = \frac{32 \cdot 2}{32 \cdot 2 + 12} = 0,8421$$

Структурная формула вещества Д:



Уравнения реакций 1-2:

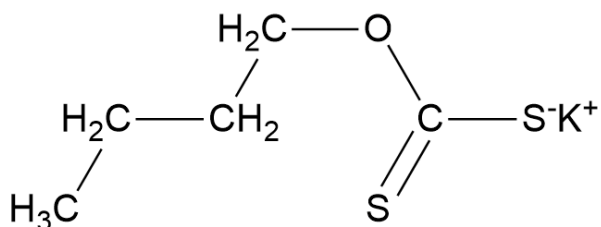


2. Сделаем расчет состава вещества Е, проверим сумму массовой доли каждого элемента: $31,91 + 4,79 + 8,51 + 20,74 = 65,95\%$ масс. Итоговая сумма меньше 100%, что означает, что Е содержит еще один элемент — серу. Примем массу вещества Е за 100 г и рассчитаем количество моль каждого элемента:

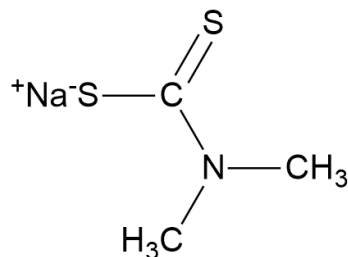
$$\begin{aligned} n(\text{C}):n(\text{H}):n(\text{O}):n(\text{K}):n(\text{S}) &= \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} : \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} : \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} : \frac{m(\text{K})}{M(\text{K})} : \frac{m(\text{S})}{M(\text{S})} = \\ &= \frac{31,91}{12} : \frac{4,79}{1} : \frac{8,51}{16} : \frac{20,74}{39} : \frac{34,05}{32} = \\ &= 2,66 : 4,79 : 0,53 : 0,53 : 1,06 = 5 : 9 : 1 : 1 : 2 \end{aligned}$$

Что соответствует формуле Е — $\text{C}_5\text{H}_9\text{OKS}_2$.

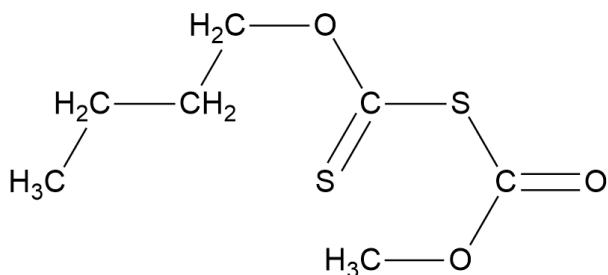
Исходя из информации, что Е — сложный эфир кислоты Д, участия н-бутанола и КОН в реакции получения Е, то вещество Е — это бутилксантогенат калия:



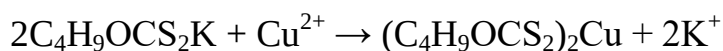
Вещество **Ж** является амидом кислоты **Д**, и при его получении участвует гидроксид натрия, значит его формула:



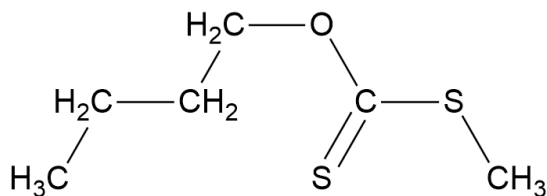
Вещество **З** получается реакцией метилхлорформиата на бутилксантогенат калия. В данной реакции уходит KCl , значит структурная формула **З**:



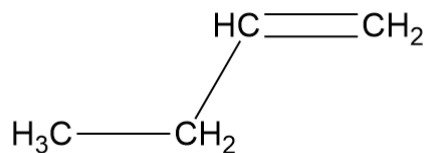
3. Бутилксантогенат калия **Е** может реагировать с ионами металлов в сульфидных рудах с образованием солей этих металлов. Реакция **Е** с ионами меди Cu^{2+} :



4. Вещество **И** получается при добавлении CH_3I к **Е**, при этом уходит KI , значит можно считать, что CH_3 - группа условно встает вместо калия:



При термическом разложении образуется алкен, метилмеркаптан и линейная молекула из 3 атомов. Метилмеркаптан содержит 1 атом водорода, который уходит от углеводородной цепи при образовании алкена, значит алкен **К** — бутен-1:



Если из состава **И** вычесть состав бутена-1 и метилмеркаптана, останется **Л** — карбонилсульфид COS со структурной формулой:



Система оценивания:

1. Формулы веществ А-Д по 1 баллу	8 баллов
Структурная формула Д 1 балл	
Уравнения реакций 1-2 по 1 баллу	
2. Структурные формулы веществ Е-З по 2 балла	6 баллов
3. Уравнение реакции Е с Cu^{2+}	1,5 балла
4. Структурные формулы веществ И-Л по 1,5 балла	4,5 балла
ИТОГО	20 баллов

Задача 4. Катализатор гидроочистки

1. При сжигании серосодержащих соединений образуется **А** — SO_2 , его выброс в атмосферу приводит к **кислотным дождям**. Так как в атмосфере SO_2 окисляется до SO_3 , который растворяясь в парах воды, образует H_2SO_4 .

2. В реакцию вступает следующая доля серы по массе

$$\omega(S) = \omega_{\text{диз.}}(S) - \omega_{\text{евро5}}(S) = 0,72 - 0,001 = 0,719 \%$$

Тогда масса серы равна

$$\begin{aligned} m(S) &= \omega(S) \cdot m(\text{диз.}) = \omega(S) \cdot V(\text{диз.}) \cdot \rho(\text{диз.}) \\ &= 0,00719 \cdot 0,159 \cdot 840 = 960 \text{ г} \end{aligned}$$

откуда количество сероводорода равно

$$n(\text{H}_2\text{S}) = n(S) = \frac{m(S)}{M(S)} = \frac{960}{32} = 30 \text{ моль}$$

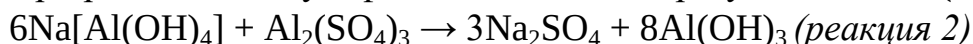
Объём сероводорода при н.у. равен

$$V(\text{H}_2\text{S}) = n(\text{H}_2\text{S}) \cdot V_m = 30 \cdot 22,4 = 672 \text{ л} = 0,672 \text{ м}^3$$

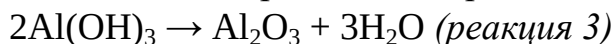
3. При растворении алюмината натрия образуется **Б** — $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$



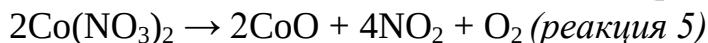
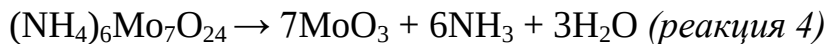
При реакции **А** с сульфатом алюминия образуется **В** — $\text{Al}(\text{OH})_3$



Разложение **В** приводит к образованию **Г** — Al_2O_3



Парамолибдат аммония и нитрат кобальта разлагаются согласно реакциям:



Так как из условий известно, что **Д** и **Е** — это сульфиды, то зная массовые доли металла и серы найдём их молярные соотношения в молекулах.

$$n(\text{Mo}):n(S) = \frac{\omega(\text{Mo})}{M(\text{Mo})} : \frac{\omega(S)}{M(S)} = \frac{0,6}{96} : \frac{0,4}{32} = 0,00625 : 0,0125 = 1:2$$

Откуда, **Д** — MoS_2

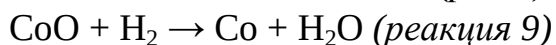
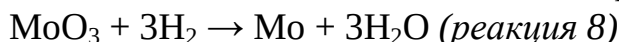
$$n(\text{Co}):n(S) = \frac{\omega(\text{Co})}{M(\text{Co})} : \frac{\omega(S)}{M(S)} = \frac{0,6743}{58,9} : \frac{0,3257}{32} = 0,01145 : 0,0102 = 9:8$$

Откуда, **Е** — Co_9S_8

Соответствующие реакции сульфидирования оксидов:



Реакции восстановления оксидов до простых соединений:



4. Уравнение *реакции 10*:



Масса катализатора равна

$$m(\text{кат.}) = V(\text{кат.}) \cdot \rho_{\text{насып.}}(\text{кат.}) = 40 \cdot 0,63 = 25,2 \text{ тонны}$$

Количество молибдена и кобальта равно

$$n(\text{Mo}) = \frac{m(\text{Mo})}{M(\text{Mo})} = \frac{m(\text{кат.}) \cdot \omega(\text{Mo})}{M(\text{Mo})} = \frac{25,2 \cdot 0,124 \cdot 10^6}{96} = 32550 \text{ моль}$$

$$n(\text{Co}) = \frac{m(\text{Co})}{M(\text{Co})} = \frac{m(\text{кат.}) \cdot \omega(\text{Co})}{M(\text{Co})} = \frac{25,2 \cdot 0,031 \cdot 10^6}{58,9} = 13263 \text{ моль}$$

Согласно стехиометрии реакций 6-7

$$n(\text{H}_2\text{S}) = 2 \cdot n(\text{Mo}) + \frac{8}{9} \cdot n(\text{Co}) = 2 \cdot 32550 + \frac{8}{9} \cdot 13263 = 76889 \text{ моль}$$

Согласно стехиометрии реакции 8

$$n(\text{ДМДС}) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{H}_2\text{S}) = \frac{1}{2} \cdot 76889 = 38444,5 \text{ моль}$$

Объём ДМДС равен

$$V(\text{ДМДС}) = \frac{m(\text{ДМДС})}{\rho(\text{ДМДС})} = \frac{n(\text{ДМДС}) \cdot M(\text{ДМДС})}{\rho(\text{ДМДС})} = \frac{38444,5 \cdot 94}{1,06} = 3,41 \text{ м}^3$$

С учётом 30 % избытка $V(\text{ДМДС}) = 1,3 \cdot 3,41 = 4,43 \text{ м}^3$.

Система оценивания:

1. Формула соединения А 1 балл	2 балла
Указание на кислотный дождь 1 балл	
2. Расчёт объёма H_2S	1 балл
3. Формулы соединений Б-Е по 1 баллу	14 баллов
Уравнения реакций 1-9 по 1 баллу	
4. Уравнение реакции 10 1 балл	3 балла
Расчёт объёма ДМДС 2 балла	
ИТОГО	20 баллов

Задача 5. И снова о катализе

1. Площадь поверхности катализатора равна

$$S_{\text{пов.}} = SA \cdot m_{\text{навески}} = 150 \cdot 1000 = 150000 \text{ м}^2$$

Количество футбольных полей соответственно равно

$$N = \frac{S_{\text{пов.}}}{S_{\text{поля}}} = \frac{150000}{105 \cdot 68} = 21$$

2. Фенильные кольца представляют собой правильные шестиугольники, тогда диаметр дифенила можно рассчитать как

$$d = 2 \cdot d(C-H) + 4 \cdot d(C-C) + d_{\sigma}(C-C) =$$

$$= 2 \cdot 0,108 + 4 \cdot 0,140 + 0,148 = 0,924 \text{ нм}$$



Тогда диаметр пор равен $d_{\text{пор}} = 10d = 9,24 \text{ нм}$

3. Масса воды в порах равна

$$m(H_2O) = m_{\text{кип.}}(\text{кат.}) - m(\text{кат.}) = 4,4 - 3,0 = 1,4 \text{ г}$$

Объём пор соответственно равен объёму воды в порах

$$V_{\text{пор}} = \frac{m(H_2O)}{\rho(H_2O)} = \frac{1,4}{1} = 1,4 \text{ мл}$$

Откуда, удельный объём пор равен

$$PV = \frac{V_{\text{пор}}}{m_{\text{навески}}} = \frac{1,4}{3,0} = 0,47 \frac{\text{мл}}{\text{г}}$$

Количество азота, адсорбированного на катализаторе равно

$$n(N_2) = \frac{V(N_2)}{22,4} = \frac{0,0031}{22,4} = 1,38 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

Площадь поверхности катализатора равна произведению площади, занимаемой одной молекулой азота, на количество молекул азота

$$S_{\text{пов.}} = N(N_2) \cdot S(N_2) = N_a \cdot n(N_2) \cdot S(N_2)$$

Удельная площадь поверхности равна соответственно

$$SA = \frac{S_{\text{пов.}}}{m_{\text{навески}}} = \frac{N_a \cdot n(N_2) \cdot S(N_2)}{m_{\text{навески}}} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 1,38 \cdot 10^{-4} \cdot 0,16 \cdot 10^{-18}}{0,06} = 221,5 \frac{\text{м}^2}{\text{г}}$$

Средний размер пор

$$APD = \frac{4000 \cdot PV}{SA} = \frac{4000 \cdot 0,47}{221,5} = 8,5 \text{ нм}$$

4. Эффективная глубина поры равна

$$L = \frac{V_{\text{гранулы}}}{S_{\text{поверхности гранулы}}} = \frac{\frac{4}{3}\pi R^3}{4\pi R^2} = \frac{R}{3} = \frac{0,21}{3} = 0,07 \text{ см}$$

Эффективная константа скорости реакции в поре равна

$$K_{\text{эфф.}} = \frac{D}{L^2} \cdot M \cdot \frac{e^M - e^{-M}}{e^M + e^{-M}} = \frac{6,2 \cdot 10^{-3}}{0,07^2} \cdot 1,421 \cdot \frac{e^{1,421} - e^{-1,421}}{e^{1,421} + e^{-1,421}} = 1,6 \text{ с}^{-1}.$$

5. Эффективная глубина поры равна при $h = R$

$$L = \frac{V_{\text{гранулы}}}{S_{\text{поверхности гранулы}}} = \frac{\pi R^2 h}{2\pi R h + 2\pi R^2} = \frac{R}{4} = \frac{0,21}{4} = 0,0525 \text{ см}$$

Эффективная константа скорости реакции в поре равна

$$K_{\text{эфф.}} = \frac{D}{L^2} \cdot M \cdot \frac{e^M - e^{-M}}{e^M + e^{-M}} = \frac{6,2 \cdot 10^{-3}}{0,0525^2} \cdot 1,421 \cdot \frac{e^{1,421} - e^{-1,421}}{e^{1,421} + e^{-1,421}} = 2,84 \text{ с}^{-1}.$$

Эффективная константа скорости реакции больше у катализатора с **цилиндрической формой**, и она с точки зрения кинетики данного процесса является предпочтительной формой гранул катализатора.

Система оценивания:

1. Расчёт количества футбольных полей	3 балла
2. Расчёт диаметра пор	3 балла
3. Расчёт PV 3 балла Расчёт SA 3 балла Расчёт APD 1 балл	7 баллов
4. Расчёт L 2 балла Расчёт K_{эфф.} 2 балла	4 балла
5. Расчёт L 1 балл Расчёт K_{эфф.} 1 балл Вывод о предпочтительной форме 1 балл	3 балла
ИТОГО	20 баллов