

Теоретическая часть

11 Класс

№1

I вариант

Решение:

1) По условию массовая доля водорода в соединении **X**:

$$\omega(H) = \frac{n}{M(X)} \cdot 100\% = 5.88\%$$

Откуда можно выразить молярную массу неизвестного вещества: $M(X) = 17n$, где n – число атомов водорода

n	1	2	3	4
M(X), г/моль	17	34	51	68

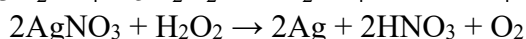
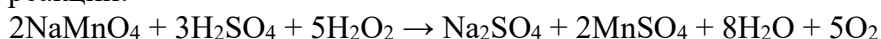
Наиболее подходящие варианты при $n = 2$ – перекись водорода или сероводород. Однозначный вывод по указанным в условии свойствам сделать не удастся. Проанализируем состав возможных кристаллогидратов:

$H_2O_2 \cdot mH_2O$	$H_2S \cdot mH_2O$
$\omega(O) = \frac{32 + 16m}{34 + 18m} \cdot 100\% = 91.43\%$	$\omega(O) = \frac{16m}{34 + 18m} \cdot 100\% = 91.43\%$
$m = 2$	$m = -67.6$

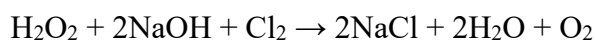
Таким образом:

X	Y
H_2O_2	$H_2O_2 \cdot 2H_2O$

2) Уравнения реакций:



3) Лабарракова вода образуется путем насыщения хлором водного раствора гидроксида натрия и является сильнейшим окислителем, взаимодействие будет протекать согласно уравнению:



II вариант

Решение:

1) По условию массовая доля водорода в соединении **X**:

$$\omega(H) = \frac{n}{M(X)} \cdot 100\% = 5.88\%$$

Откуда можно выразить молярную массу неизвестного вещества: $M(X) = 17n$, где n – число атомов водорода

n	1	2	3	4
M(X), г/моль	17	34	51	68

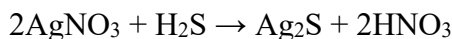
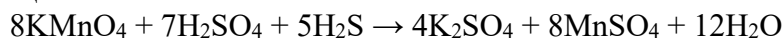
Наиболее подходящие варианты при $n = 2$ – перекись водорода или сероводород. Однозначный вывод по указанным в условии свойствам сделать не удастся. Проанализируем состав возможных гидратов:

$$\begin{array}{cc} \text{H}_2\text{O}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O} & \text{H}_2\text{S} \cdot m\text{H}_2\text{O} \\ \omega(\text{O}) = \frac{32 + 16m}{34 + 18m} \cdot 100\% = 67.61\% & \omega(\text{O}) = \frac{16m}{34 + 18m} \cdot 100\% = 67.61\% \\ m = -2.35 & m = 6 \end{array}$$

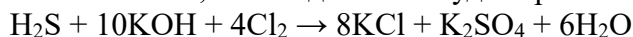
Таким образом:

X	Y
H ₂ S	H ₂ S·6H ₂ O

2) Уравнения реакций:



3) Жавелевая вода образуется путем насыщения хлором водного раствора гидроксида калия и является сильнейшим окислителем, взаимодействие будет протекать согласно уравнению:



Рекомендации к оцениванию:

1. Вещества X и Y по 1 баллу (без установления с учетом массовых долей или проверки – 0 баллов) 2 балла
2. Уравнения реакций по 1 баллу 2 балла
3. Указание на состав лабаракковой / жавелевой воды (в т.ч. в форме гипохлорита) и возможность протекания окислительно-восстановительной реакции по 0.5 балла 1 балл

ИТОГО: 5 баллов

№2

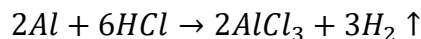
I вариант

1. Определим молярную концентрацию соляной кислоты:

$$C = \frac{n}{V} = \frac{m/M}{V} = \frac{m(p - p_a) \cdot w}{M \cdot V} = \frac{\rho \cdot V \cdot w}{M \cdot V} = \frac{\rho \cdot w}{M};$$

$$C = 6.0 \text{ моль/л}$$

2. Запишем уравнение реакции взаимодействия алюминия и хлороводорода:



Определим количество хлороводорода, вступившего в реакцию:

$$n(\text{HCl}) = \frac{0,1 \text{ мл} \times 1,1 \text{ г} \times 20 \text{ г} \times 1 \text{ моль}}{1 \text{ мл} \times 100 \text{ г} \times 36,5 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 6 \times 10^{-4} \text{ моль}$$

Исходя из уравнения реакции хлороводорода и алюминия, можно заметить, что:

$$n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{HCl}) = 3 \times 10^{-4} \text{ моль}$$

Пользуясь уравнением Менделеева-Клапейрона, найдем объем водорода:

$$V(\text{H}_2) = \frac{nRT}{P}$$

$$V(H_2) = \frac{3 \times 10^{-4} \text{ моль} \times 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \times \text{моль}} \times (273 + 27) \text{ К}}{100000 \text{ Па}}$$

$$V(H_2) = 7,4826 \times 10^{-6} \text{ м}^3 = 7,4826 \text{ мл}$$

3. Найдем объем алюминия:

$$V(Al) = 6 \times 10^{-4} \text{ моль } HCl \times \frac{2 \text{ моль } Al}{6 \text{ моль } HCl} \times \frac{27 \text{ г } Al}{1 \text{ моль } Al} \times \frac{1 \text{ м}^3 Al}{2700 \text{ кг } Al}$$

$$V(Al) = 2 \times 10^{-6} \text{ м}^3 = 2 \times 10^{-3} \text{ см}^3$$

Если предположить, что образовавшееся отверстие имеет круглую форму, то в листе исчезнет алюминиевый цилиндр. Поскольку объем цилиндра равен $V = S \times h$, где S - площадь поверхности, а h - высота цилиндра, получим следующие значения:

$$S = \frac{V}{h} = \frac{2 \times 10^{-3} \text{ см}^3}{0,1 \text{ мм}} \times \frac{10^3 \text{ мм}^3}{1 \text{ см}^3} = 20 \text{ мм}^2$$

Так как отверстие имеет круглую форму, то воспользуемся формулой для нахождения площади окружности:

$$S = \pi R^2$$

$$R = \sqrt{\frac{20 \text{ мм}^2}{\pi}} = 2,5 \text{ мм}$$

$$D = 2R = 5 \text{ мм}$$

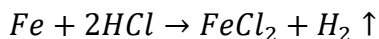
II вариант

1. Определим молярную концентрацию соляной кислоты:

$$C = \frac{n}{V} = \frac{m/M}{V} = \frac{m(p - pa) \cdot w}{M \cdot V} = \frac{\rho \cdot V \cdot w}{M \cdot V} = \frac{\rho \cdot w}{M};$$

$$C = 2.87 \text{ моль/л}$$

1. Запишем уравнение реакции взаимодействия алюминия и хлороводорода:



Определим количество хлороводорода, вступившего в реакцию:

$$n(HCl) = \frac{0,1 \text{ мл} \times 1,047 \text{ г} \times 10 \text{ г} \times 1 \text{ моль}}{1 \text{ мл} \times 100 \text{ г} \times 36,5 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 2,87 \times 10^{-4} \text{ моль}$$

Исходя из уравнения реакции хлороводорода и железа, можно заметить, что:

$$n(H_2) = \frac{1}{2} \times n(HCl) = 1,44 \times 10^{-4} \text{ моль}$$

Пользуясь уравнением Менделеева-Клапейрона, найдем объем водорода:

$$V(H_2) = \frac{nRT}{P}$$

$$V(H_2) = \frac{1,78 \times 10^{-4} \text{ моль} \times 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \times \text{моль}} \times (273 + 57) \text{К}}{100000 \text{ Па}}$$

$$V(H_2) = 4,884 \times 10^{-6} \text{ м}^3 = 3,95 \text{ мл}$$

2. Найдем объем железа:

$$V(Fe) = 2,87 \times 10^{-4} \text{ моль } HCl \times \frac{1 \text{ моль } Fe}{2 \text{ моль } HCl} \times \frac{56 \text{ г } Fe}{1 \text{ моль } Fe} \times \frac{1 \text{ м}^3 Fe}{7800 \text{ кг } Fe}$$

$$V(Fe) = 1,03 \times 10^{-6} \text{ м}^3 = 1,03 \times 10^{-3} \text{ см}^3$$

Если предположить, что образовавшееся отверстие имеет круглую форму, то в листе исчезнет железный цилиндр. Поскольку объем цилиндра равен $V = S \times h$, где S - площадь поверхности, а h - высота цилиндра, получим следующие значения:

$$S = \frac{V}{h} = \frac{1,03 \times 10^{-3} \text{ см}^3}{0,2 \text{ мм}} \times \frac{10^3 \text{ мм}^3}{1 \text{ см}^3} = 5,15 \text{ мм}^2$$

Так как отверстие имеет круглую форму, то воспользуемся формулой для нахождения площади окружности:

$$S = \pi R^2$$

$$R = \sqrt{\frac{5,15 \text{ мм}^2}{\pi}} = 1,28 \text{ мм}$$

$$D = 2R = 2,56 \text{ мм}$$

- | | | |
|---|--|-----------|
| 1 | Расчет молярности раствора – 1,5 балла | 1.5 балла |
| 2 | Расчет количества водорода – 0,5 балла
Расчет объема выделившегося водорода – 1 балл
Расчет объема через V_M – 0,5 балла | 1.5 балла |
| 3 | Расчет площади отверстия – 1 балл
Расчет диаметра отверстия – 1 балл
При отсутствии вычислений – 0 баллов | 2 балла |

Итого: 5 баллов

№3

I вариант

Решение:

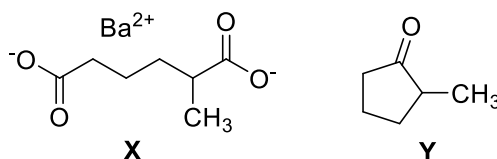
1). Определим массовую долю водорода в соединении **Y**: $100 - 73.47 - 16.33 = 10.20\%$. Представим формулу вещества в виде $C_xH_yO_z$, тогда:

$$x : y : z = \frac{73.47}{12} : \frac{10.20}{1} : \frac{16.33}{16} = 6.1225 : 10.2 : 1.02 = 6 : 10 : 1.$$

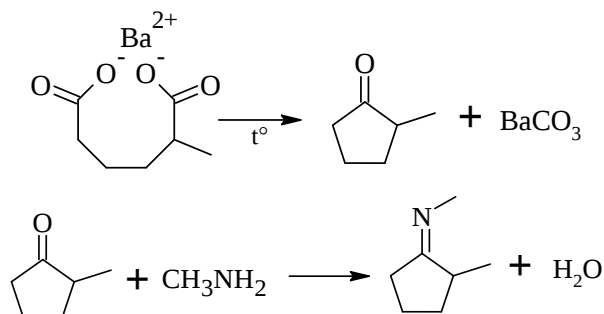
Получаем, что молекулярная формула вещества – $C_6H_{10}O$.

Исходя из условия задачи, определим структурную формулу вещества. Из условия задачи можно сделать вывод, что **Y** содержит цикл и кето-группу, так как sp^2 -гибридный атом углерода только один. Также из условия задачи понятно, что цикл является пятичленным, так как соединение содержит лишь 1 заместитель – метильную группу в α -положении к функциональной. Таким образом, **Y** – 2-метилциклопентанон. Кетоны циклического

строения разложением получить можно нагреванием соли дикарбоновой кислоты и щелочноземельного металла в инертной атмосфере. Так как пламя горения имеет желто-зеленый цвет, то металл в составе соли – барий. Следовательно, структурные формулы вещества **X** и **Y**:



Уравнения реакций:



II вариант

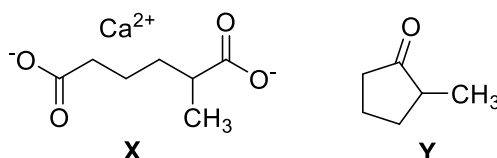
Решение:

1). Определим массовую долю углерода в соединении **Y**: $100 - 10.20 - 16.33 = 73.47\%$. Представим формулу вещества в виде $C_xH_yO_z$, тогда:

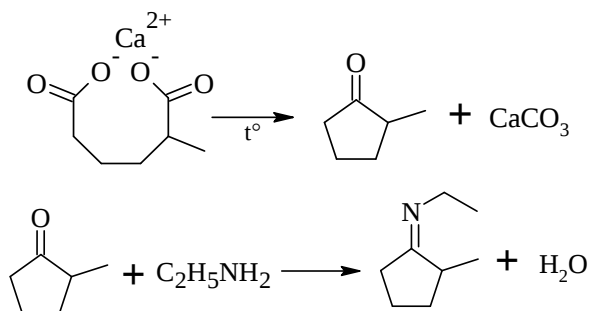
$$x : y : z = \frac{73.47}{12} : \frac{10.20}{1} : \frac{16.33}{16} = 6.1225 : 10.2 : 1.02 = 6 : 10 : 1.$$

Получаем, что молекулярная формула вещества – $C_6H_{10}O$.

Исходя из условия задачи, определим структурную формулу вещества. Из условия задачи можно сделать вывод, что **Y** содержит цикл и кето-группу, так как sp^2 -гибридный атом углерода только один. Также из условия задачи понятно, что цикл является пятичленным, так как соединение содержит лишь 1 заместитель – метильную группу в α -положении к функциональной. Таким образом, **Y** – 2-метилциклопентанон. Кетоны циклического строения разложением получить можно нагреванием соли дикарбоновой кислоты и щелочноземельного металла в инертной атмосфере. Так как пламя горения имеет желто-зеленый цвет, то металл в составе соли – барий. Следовательно, структурные формулы вещества **X** и **Y**:



Уравнения реакций:



Рекомендации к оцениванию:

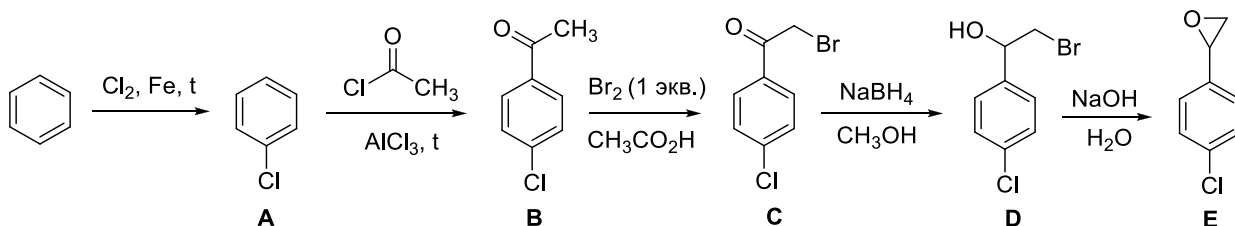
- | | | |
|-----------------------------------|---------|-----------------|
| 1. Структурная формула вещества Y | 2 балла | 2 балла |
| 2. Структурная формула вещества X | 1 балл | 1 балл |
| 3. Уравнение реакции разложения | 1 балл | 1 балл |
| 4. Уравнение реакции | 1 балл | 1 балл |
| ИТОГО: | | 5 баллов |

№4

I вариант

Решение:

Первая стадия – хлорирование бензола, причем, судя по составу конечного продукта, вводится один атом хлора. Следующая стадия – ацилирование. Хлор является *орто*-/ *пара*-ориентантом, ацилирование происходит преимущественно в *пара*-положение. Третья стадия – бромирование кетона по альфа-положению (уксусная кислота необходима для енолизации). Затем мягкий восстановитель, борогидрид натрия, восстанавливает кетонную группу до спиртовой. При действии щелочи на полученное вещество, так называемый «бромгидрин», в первую очередь происходит депротонирование OH-группы, после чего алкоголь внутримолекулярно замещает бром. В результате замыкается трехчленный цикл – оксиран (эпоксид), относительно устойчивый в щелочной среде.

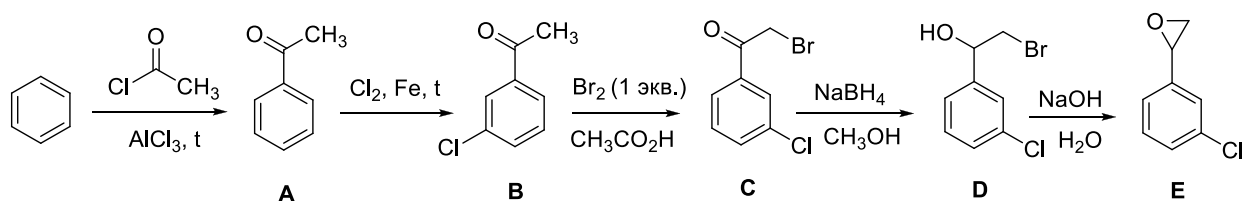


II вариант

Решение:

Первая стадия – ацилирование бензола, образуется метилфенилкетон. Следующая стадия – хлорирование. Так как ацетильная группа является *мета*-ориентантом, оно протекает в *мета*-положение. Третья стадия – бромирование кетона по альфа-положению (уксусная кислота необходима для енолизации). Затем мягкий восстановитель, борогидрид натрия, восстанавливает кетонную группу до спиртовой. При действии щелочи на полученное вещество, так называемый «бромгидрин», в первую очередь происходит депротонирование OH-группы, после чего алкоголь внутримолекулярно замещает бром. В результате

замыкается трехчленный цикл – оксиран (эпоксид), относительно устойчивый в щелочной среде.



Рекомендации к оцениванию:

1. Структурные формулы веществ А–Е по 1 балла (если суть реакций в 1 варианте написана правильно, но для *орто*-изомера, то за структуры В–Е ставится по 0.5 балла)

ИТОГО: 5 баллов

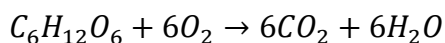
№5

I вариант

1. Напишем все формулы, которыми мы будем оперировать при решении задачи:

$$Q = -\Delta_r H^\circ, \quad E = mgh, \quad E = Qn\eta$$

Напишем уравнение сгорания глюкозы:



Пользуясь данными, приведенными в таблице, рассчитаем энтальпию реакции сгорания глюкозы:

$$\Delta_r H^\circ = 6\Delta_f H^\circ(H_2O) + 6\Delta_f H^\circ(CO_2) - \Delta_f H^\circ(C_6H_{12}O_6)$$

$$\Delta_r H^\circ = 6 \times (-285,83) + 6 \times (-393,51) - (-1273,3) = -2802,74 \text{ кДж/моль}$$

Определим количество глюкозы, содержащейся в 5г варенья:

$$n(C_6H_{12}O_6) = \frac{5\text{г} \times 0,272}{180 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 7,6 \times 10^{-3} \text{ моль}$$

Имея теперь недостающие данные, выразим и посчитаем коэффициент полезного действия двигателя, работающего на варенье:

$$mgh = Qn\eta$$

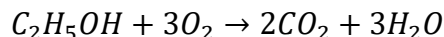
$$mgh = -\Delta_r H^\circ n\eta$$

$$\eta = \frac{mgh}{-\Delta_r H^\circ n}$$

$$\eta = \frac{60 \text{ кг} \times 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \times 8 \times 2,7 \text{ м}}{2802740 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} \times 7,6 \times 10^{-3} \text{ моль}} = 0,5964 \rightarrow 59,64\%$$

(принимая $g=10 \text{ м/с}^2$, получим КПД = 60.84%)

2. Напишем уравнение сгорания этилового спирта:



Пользуясь данными, приведенными в таблице, рассчитаем энтальпию реакции сгорания спирта:

$$\Delta_r H^\circ = 2\Delta_f H^\circ(CO_2) + 3\Delta_f H^\circ(H_2O) - \Delta_f H^\circ(C_2H_5OH)$$

$$\Delta_r H^\circ = 3 \times (-285,83) + 2 \times (-393,51) - (-234,8) = -1409,71 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Составим тождество, из которого сможем выразить необходимое количество моль этилового спирта для подъема Карлсона на 8 этаж, приняв КПД спиртового двигателя равным 100%:

$$mgh = -\Delta_r H^\circ(C_2H_5OH) \times n(C_2H_5OH)$$

$$n(C_2H_5OH) = \frac{mgh}{-\Delta_r H^\circ(C_2H_5OH)}$$

$$n(C_2H_5OH) = \frac{60 \text{ кг} \times 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \times 2,7 \times 8 \text{ м}}{1409710 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}} = 0,009 \text{ моль}$$

Рассчитаем массу этилового спирта, необходимого Карлсону:

$$m(C_2H_5OH) = n(C_2H_5OH) \times M(C_2H_5OH)$$

$$m(C_2H_5OH) = 0,009 \text{ моль} \times 46 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 0,423 \text{ г}$$

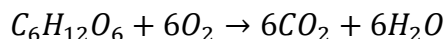
$$(\text{принимая } g=10 \text{ м/с}^2, \text{ получим } m(C_2H_5OH) = 0,423 \text{ г})$$

II вариант

1. Напишем все формулы, которыми мы будем оперировать при решении задачи:

$$Q = -\Delta_r H^\circ, \quad E = mgh, \quad E = Qn\eta$$

Напишем уравнение сгорания глюкозы:



Пользуясь данными, приведенными в таблице, рассчитаем энтальпию реакцию сгорания глюкозы:

$$\Delta_r H^\circ = 6\Delta_f H^\circ(H_2O) + 6\Delta_f H^\circ(CO_2) - \Delta_f H^\circ(C_6H_{12}O_6)$$

$$\Delta_r H^\circ = 6 \times (-285,83) + 6 \times (-393,51) - (-1273,3) = -2802,74 \text{ кДж/моль}$$

Определим количество глюкозы, содержащейся в 5г варенья:

$$n(C_6H_{12}O_6) = \frac{15 \text{ г} \times 0,272}{180 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,0227 \text{ моль}$$

Имея теперь недостающие данные, выразим и посчитаем коэффициент полезного действия двигателя, работающего на варенье:

$$mgh = Qn\eta$$

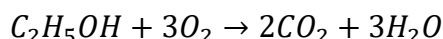
$$mgh = -\Delta_r H^\circ n\eta$$

$$\eta = \frac{mgh}{-\Delta_r H^\circ n}$$

$$\eta = \frac{80 \text{ кг} \times 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \times 16 \times 2,7 \text{ м}}{2802740 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} \times 0,0227 \text{ моль}} = 0,5323 \rightarrow 53,23\%$$

(принимая $g=10 \text{ м/с}^2$, получим КПД = 54.32%)

2. Напишем уравнение сгорания этилового спирта:



Пользуясь данными, приведенными в таблице, рассчитаем энтальпию реакции сгорания спирта:

$$\Delta_r H^\circ = 2\Delta_f H^\circ(CO_2) + 3\Delta_f H^\circ(H_2O) - \Delta_f H^\circ(C_2H_5OH)$$

$$\Delta_r H^\circ = 3 \times (-285,83) + 2 \times (-393,51) - (-234,8) = -1409,71 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Составим тождество, из которого сможем выразить необходимое количество моль этилового спирта для подъема Карлсона на 16 этаж, приняв, что КПД двигателя на спирту равно 100%

$$mgh = -\Delta_r H^\circ(C_2H_5OH) \times n(C_2H_5OH)$$

$$n(C_2H_5OH) = \frac{mgh}{-\Delta_r H^\circ(C_2H_5OH)}$$

$$n(C_2H_5OH) = \frac{80 \text{ кг} \times 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \times 2,7 \times 16 \text{ м}}{1409710 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}} = 0,024 \text{ моль}$$

Рассчитаем массу этилового спирта, необходимого Карлсону:

$$m(C_2H_5OH) = n(C_2H_5OH) \times M(C_2H_5OH)$$

$$m(C_2H_5OH) = 0,024 \text{ моль} \times 46 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 1,10 \text{ г}$$

(принимая $g=10 \text{ м/с}^2$, получим $m(C_2H_5OH) = 1.15 \text{ г}$)

Рекомендации к оцениванию:

- | | | |
|---|---|---------|
| 1 | Расчет энтальпии реакции сгорания глюкозы – 1 балла
Выражения для вычисления КПД – 1 балл
Расчет коэффициента полезного действия – 1 балла (принимать расчёты с $g=10 \text{ м/с}^2$)
<i>При отсутствии расчетов – 0 баллов</i> | 3 балла |
| 2 | Расчет энтальпии реакции сгорания этилового спирта – 1 балл
Расчет массы этилового спирта – 1 балл (принимать расчёты с $g=10 \text{ м/с}^2$) | 2 балла |

Итого: 5 баллов