



Многопрофильная инженерная олимпиада «Звезда» «Химические технологии»

11 класс

Заключительный этап

2024-2025

Задания, ответы и критерии оценивания

Задача 1 (максимально 10 баллов)

Определите массу хлорида натрия NaCl, необходимого для приготовления 250 см³ раствора с молярной концентрацией 0,15 моль/дм³. Определите титр раствора. Молярная масса M(Na) = 23 г/моль, M(Cl) = 35 г/моль.

Решение:

$$\text{Масса } m(\text{NaCl}) = c \cdot V \cdot M(\text{NaCl}) \cdot 10^{-3} = 0,15 \cdot 250 \cdot 58 \cdot 10^{-3} = 2,175 \text{ г}$$

$$\text{Титр раствора} = m(\text{NaCl})/V_{\text{раствора}} = 2,175/250 = 0,0087 \text{ г/см}^3$$

Ответ: $m(\text{NaCl}) = 2,175 \text{ г}$, титр раствора = $0,0087 \text{ г/см}^3$.

Номер критерия	Количество баллов	Описание
1	2	Написан только ответ
2	5	рассуждения приведены верно, ответ ошибочный
3	10	задача решена верно, описано решение

Задача 2 (максимально 35 баллов)

Составьте материальный баланс муфельной печи цеха, производящего оксид цинка путем сжигания металлического цинка в токе воздуха. Производительность печи – сжигание 36 т цинка в сутки. Степень окисления цинка составляет 0,96. Остальное – потери при загрузке печи – «излитки» (металлический цинк). Коэффициент избытка воздуха $a = 3$. Молярные массы $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ г/моль}$, $M(\text{O}) = 16,00 \text{ г/моль}$.

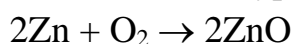
Расчет следует вести по сжигаемому цинку в кг/ч.

Ответ представить в виде таблицы

ВВЕДЕНО		ВЫВЕДЕНО	
Наименование вещества/соединения	Масса, кг	Наименование вещества/соединения	Масса, кг
СУММАРНО		СУММАРНО	

Решение:

1. Процесс получения оксида цинка описываем уравнением:



2. Определим производительность печи в кг/ч

$$36000/24 = 1500 \text{ кг/ч цинка (сырье)}$$

3. Масса цинка, окисленного до ZnO

$$m(\text{Zn}) = 1500 \cdot 0,96 = 1440 \text{ кг;}$$

выразим в количестве вещества

$$v(\text{Zn}) = m(\text{Zn})/M(\text{Zn}) = 1440/65,4 = 22 \text{ кмоль}$$

4. В виде излитков остается неокисленного цинка:

$$m(\text{Zn})_{\text{излитки}} = 1500 - 1440 = 60 \text{ кг}$$

5. Количество вещества кислорода, расходуемое на окисление цинка по уравнению реакции в 2 раза меньше, количества вещества цинка. Соответственно, количество вещества $v(\text{O}_2) = 11 \text{ кмоль}$, с учетом избытка в систему вводится $v_2(\text{O}_2) = 11 * 3 = 33 \text{ кмоль}$. Отсюда найдем массу кислорода $m(\text{O}_2) = v_2(\text{O}_2) * M(\text{O}_2) = 33 * 32 = 1056 \text{ кг}$.

6. В результате реакции образовалось оксида цинка: $v(\text{ZnO}) = 22 \text{ кмоль}$, соответственно $m(\text{ZnO}) = v(\text{ZnO}) * M(\text{ZnO}) = 22 * 81,4 = 1790,8 \text{ кг}$

7. Массу избыточного не использованного кислорода определим, заполнив таблицу.

ВВЕДЕНО		ВЫВЕДЕНО	
Наименование вещества/соединения	Масса, кг	Наименование вещества/соединения	Масса, кг
Цинк	1500	Оксид цинка	1790,8
Кислород	1056	Цинк «излитки»	60
		Кислород	705,2
СУММАРНО	2556	СУММАРНО	2556

В расчёте также может быть приведен азот (в составе воздуха). Поскольку азот поступает в печь и выходит в неизменном виде им можно пренебречь. Отображение в материальном балансе не будет являться ошибкой.

Критерии оценивания:

Номер критерия	Количество баллов	Описание критерия
1	1	Написан только ответ
2	5	Написано уравнение реакции
3	10	Частично приведено решение, таблица не заполнена
4	25	Написано уравнение реакции, полностью описано решение, таблица не заполнена
5	35	Написано уравнение реакции, приведены расчёты, заполнена таблица материального баланса

Задача 3 (максимально 40 баллов)

Предложите технологическую схему блока химических установок для очистки сточных вод цеха окраски рулонной стали, если известно, что основные вредные вещества в сточных водах это: хром (в виде Cr^{6+}), цинк (в виде Zn^{2+}), фосфаты, нитраты (в виде NO_3^{1-}) и масляная эмульсия. Напишите, где это возможно, уравнения реакций обезвреживания стоков.

Задание проектное, чем подробнее описана схема очистки, тем больше баллов.

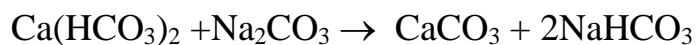
Задача 4 (максимально 15 баллов)

Определите карбонатную жесткость воды, если в 1 литре содержится 0,625 грамма гидрокарбоната кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$? Какими методами можно снизить карбонатную жесткость? Напишите уравнение реакции.

Решение:

Кипячение $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3\downarrow + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Добавить кальцинированную соду



В одном моле $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ содержится 1 моль ионов Ca^{2+} . Молярная масса гидрокарбоната кальция равно $M(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 162,04$ г/моль, а молярная масса ионов кальция $M(\text{Ca}^{2+}) = 40,04$ г/моль.

Соответственно $m(\text{Ca}^{2+}) = 0,625 * 40,04 / 162,04 = 0,15$ г = 150 мг

Формула карбонатной жесткости:

$$J_k = \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{M_3(\text{Ca}^{2+}) * V} = \frac{150}{20,04 * 1} = 7,5 \text{ ммоль/л}$$

Критерии оценивания:

Номер критерия	Количество баллов	Описание критерия
1	1	Написан только ответ (жесткость)
2	2	Написано хотя бы одно уравнение реакции снижения жесткости
3	4	Написаны обе реакции снижения жесткости
4	15	Написаны уравнения реакции, полностью описано решение



Задания, ответы и критерии оценивания

Задача 1 (максимум 10 баллов)

Лаборант смешал два раствора, в одном массовая доля растворенного вещества составляла 15 %, в другом – 35 %. В каком соотношении смешаны исходные растворы, если получился раствор концентрацией 55 %.

Решение:

В условии задачи допущена ошибка, так как получается более концентрированный раствор из менее концентрированных.

Ответ: нет решения

Порядковый номер критерия	Количество баллов	Описание
1	5	Приведены расчеты показывающие отрицательный результат смешения
2	10	Приведены рассуждения и сделан правильный вывод

Задача 2 (максимум 20 баллов)

На заводе получают аммиачно-воздушную смесь, содержащую 15 % аммиака по объему. Расход аммиака составляет 3 т/ч. Определите массу и расход воздуха необходимого для приготовления смеси при нормальных условиях.

Молярная масса N = 14 г/моль, молярная масса H – 1 г/моль.

Решение:

Объем аммиака составит $V(\text{NH}_3) = (3000 * 22,4) / 17 = 3952,9 \text{ м}^3$.

Найдем общий объем смеси $V(\text{смеси}) = (3952,9 * 100) / 15 = 26352,7 \text{ м}^3$

Отсюда объем воздуха составит $V(\text{воздуха}) = 26352,7 - 3952,9 = 22399,8 \text{ м}^3$

Рассчитаем расход в час азота и кислорода как основных компонентов воздуха.

Объемная доля азота в воздухе 79 об.%, объемная доля кислорода в воздухе 21 об.%

$m(\text{N}_2) = (22399,8 * 0,79 * 28) / 22,4 = 22119,8 \text{ кг/ч} = 22,1 \text{ т/час}$

$m(\text{O}_2) = (22399,8 * 0,21 * 32) / 22,4 = 6719,9 \text{ кг/ч} = 6,7 \text{ т/час}$

$m(\text{возд.}) = 22,1 + 6,7 = 28,8 \text{ т/час.}$

Критерии оценивания:

Номер критерия	Количество баллов	Описание критерия
1	1	Написан только ответ
2	10	Определена только масса воздушной смеси
3	20	Верно описан ход решения, определены оба требуемых показателя.

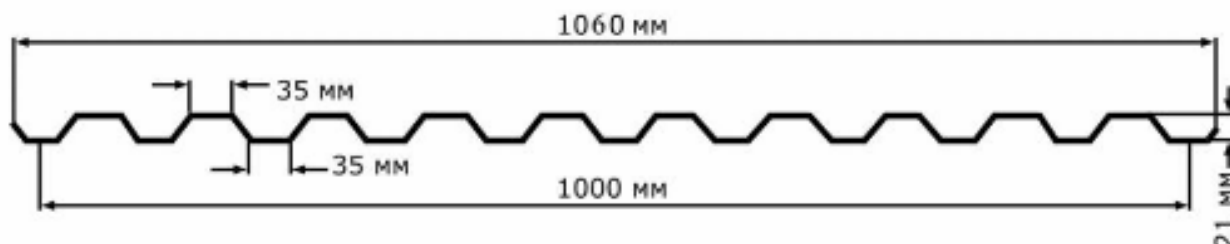
Задача 3 (максимум 20 баллов)

Рисунок 1 – Эскиз профилированного листа

Рабочая ширина профильного листа 1000 мм, общая 1060 мм. Определите сколько нужно закупить полиэфирной эмали в кг для окрашивания стали, если расход на 1 квадратный метр составляет 80 граммов, рабочая площадь заказанного профилированного листа 150 м².

На эскизе имеется излишняя информация в виде высоты и ширины гофр профилированного листа.

Решение:

Определим длину стали, которую нужно окрасить для этого рабочую площадь поделим на рабочую ширину. $150\ 000\ 000 / 1000 = 150\ 000\ \text{мм}$

Определим фактическую площадь, которую нужно окрасить, для этого

$$150\ 000 * 1060 = 159\ 000\ 000\ \text{мм}^2 = 159\ \text{м}^2$$

Зная, расход на 1 м², определим необходимую массу эмали.

$$159 * 0,08 = 12,72\ \text{кг}$$

Ответ: 12,72 кг

Номер критерия	Количество баллов	Описание критерия
1	5	Написан только ответ
2	10	Решение приведено через высоту и ширину гофр.
3	20	Приведены последовательные рассуждения, получен верный ответ.

Задача 4 (50 баллов)

Введение

Материальный баланс технологического процесса является практическим выражением закона сохранения массы вещества.

Масса веществ, вступивших в реакцию, равна массе веществ, получившихся в результате реакции.

При получении метанола из формальдегида методом гидрирования используют реактор с максимальной загрузкой по формальдегиду 100 кг.

В формальдегиде содержится 7% примесей, в используемом водороде 5 % примесей. Масса технического водорода 100 кг.

Конверсия формальдегида составляет 0,85.

Составить материальный баланс получения метанола из формальдегида

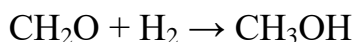
Молярные массы $M(C) = 12$ г/моль, $M(O) = 16,00$ г/моль, $M(H) = 1$ г/моль.

Ответ представить в виде таблицы

ВВЕДЕНО		ВЫВЕДЕНО	
Наименование вещества/соединения	Масса, кг	Наименование вещества/соединения	Масса, кг
СУММАРНО		СУММАРНО	

Решение:

1. Получение метанола из формальдегида методом гидрирования опишем реакцией:



2. Определим молярные массы реагентов

$M(CH_2O) = 30$ кг/кмоль, $M(H_2) = 2$ кг/моль, $M(CH_3OH) = 32$ кг/кмоль

3. Рассчитаем массу чистого формальдегида и примесей

$m_{1\text{чист.}} = 100 \text{ кг} * (100-7) \% = 93 \text{ кг}$, $m_{1\text{прим.}} = 100 \text{ кг} * 7 \% = 7 \text{ кг}$

4. Рассчитаем массу чистого водорода и примесей

$m_{2\text{чист.}} = 100 \text{ кг} * (100-5)\% = 95 \text{ кг}$, $m_{2\text{прим.}} = 100 \text{ кг} * 5 \% = 5 \text{ кг}$

5. Определим массу прореагировавшего формальдегида

$93 \text{ кг} * 0,85 = 79,05$

6. Масса непрореагировавшего остатка составит $93 - 79,05 = 13,95 \text{ кг}$

7. Определим сколько было израсходовано водорода на проведение реакции

$$m(\text{H}_2) = 79,05 \text{ кг} * 2 \text{ кг/кмоль} / 30 \text{ кг/кмоль} = 5,27 \text{ кг}$$

8. Определи массу непрореагировавшего водорода

$$95 - 5,27 = 89,73 \text{ кг}$$

9. Определим массу метанола, которая получилась в результате реакции

$$m(\text{CH}_2\text{OH}) = 79,05 * 32 / 30 = 84,32 \text{ кг}$$

10. Подставляем все данные в таблицу

ВВЕДЕНО		ВЫВЕДЕНО	
Наименование вещества/соединения	Масса, кг	Наименование вещества/соединения	Масса, кг
Формальдегид	93	Метанол	84,32
Примеси форм.	7	Непрореаг. метанол	13,95
Водород	95	Непрореаг. водород	89,73
Примеси водорода	5	Примеси формальдегид	7
		Примеси водород	5
СУММАРНО	200	СУММАРНО	200

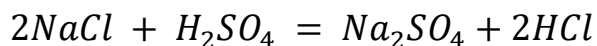
Номер критерия	Количество баллов	Описание критерия
1	1	Написан только ответ
2	10	Написано уравнение реакции
3	20	Частично приведено решение, таблица не заполнена
4	30	Написано уравнение реакции, полностью описано решение, таблица не заполнена
5	50	Написано уравнение реакции, приведены расчёты, заполнена таблица материального баланса



Задания, ответы и критерии оценивания

Задача 1 (максимум 20 баллов)

Получение соляной кислоты по сульфатному методу можно описать уравнением реакции:



Определите сколько можно получить 35 % соляной кислоты из 500 г из каменной соли NaCl, если известно, что в ней 5 % примесей, а степень превращения NaCl составляет 94 %.

Молярная масса $M(Na) = 23$ г/моль, $M(Cl) = 35,5$ г/моль, $M(S) = 32$ г/моль, $M(O) = 16$ г/моль, $M(H) = 1$ г/моль.

Решение

1. Определим теоретическую массу соляной кислоты, которую можно получить по представленному уравнению:

$$m(HCl)_{\text{теор.}} = (500 \times 36,5) / 58,5 = 312 \text{ г}$$

$M(HCl) = 36,5$ г/моль; $M(NaCl) = 58,5$ г/моль.

2. Определим практическую массу соляной кислоты, получаемой в результате синтеза:

$$m(HCl)_{\text{практ.}} = 312 \times (1 - 0,05) \times 0,94 = 278,6 \text{ г.}$$

3. Определим массу 35 % раствора соляной кислоты: $278,6 / 0,35 = 796 \text{ г.}$

Ответ: 769 г раствора 35 % соляной кислоты.

Критерии оценивания:

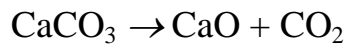
Номер критерия	Количество баллов	Описание критерия
1	5	Написан только ответ
2	10	Приведены рассуждения в правильном направлении, ответ не найден или ошибочный
3	20	Задача решена любым способом, полностью описано решение, ответ верный.

Задача 2 (максимум 20 баллов)

При обжиге 3 т породы, содержащей 5 % по массе примесей (остальное CaCO₃) было получено 2,9 т технической извести, в которой массовая доля CaO составила 86 %.

Молярная масса $M(Ca) = 40$ г/моль, $M(C) = 12$ г/моль; $M(O) = 16$ г/моль.

Рассчитайте выход продукта в этой реакции.



Побочным продуктом реакции является углекислый газ. Напишите уравнение качественной реакции для определения углекислого газа.

Решение:

1. Определим массу CaO

$$m(\text{CaO}) = 2900 \text{ кг} \cdot 0,86 = 2494 \text{ кг}$$

2. Определим массу CaCO₃

$$m(\text{CaCO}_3) = 3000 \text{ кг} \cdot (1 - 0,05) = 2850 \text{ кг}$$

3. Определим молярную массу CaO

$$M(\text{CaO}) = 40 + 16 = 56 \text{ кг/кмоль}$$

4. Определим молярную массу CaCO₃

$$M(\text{CaCO}_3) = 40 + 12 + 16 \cdot 3 = 100 \text{ кг/кмоль}$$

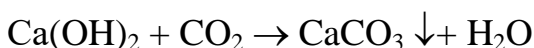
5. Найдем теоретический выход CaO

$$w_{\text{теор.}}(\text{CaO}) = 2850 \cdot 56 / 100 = 1596 \text{ кг}$$

Выход продукта – это отношение практически полученной массы продукта к максимальной теоретически возможной.

$$\text{Выход продукта CaO } X = 1596/2494 \cdot 100 \% = 64 \%$$

Ответ: выход целевого продукта CaO составит 64 %; качественная реакция – пропускание углекислого газа через известковую воду. В результате реакции образуется нерастворимый карбонат кальция, который вызывает помутнение известковой воды.



Критерии оценивания:

Номер критерия	Количество баллов	Описание критерия
1	5	Написан только ответ
2	15	Решение расписано, ответ верный
3	20	Решение расписано, ответ верный, приведен правильный ответ на дополнительный вопрос про качественную реакцию

Задача 3 (максимум 25 баллов)

Определите массовые доли элементов Cu, S, O в кристаллогидрате CuSO₄·5H₂O, а также их оксидов CuO, SO₃, H₂O.

Молярная масса M(Cu) = 63,5 г/моль, M(S) = 32 г/моль, M(O) = 16 г/моль, M(H) = 1 г/моль.

Решение:

Найдем молярную массу кристаллогидрата

$$M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 64 + 32 + 4 \cdot 16 + 5 \cdot 18 = 64 + 32 + 64 + 90 = 250 \text{ г/моль}$$

Находим массовые доли элементов в кристаллогидрате

$$w(\text{Cu}) = 64 \cdot 100 / 250 = 25,6 \%$$

$$w(\text{S}) = 32 \cdot 100 / 250 = 12,8 \%$$

$$w(\text{O}) = 9 \cdot 16 \cdot 100 / 250 = 57,6 \%$$

Находим массовые доли оксидов



$$w(\text{CuO}) = (64 + 16) \cdot 100 / 250 = 32 \%$$

$$w(\text{SO}_3) = (32 + 16 \cdot 3) \cdot 100 / 250 = 32 \%$$

$$w(\text{H}_2\text{O}) = (5 \cdot (16 + 2)) \cdot 100 / 250 = 36 \% \text{ или } 100 \% - 32 \% - 32 \% = 36 \%$$

Ответ: $w(\text{Cu}) = 25,6 \%$; $w(\text{S}) = 12,8 \%$; $w(\text{O}) = 57,6 \%$; $w(\text{CuO}) = 32 \%$; $w(\text{SO}_3) = 32 \%$; $w(\text{H}_2\text{O}) = 36 \%$.

Номер критерия	Количество баллов	Описание критерия
1	5	Написан только ответ
2	10	Решение расписано, найдены верно только массовые доли элементов или только оксидов элементов
3	25	Решение расписано, ответ верный

Задача 4 (максимум 35 баллов)

Выход продукта – отношение количества полученного целевого продукта к его количеству, которое должно быть получено по стехиометрическому уравнению. Как правило, выражают в процентах.

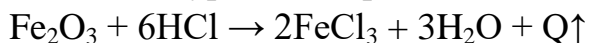
Производительность – это количество выработанного продукта или переработанного сырья в единицу времени. Производительность выражается в кг/ч, т/сут, м³/ч и т.д

В лаборатории получали хлорид железа (III) путем взаимодействия 20 г оксида железа (III) с соляной кислотой. Определите параметры технологического процесса (выход продукта, производительность), если в результате описанного синтеза получили 37 г хлорида железа (III). Синтез занял 15 минут.

Молярная масса $M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль}$; $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ г/моль}$, $M(\text{O}) = 16 \text{ г/моль}$, $M(\text{H}) = 1 \text{ г/моль}$.

Решение:

1. Напишем уравнение реакции.



2. Молярная масса $M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 159,7 \text{ г/моль}$

Молярная масса $M(\text{FeCl}_3) = 162,2$ г/моль

3. Найдем теоретический выход хлорида железа (III)

$$20/159,7 = X/2 * 162,2, \text{ отсюда } X = 40,6 \text{ г}$$

4. Выход продукта составит $X_1 = 37/40,6 * 100 \% = 91 \%$

5. Производительность $\Pi = 37 / 15 = 2,5$ г/мин.

Ответ: Выход продукта составил 91 %, производительность процесса 2,5 г/минуту

Критерии оценивания:

Номер критерия	Количество баллов	Описание критерия
1	5	Написан только ответ
2	10	Написано верно уравнение реакции
3	15	Найден теоретический выход продукта
4	35	Приведено решение, написана реакция, получен правильный ответ.