

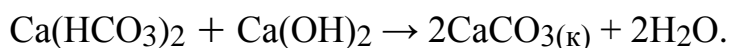
Практическое занятие № 15

Химические и электрохимические методы очистки воды

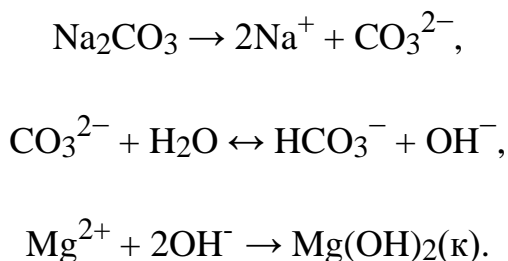
Пример 1. Определите массы реагентов, требуемых для полного умягчения воды, если природная вода имеет следующие показатели жесткости (моль-экв/л): $J_K = 3,3$; $J_{HK} = 2,2$. Объем воды $V = 5$ л. Солевой состав воды $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и MgCl_2 .

Решение. Умягчение воды методом осаждения – это обработка воды химическими реагентами: солью и известью. В результате образуются труднорастворимые вещества CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$, выделяемые из воды фильтрованием.

При добавлении в воду извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$ снижается карбонатная жесткость воды



При добавлении в воду соды Na_2CO_3 снижается некарбонатная жесткость воды



Массу используемых реагентов можно определить по закону эквивалентов:

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = J_K \cdot 10^{-3} \cdot V \cdot M_3(\text{Ca}(\text{OH})_2),$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = J_{HK} \cdot 10^{-3} \cdot V \cdot M_3(\text{Na}_2\text{CO}_3).$$

Молярные массы эквивалентов реагентов

$$M_3(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 37 \text{ г/моль}; M_3(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 53 \text{ г/моль}.$$

Определим массы реагентов для умягчения воды

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 37 = 0,611 \text{ г} = 611 \text{ мг},$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2,2 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 53 = 0,583 \text{ г} = 583 \text{ мг}.$$

Пример 2. Общая жесткость воды $J_0 = 5,5$ ммоль экв/л, карбонатная жесткость $J_K = 3,3$ ммоль-экв/л. Объем воды $V = 5$ л. Определите массу осадка, выпавшего при термическом умягчении воды.

Решение. При термическом умягчении воды происходит снижение карбонатной жесткости в соответствии с реакцией



Массу образовавшегося карбоната кальция CaCO_3 можно определить по закону эквивалентов:

$$m(\text{CaCO}_3) = J_K \cdot 10^{-3} V \cdot M_9 \text{CaCO}_3.$$

Молярная масса $M(\text{CaCO}_3) = 100$ г/моль.

Молярная масса эквивалента $M_9(\text{CaCO}_3) = 50$ г/моль, тогда

$$m(\text{CaCO}_3) = 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 50 = 0,825 \text{ г}.$$

Определим, сколько карбоната кальция растворится в 5 л воды. Согласно табличным данным, произведение растворимости $\text{ПР}_{\text{CaCO}_3} = 4,8 \cdot 10^{-9}$. Предельная растворимость в воде карбоната кальция:

$$c_p \text{CaCO}_3 = \sqrt{\text{ПР}} = \sqrt{4,8 \cdot 10^{-9}} = 6,9 \cdot 10^{-5} = \text{моль/л},$$

предельная масса растворенного в 5 л воды карбоната кальция:

$$m_p(\text{CaCO}_3) = c_p \cdot M(\text{CaCO}_3) V = 6,9 \cdot 10^{-5} \cdot 100 \cdot 5 = 0,035 \text{ г}.$$

Таким образом, в осадок при термическом умягчении воды выпадет

$$\Delta m(\text{CaCO}_3) = m(\text{CaCO}_3) - m_p(\text{CaCO}_3) = 0,825 - 0,035 = 0,79 \text{ г.}$$

Остаточная жесткость воды после ее термического умягчения будет практически равна некарбонатной жесткости 2,2 ммоль-экв/л.

Пример 3.

Для восстановления кислорода в воду вводят восстановители (Na_2SO_3 и/или N_2H_4). Пусть 20 м³ природной воды содержат 14 мг/л кислорода (O_2). Для частичного восстановления кислорода в воду ввели 63 мг/л сульфита натрия Na_2SO_3 . Определите, сколько кислорода осталось в воде и сколько гидразина N_2H_4 нужно ввести в воду для полного ее обескислороживания.

Решение. Молярные массы реагентов: $M(\text{O}_2) = 32$ г/моль, $M(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 126$ г/моль, $M(\text{N}_2\text{H}_4) = 32$ г/моль.

Реакция обескислороживания воды с помощью сульфита натрия протекает по уравнению:



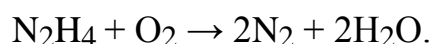
Из уравнения реакции следует, что 2 моль Na_2SO_3 взаимодействуют с 1 моль O_2 . Исходя из этого, можно составить пропорцию и определить изменение концентрации кислорода $\rho(\text{O}_2)$, прореагировавшего с заданной массой сульфита натрия:

$$\rho(\text{O}_2) = \frac{\rho(\text{Na}_2\text{SO}_3) \cdot M(\text{O}_2)}{2M(\text{Na}_2\text{SO}_3)} = \frac{63 \cdot 32}{2 \cdot 126} = 8 \text{ мг/л.}$$

Остаточное количество растворенного кислорода после частичного обескислороживания воды:

$$\rho(\text{O}_2)^{\text{ост}} = \rho(\text{O}_2)^{\text{исх}} - \rho(\text{O}_2) = 14 - 8 = 6 \text{ мг/л.}$$

Реакция обескислороживания воды с помощью гидразина протекает по уравнению:



Из уравнения химической реакции видно, что 1 моль гидразина взаимодействует с 1 моль кислорода. Составим пропорцию и определим

концентрацию гидразина $\rho(\text{N}_2\text{H}_4)$, необходимого для связывания остаточного кислорода $\rho(\text{O}_2)^{\text{ост}} = 6$ мг/л:

$$\rho(\text{N}_2\text{H}_4) = \frac{\rho(\text{O}_2)^{\text{ост}} \cdot M(\text{N}_2\text{H}_4)}{M(\text{O}_2)} = \frac{6 \cdot 32}{32} = 6 \text{ мг/л.}$$

В расчете на заданный объем воды 20 м^3 количество требуемого гидразина составит:

$$m(\text{N}_2\text{H}_4) = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^3 = 120 \text{ г.}$$

Контрольные задания

7-1. Перечислите химические способы умягчения воды. Запишите соответствующие уравнения реакций.

7-2. Перечислите термические способы умягчения воды. Запишите соответствующие уравнения реакций.

7-3. Приведите классификацию воды по жесткости. Какие значения концентраций солей жесткости по этой классификации предлагаются?

7-4. Перечислите безреагентные способы умягчения воды. Запишите уравнения реакций, на которых основаны эти методы.

7-5. Запишите уравнения процессов при пропускании воды через ионообменную систему. Объясните, к какому типу химических реакций относятся происходящие реакции?

7-6. Объясните, какие вещества называют ионитами и почему. Приведите классификацию ионитов. Назовите область применения ионитов в технологии воды.

7-7. Запишите уравнения реакции ионного обмена с участием катионитов и анионитов. Обоснуйте, какие иониты следует использовать, чтобы природная вода, пропущенная через систему ионитов, имела $\text{pH} < 7$. Выразите уравнениями происходящие при этом процессы.

7-8. Запишите уравнения реакции ионного обмена с участием катионитов и анионитов. Обоснуйте, какие иониты следует использовать, чтобы природная вода, пропущенная через систему ионитов, имела $\text{pH} = 7$. Выразите уравнениями происходящие при этом процессы.

7-9. Воду, пропущенную через систему Н-катионитов и ОН-анионитов, называют «деминерализованной». Объясните, что это означает и относят ли такую воду к полностью очищенной?

7-10. Опишите, какие процессы происходят при очистке воды методом дистилляции. Запишите соответствующие уравнения реакции. Объясните, почему эти реакции относятся к гетерогенным процессам.

7-11. Опишите явление «осмос». Объясните, какую роль при этом выполняют полупроницаемые мембраны.

7-12. Запишите уравнения реакции ионного обмена с участием катионитов и анионитов. Обоснуйте, какие иониты следует использовать, чтобы природная вода, пропущенная через систему ионитов, имела $\text{pH} > 7$. Выразите уравнениями происходящие при этом процессы.

7-13. Опишите, какие процессы происходят при очистке воды методом ионного обмена. Запишите соответствующие уравнения реакции. Объясните, почему эти реакции относятся к гетерогенным процессам.

7-14. Опишите явления «осмос» и «осмотическое давление». Поясните, что является движущей силой самопроизвольного перехода молекул растворителя через полупроницаемую мембрану.

7-15. Опишите явления «осмос» и «обратный осмос». Объясните, почему технология обратного осмоса активно используется для деминерализации воды.

7-16. Опишите процессы электродиализа

а) с катионообменной мембраной,

б) с биполярной мембраной.

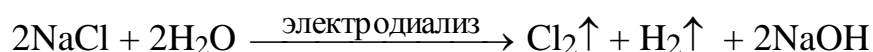
Поясните, какую роль выполняют указанные мембраны и чем они различаются.

7-17. Опишите процессы, происходящие под действием постоянного электрического тока в водном растворе сульфата калия:

а) без мембраны (процесс электролиза);

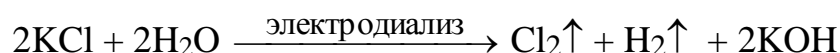
б) с биполярной мембраной (процесс электродиализа).

7-18. Опишите процесс электродиализа с катионообменной мембраной водного раствора хлорида натрия. Суммарная реакция имеет вид:



Объясните, как должен быть устроен аппарат.

7-19. Опишите процесс электродиализа с катионообменной мембраной водного раствора хлорида калия. Суммарная реакция имеет вид:



Объясните, как должен быть устроен аппарат.

7-20. Опишите процессы, происходящие под действием постоянного электрического тока в водном растворе сульфата натрия:

- а) без мембраны (процесс электролиза);
- б) с биполярной мембраной (процесс электродиализа).

7-21. Объясните, какие реагенты и сколько необходимо использовать на умягчение 30 л воды, имеющей средние величины жесткости: $J_K = 4$ ммоль экв/л, $J_0 = 5$ ммоль экв/л. Составьте уравнения процессов умягчения воды.

7-22. Объясните, какие реагенты и сколько необходимо использовать на умягчение 7 л воды, имеющей средние величины жесткости: $J_K = 1,6$ ммоль экв/л, $J_0 = 2,75$ ммоль экв/л. Составьте уравнения процессов умягчения воды.

7-23. На умягчение 10 л воды израсходовано $\text{Ca}(\text{OH})_2$ массой 3,7 г и Na_2CO_3 массой 1,06 г. Рассчитайте общую жесткость J_0 исходной воды. Составьте уравнения процессов умягчения воды.

7-24. На умягчение 150 л воды израсходовано $\text{Ca}(\text{OH})_2$ массой 5,57 г и Na_2CO_3 массой 26,6 г. Рассчитайте общую жесткость J_0 исходной воды. Составьте уравнения процессов умягчения воды.

7-25. При термическом умягчении 10 л воды образовался осадок массой 2 г. Определите остаточную $J_{\text{нк}}$, если исходная общая жесткость воды J_0 составляла 6,5 ммоль экв/л. Составьте уравнение процесса умягчения воды.

7-26. При термическом умягчении 20 л воды образовался осадок массой 2 г. Определите остаточную $J_{\text{нк}}$, если исходная общая жесткость воды J_0 составляла 5 ммоль экв/л. Составьте уравнение процесса умягчения воды.

7-27. Рассчитайте массу гидразина N_2H_4 , которую нужно ввести для обескислороживания 1 м³ воды, содержащей 64 мг/л кислорода, если в воду предварительно было введено 126 мг/л сульфита натрия Na_2SO_3 . Составьте уравнения процессов.

7-28. Рассчитайте массу гидразина N_2H_4 , которую нужно ввести для обескислороживания 20 м³, содержащей 32 мг/л кислорода, если в воду предварительно было введено 63 мг/л сульфита натрия Na_2SO_3 . Составьте уравнения процессов.

7-29. Объясните, сколько литров 2 М раствора сульфита натрия Na_2SO_3 необходимо израсходовать для восстановления кислорода, растворенного в 50 м³ питательной воды, содержащей 3,2 мг/л O_2 .

7-30. Объясните, сколько литров 1 М раствора сульфита натрия Na_2SO_3 необходимо израсходовать для восстановления кислорода, растворенного в 500 м³ питательной воды, содержащей 0,4 мг/л O_2 .

7-31. Объясните, сколько литров 1,5 М раствора гидразина N_2H_4 необходимо израсходовать для восстановления кислорода, растворенного в 50 м^3 питательной воды, содержащей $3,2 \text{ мг/л O}_2$.

7-32. Объясните, сколько литров 1 М раствора гидразина N_2H_4 необходимо израсходовать для восстановления кислорода, растворенного в 325 м^3 питательной воды, содержащей $0,64 \text{ мг/л O}_2$.