МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра химии

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ О.Г. Локтионова
_____ 2013 г.

ЖЁСТКОСТЬ ВОДЫ И МЕТОДЫ ЕЁ УМЯГЧЕНИЯ

Методические указания к самостоятельной работе
по дисциплине "Химия" для студентов нехимических
специальностей

Курск 2013

Составители: И. В. Савенкова, Ф.Ф. Ниязи

УДК 546

Жёсткость воды и методы её умягчения : Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине "Химия" для студентов нехимических специальностей / Курск. гос. техн. ун-т. Сост.:, И. В. Савенкова, Ф.Ф. Ниязи Курск, 2005. 18с.

Излагаются методические материалы по оценке жёсткости воды и методам её умягчения, представлены лабораторная работа по данной теме и индивидуальные задания для студентов.

Предназначены для студентов нехимических специальностей.

Библиогр.: 6 назв.

Рецензент канд. хим. наук, доцент кафедры химии В. С. Мальцева

ЛР № 020980 от 09. 12. 96. ПЛД № 50-25 от 01. 04. 97.

Подписано в печать . Формат 60x84 1 / 16. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,62. Уч.-изд. л. 0,67. Тираж 50 экз. Заказ .

Курский государственный технический университет.

Подразделение оперативной полиграфии Курского государственного технического университета.

Адрес университета и подразделения оперативной полиграфии: 305040 Курск, ул. 50 лет Октября 94.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

1. Жёсткость воды и причины её образования. Единицы измерения жёсткости.
2. Виды жёсткости: временная, постоянная, общая, карбонатная и некарбонатная. Какими ионами они обусловлены?
3. Влияние жёсткости на pH воды.
4. Негативные последствия использования жёсткой воды в промышленности.
5. Основные методы умягчения промышленных вод. Чем руководствуются при их выборе?
6. Термический метод умягчения воды. Его достоинства и недостатки.
7. Реагентные методы, используемые для умягчения воды. Какие химические процессы происходят при умягчении воды методом: а) известкования; б) фосфатирования; в) содовым; г) добавлением гидроксида натрия?
8. Умягчение воды ионнообменным методом.
9. Ионообменная емкость катионита и анионита. В каких единицах она выражается? От каких факторов зависит?
10. Почему для регенерации катионита его промывают раствором хлористого натрия, а затем водой? Можно ли регенерировать катионит, промывая его раствором хлористого магния?

Природная вода является сложной многокомпонентной системой, в которой содержатся в растворенном виде различные органические и неорганические соединения.

Содержащиеся в воде вещества условно можно разделить на пять групп :

1) Главнейшие ионы.

Катионы: Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ (реже Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+});

Анионы: HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, CO_3^{2-} (реже $HSiO_3^-$, SO_3^{2-}, $S_2O_3^{2-}$).

2) Растворенные газы.

В воде чаще всего растворены: углекислый газ, кислород, азот, сероводород, метан и др.

3) Биогенные вещества.

К биогенным веществам относятся те соединения, которые возникают в связи с жизнедеятельностью организмов. В их состав входят различные формы азота (аммиачный, нитритный, нитратный), фосфора, кремния, железа.

4) Микроэлементы.

К ним относятся элементы, которые содержатся в воде в количествах меньших 10^{-3} %.

5) Органические вещества.

Это могут быть различного рода растительные и животные организмы, микроорганизмы и продукты их взаимодействия с окружающей средой.

Природные воды сильно различаются по общему содержанию растворенных солей и по относительному содержанию различных ионов. Это различие может существенно влиять на свойства воды и, следовательно, на применение ее в различных областях.

Специфические свойства воде придают ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , присутствие которых определяют *жесткость воды*.

Жесткость воды – один из технологических показателей, принятых для характеристики состава и качества природных вод, который характеризуется содержанием числа миллимолей эквивалентов ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в 1л воды. Один миллиэквивалент жесткости отвечает содержанию в воде 20,04мг/л Ca^{2+} или 12,16мг/л Mg^{2+}, что соответствует значению эквивалентной массы этих ионов.

Эти ионы появляются в природных водах в результате взаимодействия с известняками или в результате растворения гипса.

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 = Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

Жёсткость природных вод колеблется в широких пределах. Вода, жёсткость которой менее 4 мэкв/л ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}, характеризуется как *мягкая,* от 4 до 8 – *умеренно жёсткая*, от 8 до 12 – *жёсткая* и более 12 мэкв/л – *очень жёсткая*.

Например, наиболее мягкой является вода атмосферных осадков (0,07-0,1мэкв/л), а жесткость океанской воды составляет 130мэкв/л.

Различают несколько видов жёсткости: общую, временную, постоянную, карбонатную и некарбонатную.

Общей жёсткостью называется суммарная концентрация ионов Ca^{2+}, Mg^{2+} в воде, выраженная в мэкв/л.

Постоянная жёсткость **-** часть общей жёсткости, остающаяся после кипячения воды при атмосферном давлении в течение определённого времени.

Временная жёсткость **–** часть общей жёсткости, удаляющаяся кипячением воды при атмосферном давлении в течение определённого времени. Она равна разности между общей и постоянной жёсткостью.

Карбонатная жёсткость – часть общей жёсткости, эквивалентная концентрации гидрокарбонатов кальция и магния.

Некарбонатная жёсткость - часть общей жёсткости, равная разности между общей и карбонатной жёсткостью.

Пример 1. В 5 *м*^{3} воды содержится 250 *г* ионов кальция и 135 *г* ионов магния. Определить общую жесткость воды.

Решение. Найдем содержание ионов кальция и магния (в *мг/л)* в воде:

$$250 \cdot 1000 / 5 \cdot 1000 = 50 \text{ (мг/л) ионов } Ca^{2+}$$

и $$135 \cdot 1000 / 5 \cdot 1000 = 27 \text{ (мг/л) ионов } Mg^{2+}.$$

1 *мэкв* жесткости отвечает содержанию 20,04 *мг/л* ионов. Ca^{2+} или 12,16 *мг/л* ионов Mg^{2+}; следовательно,

$$Ж = 50/20{,}04 + 27/12{,}16 = 4{,}715 \text{ (мэкв/л)}.$$

<u>Ответ</u>: вода умеренно жесткая.

Пример 2. Вычислить карбонатную жёсткость воды, зная, что на титрование 100мл этой воды, содержащей гидрокарбонат кальция, потребовалось 6,25мл, 0,08 н раствора НС1. Привести уравнение соответствующей реакции.

Решение: Задачу решаем используя закон эквивалентов для растворов.

$$N_1 \bullet V_1 = N_2 \bullet V_2, \qquad (1)$$

где N_1 и N_2 – нормальность растворов 1 и 2, моль-экв/л

V_1 и V_2 – объём растворов 1 и 2, мл

Вычислим нормальность раствора гидрокарбоната кальция:

$$N_1 = 6{,}25 \bullet 0{,}08 / 100 = 0{,}005 \text{ н}$$

Следовательно, в 1 л воды содержится 0,005•1000 = 5 мэкв гидрокарбоната кальция.

Ответ: Ж=5мэкв/л

Ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} не представляют опасности, но значительное их содержание в воде приводит к перерасходу мыла, ухудшению вкуса продуктов и т.д. При нагревании и, особенно при испарении воды соли этих металлов образуют слой накипи, снижающий коэффициенты теплопередачи в охлаждающих и нагревающих системах, что является крайне нежелательным.

Использование природной воды в технике требует ее предварительной очистки. Процесс, приводящий к снижению жёсткости воды, называется ***умягчением воды***.

Способы умягчения воды можно разделить на три основные группы:
1) термическое умягчение воды; 2) реагентные методы умягчения; 3) умягчение воды методом ионного обмена.

1. Термический способ умягчения воды

Временная или карбонатная жесткость, устраняется нагреванием воды до 70—80°С и последующей фильтрацией. При нагревании протекают реакции:

$$Ca(HCO_3)_2 = CaCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 = MgCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

Однако полностью устранить карбонатную жёсткость термическим методом нельзя, т. к. $CaCO_3$, хотя и незначительно, но растворим в воде. Растворимость

$MgCO_3$ достаточно высока, поэтому гидрокарбонат магния сразу же взаимодействует с водой, т.е. наблюдается процесс гидролиза и вместо $MgCO_3$, в осадок выпадает $Mg(OH)_2$:

$$MgC0_3 + H_2O = Mg(OH)_2\downarrow + CO_2\uparrow$$

Термическое умягчение воды связано со значительными затратами, поэтому применяется лишь в том случае, когда вода должна подвергаться соответствующему нагреву.

2. Реагентное умягчение воды.

Реагентное умягчение воды состоит в том, что при введении в воду специальных реагентов катионы кальция и магния, растворенные в ней, переходят в практически нерастворимые соединения, которые выпадают в осадок. В зависимости от используемых реагентов методы водоумягчения классифицируют на известковый, известково-содовый, щелочной, фосфатный и бариевый.

2.1.Известковый метод.

Данный метод используют для частичного устранения из воды карбонатной жесткости.

При введении в воду гашёной извести в виде известкового молока гидрокарбонат кальция соли осаждаются в виде карбонатов:

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O,$$

Дальнейшее введение в воду извести приводит к гидролизу магниевых солей и образованию малорастворимого гидроксида магния, который при pH≥ 10,2…10,3 выпадает в осадок:

$$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = MgCO_3\downarrow + CaCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2\downarrow + CaCO_3\downarrow,$$

Известкованием устраняют из воды и некарбонатную магниевую жесткость при условии, что pH воды будет не ниже 10,2 (при других значениях pH воды гидроксид магния не выпадает в осадок):

$$MgSO_4 + Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2\downarrow + CaSO_4$$

$$MgCl_2 + Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2\downarrow + CaCl_2$$

Приведенные уравнения показывают, что магниевая жесткость устраняется, но значение общей жесткости остается неизменным, так как магниевая жесткость заменяется кальциевой, некарбонатной. Поэтому данный способ можно применять только для умягчения воды с большим значением карбонатной жесткости.

Устранение временной жесткости нейтрализацией гидрокарбонатов гашеной известью применяется крайне редко, т. к. а) мелкодисперсные осадки плохо осаждаются, и требуется укрупнение частиц; б) большое количество мелкодисперсных органических веществ препятствует образованию осадка.

2.2.Известково-содовый

Этот метод используют для одновременного понижения карбонатной и некарбонатной жесткости, когда не требуется глубокого умягчения воды.

Химизм процесса описывается реакциями:

$$MgS0_4 + Na_2CO_3 = MgCO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

$$CaCl_2 + Na_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + 2NaCl$$

(Уравнения реакций устранения карбонатной жесткости с помощью извести смотри выше в п.2.1.).

После добавления в воду реагентов происходит мгновенное образование коллоидных соединений $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$, однако их переход от коллоидного состояния в грубодисперсное, т.е. в то состояние, при котором они выпадают в осадок, занимает длительное время. Поэтому часто известково-содовый способ сочетают с термическим. Например, такое сочетание используют при умягчении воды, которая используется для питания котлов низкого давления, для подпитки теплосети и т.д.

Глубина умягчения воды при известково-содовом методе соответственно равна: без подогрева воды жесткость понижается до 1…2мэкв/л;

при подогреве воды до 80…90^oC жесткость понижается до 0,2…0,4мэкв/л.

2.3. Щелочной метод.

Данный метод умягчения воды описывается следующими уравнениями химических реакций:

$$Ca(HCO_3)_2 + 2NaOH = CaCO_3\downarrow + Na_2CO_3 + H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 + 2NaOH = Mg(OH)_2\downarrow + Na_2CO_3 + H_2O + CO_2$$

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

$$CaCl_2 + Na_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + 2NaCl$$

$$CO_2 + NaOH = Na_2CO_3 + H_2O$$

$$MgSO_4 + 2NaOH = Mg(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$$

$$MgCl_2 + 2NaOH = Mg(OH)_2\downarrow + 2NaCl$$

Из приведенных уравнений реакций следует:

1) гидроксид натрия (NaOH) в процессе умягчения воды расходуется на устранение карбонатной жесткости и нейтрализацию углекислого газа, растворенного в воде.

2) сода (Na_2CO_3), образующаяся при распаде гидрокарбонатов и нейтрализации углекислого газа, используется для удаления некарбонатной жесткости.

Глубина умягчения воды при щелочном методе такая же, как и при известково-содовом, т.е. значение остаточной жесткости практически около 1мэкв/л, а при подогреве умягчаемой воды – 0,2…0,4мэкв/л.

2.4.Фосфатный метод.

Данный метод умягчения воды является наиболее эффективным реагентным методом. Химизм процесса умягчения воды фосфатом натрия описывается следующими уравнениями реакций:

$$3CaS0_4 + 2Na_3P0_4 = Ca_3(PO_4)_2\downarrow + Na_2SO_4$$

$$3MgCl_2 + 2Na_3PO_4 = Mg_3(PO_4)_2 \downarrow + 6NaCl$$

$$3Ca(HCO_3)_2 + 2Na_3PO_4 = Ca_3(PO_4)_2\downarrow + 6NaHCO_3$$

$$3Mg(HCO_3)_2 + 2Na_3PO_4 = Mg_3(PO_4)_2 \downarrow + 6NaHCO_3$$

Как видно из приведенных уравнений реакций, сущность метода заключается в образовании кальциевых и магниевых солей фосфорной кислоты, которые обладают малой растворимостью в воде и поэтому достаточно полно выпадают в осадок.

Фосфатное умягчение обычно осуществляют при подогреве воды до 105…150^{0}С, достигая уменьшения жесткости до 0,02...0,03мэкв/л. Из-за высокой стоимости фосфата натрия фосфатный метод обычно используют для доумягчения воды, предварительно умягченной известью и содой. Данный метод используется,

например, для подготовки питательной воды для котлов среднего и высокого давления (588…980МПа).

2.5.Бариевый метод.

Умягчение воды основано на введении в нее гидроксида бария или алюмината бария и образовании практически нерастворимых соединений кальция и магния, а также сульфата бария. Химизм процесса описывается следующими уравнениями реакций:

$$CaSO_4 + Ba(OH)_2 = Ca(OH)_2\downarrow + BaSO_4\downarrow$$

$$CaCl_2 + BaAl_2O_4 = BaCl_2 + CaAl_2O_4\downarrow$$

$$Ca(HCO_3)_2 + BaAl_2O_4 = CaAl_2O_4\downarrow + BaCO_3\downarrow + H_2O + CO_2$$

(Аналогичные уравнения реакций можно записать и для солей магния).

Бариевый метод умягчения воды очень дорогой, а бариевые соли ядовиты, поэтому его целесообразно применять при частичном обессоливании воды за счет извлечения сульфатов.

Пример 3. Жесткость воды равна 5,4 *мэкв* ионов кальция в 1 л воды. Какое количество фосфата натрия Na_3P0_4 необходимо взять, чтобы понизить жесткость 1 *т* воды практически до нуля.

Решение: Задачу решаем, используя формулу

$$Ж = m / Э•V, \qquad (1)$$

где m – масса вещества, обусловливающего жёсткость воды, или применяемого для устранения жёсткости воды, г;

Э – эквивалентная масса этого вещества; г/моль; V – объём воды, л.

$$Э\ (Na_3PO_4) = M(Na_3PO_4) / n•B, \qquad (2)$$

где n – количество ионов металла; B – валентность металла.

$$Э(Na_3PO_4) = 164 / 3 = 54,7\ (г/моль)$$

Из уравнения (1) выразим массу

$$m = Ж•Э•V = 5,4•54,7•1000 = 295,38\ (г)$$

<u>Ответ:</u> m = 295,38г.

3. Методы ионного обмена

Катионитовый метод умягчения воды основан на способности некоторых практически нерастворимых в воде веществ, называемых катионитами , обменивать содержащиеся в них активные группы катионов (натрия, водорода и др.), на катионы кальция или магния, находящиеся в воде.

В настоящее время большое распространение получили ионообменные смолы, которые получают на основе синтетических полимеров. Ионнообменные смолы – это сетчатые, трёхмерные полимеры, не растворяющиеся в воде, но ограниченно набухающие в ней и содержащие групы, способные к обмену ионов

Умягчаемую воду фильтруют через слой катионита, при этом катионы кальция и магния из воды переходят в катионит, а в воду переходят катионы натрия или водорода. Химизм Na-катионирования описывается уравнениями реакций:

$$2NaR + Ca(HCO_3)_2 = CaR_2 + 2NaHCO_3$$

$$2NaR + Mg(HCO_3)_2 = MgR_2 + 2NaHCO_3$$

$$2NaR + CaSO_4 = CaR_2 + Na_2SO_4$$

$$2NaR + MgCl_2 = MgR_2 + 2NaCl$$

(где R – комплекс катионита, практически нерастворимый в воде)

Процесс Н-катионирования описывается следующими уравнениями реакций:

$$2HR + Ca(HCO_3)_2 = CaR_2 + 2CO_2 + 2H_2O$$

$$2HR + Mg(HCO_3)_2 = MgR_2 + 2CO_2 + 2H_2O$$

$$2HR + CaSO_4 = CaR_2 + H_2SO_4$$

$$2HR + MgCl_2 = MgR_2 + 2HCl$$

(где R – комплекс катионита, практически нерастворимый в воде)

Таким образом, после Na-катионирования получается фильтрат со щелочной средой, а после Н-катионирования – фильтрат с кислой средой. Смешивая оба фильтрата в определенной пропорции, можно получить практически полностью умягченную воду.

Каждый обменный катионит обладает определенной обменной способностью, которая выражает то количество катионов, которое может задержать (обменять) катионит в течение фильтроцикла.

Обменной емкостью катионита называют максимальное количество ионов (в мэкв/л или мэкв/г), поглощаемое 1г катионита обменным путем.

$$\varepsilon = Ж\ V/m, \qquad (3)$$

где V-объем воды, пропущенный через катионит, л; Ж –жесткость воды, мэкв/л;

m- масса катионита, г.

Пример 3. Вычислите обменную емкость сульфоугля, если через адсорбционную колонку, содержащую 50г сульфоугля, пропущено 11,35л воды с общей жесткостью 8,5 мэкв/л (до появления катионов кальция и магния в фильтрате).

Решение: Объемная емкость сульфоугля равна:

$$\varepsilon = Ж\ V/m = 8{,}5 \cdot 11{,}35/50 = 1{,}93 \text{ мэкв/л}$$

Ответ: ε = 1, 93мэкв/л.

Количество катионов кальция и магния, которое может быть поглощено определённым количеством катионита, называется ёмкостью поглощения (Еп*)*. Ёмкость поглощения определяется количеством ионов (в мэкв) на 1 кг сухого катионита (мэкв/кг) или на 1 м^3 набухшего катионита (мэкв/м^3).

Пример 4. Через катионитовый фильтр, рабочий объём которого равен 3,0 м^3, пропускают воду, жесткость её 6,5 мэкв/м^3. Объемная скорость течения воды —10 м^3|ч. Определить емкость поглощения катионита (Еп) в (мэкв/м^3), если фильтр работает без регенерации 2,5 сут.

Решение: В течение 2,5 сут, т. е. 60 *ч,* через фильтр проходит воды:

$$10 \cdot 60 = 600 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Найдем число миллиэквивалентов ионов кальция и магния, содержащихся в 600 м^3 воды.

$$6{,}5 \text{ мэкв/м}^3 . 600 \text{ м}^3 = 3900 \text{ мэкв.}$$

Емкость поглощения катионита, объем которого равен 3,0 м^3, составляет:

Еп = 3900 мэкв : 3 м^3 = 1300 мэкв/м^3

Ответ: Еп = 1300мэкв/м^3.

Пример 5. Определить потребность катионита (алюмосиликата) в $м^3$ для умягчения 500 т воды, жесткость которой равна 7,5 мэкв/л. Емкость поглощения катионита — 850 мэкв/$м^3$; плотность воды—1000 кг/$м^3$.

Решение:

В 1 $м^3$ воды содержится:

$$7{,}5 \cdot 1000 / 1000 = 7{,}5 \text{ (мэкв/м}^3\text{)}$$

Число миллиэквивалентов жесткости в 500 т воды составляет:

$$7{,}5 \text{ мэкв/м}^3 \bullet 500 \text{ м}^3 = 3750 \text{ мэкв.}$$

Потребность катионита в $м^3$ с учетом емкости поглощения равна:

$$3750 \text{ мэкв} / 850 \text{ мэкв/м}^3 = 4{,}4 \text{ м}^3$$

Обменная способность катионита постепенно истощается. Её можно восстановить, пропуская через катионит раствор поваренной соли (для регенерации Na-катионита), а также раствор серной или соляной кислоты (для регенерации H-катионита). Химизм регенерации катионита описывается реакциями:

$$CaR_2 + 2NaCl = 2NaR + CaCl_2$$

$$MgR_2 + 2NaCl = 2NaR + MgCl_2$$

$$CaR_2 + H_2SO_4 = 2HR + CaSO_4$$

$$MgR_2 + H_2SO_4 = 2HR + MgSO_4$$

Заключительная операция регенерации катионита состоит в отмывке его от избытка регенерирующего раствора и продуктов регенерации (соединений кальция и магния, вытесняемых из катионита). Отмывку производят обычно током воды сверху вниз. После отмывки катионита фильтр вновь включают в работу.

Главным достоинством метода катионирования является то, что катиониты можно использовать многократно (200 – 250 циклов).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ОПЫТ1. *Определение общей жесткости воды комплексонометрическим методом.*

Отберите мерным цилиндром 100мл водопроводной воды и перенесите ее в коническую колбу; добавьте к исследуемой воде 5-7мл аммиачного буферного раствора и несколько кристалликов (на кончике шпателя) эриохром черного Т.

Приготовленную пробу медленно при постоянном перемешивании оттитруйте раствором комплексона III до перехода розовой окраски в голубую. Результат титрования запишите.

Повторите титрование еще раз. Если результаты двух титрований совпадут ($\Delta V \leq 0{,}1$мл), рассчитайте общую жесткость воды. В противном случае оттитруйте еще одну пробу воды. Найдите средний объем раствора комплексона III, израсходованный на титрование воды.

Общую жесткость воды рассчитывают по закону эквивалентов (мэкв/л):

$$Ж = V_2 N_2 1000/ V_1,$$

где V_1 – объем анализируемой воды, мл;

V_2- объем раствора комплексона III, мл;

N_2- молярная концентрация эквивалента раствора комплексона III, моль-экв/л;

1000 – коэффициент перевода моль-экв/л в мэкв/л.

ОПЫТ 2. У*мягчение воды методом катионирования*

Через фильтр (колонку, заполненную катионитом) пропустите 300-400мл водопроводной воды. Скорость фильтрования регулируется зажимом и не должна превышать 15 капель в минуту. Умягченную воду соберите в стакан, ополоснутый первыми порциями фильтрата.

Коническую колбу и мерный цилиндр ополосните умягченной водой. Определите общую жесткость умягченной воды (см. опыт 1).

Сделайте вывод, на сколько понизилась жёсткость воды после ее умягчения.

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

№1

А.Вода содержит 0,12 г $MgSO_4$ и 0,243 г $Ca(HCO_3)_2$ на 1 литр. Определить общую жёсткость воды. Привести реакции фосфатного метода умягчения воды, содержащей данные соли.

Б. Устранение временной жёсткости 100 л воды, вызванной присутствием гидрокарбоната магния, потребовало 4 г гидроксида натрия. Составить уравнение реакции и рассчитать, чему равна жёсткость воды.

В. Сколько гашёной извести необходимо прибавить к 1 $м^3$ воды, чтобы устранить временную жёсткость, равную 7,2 мэкв/л? Привести соответствующее уравнение реакции.

Г. Какая масса сульфата кальция содержится в 200 л воды, если жёсткость, обуславливаемая этой солью, равна 8 мэкв/л? Привести уравнение реакции бариевого метода умягчения воды.

Д. Карбонатная жёсткость воды равна 5 мэкв/л. Вычислить, какое количество гидрокарбоната кальция содержится в 5 л этой воды (ответ выразить в граммах). Составить уравнение реакции термического умягчения воды..

Е. Вычислить временную жёсткость воды, зная, что для реакции с гидрокарбонатом магния, содержащемся в 200 $см^3$ воды, требуется 15 $см^3$ 0,08 н раствора соляной кислоты. Привести уравнение соответствующей реакции.

Ж. При определении общей жесткости воды комплексометрическим методом на титрование 200 мл исследуемой воды пошло 5,5 мл 0,1 н раствора комплексона III. Вычислить общую жесткость воды

З. Какую массу карбоната натрия надо прибавить к 1 $м^3$ воды, чтобы устранить жёсткость, равную 8 мэкв/л? Привести уравнение реакции.

И. В 10 л воды содержится 38 мг гидрокарбоната магния и 108 мг гидрокарбоната кальция. Вычислить общую жёсткость воды. Привести уравнения реакций термического умягчения воды.

К. При кипячении 250 мл воды, содержащей только гидрокарбонат магния, выпал осадок массой 4,5 мг. Чему равна жёсткость воды. Привести уравнение реакции.

Л. Вычислить временную жёсткость воды, зная, что на реакцию с гидрокарбонатом магния, содержащимся в 200 мл этой воды, потребовалось 5 мл 0,1 н раствора соляной кислоты. Составить уравнение реакции.

М. Сколько граммов гидроксида кальция необходимо прибавить к 1000 л воды, чтобы удалить временную жёсткость, равную 2,86 мэкв/л? Составить уравнение реакции.

Н. Рассчитайте изменение жёсткости воды в результате Na-катионирования, если концентрация ионов Na^+ в воде увеличилась на 46мг/л. Привести уравнение реакции.

О. Чему равна жесткость природной воды, если содержание ионов магния в ней составляет 121,6 мг/л? Привести уравнения реакции катионитного умягчения воды с использованием Н-катионита.

П. Определить жесткость воды, если в 1 л ее содержится 0,1002 г ионов Ca^{2+} и 0,03648 г ионов $Mg^{2+.}$ Привести уравнения реакций устранения карбонатной жесткости термическим методом.

Р. Вода содержит 0,12 г/л растворенного гидрокарбоната кальция. Сколько нужно прибавить извести $Ca(OH)_2$ к 100 мл воды, чтобы осадить гидрокарбонат в виде карбоната? Привести уравнение соответствующей реакции.

№2

А. . Определите емкость поглощения катионита, если до отключения катионитового фильтра через него было пропущено 600 т воды, содержащей 90 мг/л сульфата кальция и 30 мг/л сульфата магния. Объём катионита 3,5 $м^3$

Б. Какова общая и карбонатная жёсткость воды, если в 1 л воды содержатся ионы Ca^{2+} - 0,111 г; Mg^{2+} - 06 г; SO_4^{2-} - 0,098 г; $C1^-$ - 0,14 г.

В. Рассчитайте карбонатную, некарбонатную и общую жёсткость воды, содержащую в 1 л: Ca^{2+} - 80 мг; HCO_3^- - 122 мг; $C1^-$ - 71 мг; Mg^{2+} - 48 мг.

Г. Общая жесткость воды равна 11,7 мэкв/л. Определить постоянную жесткость воды, если при определении временной жесткости на 100 мл испытуемой воды при титровании пошло 6,5 мл 0,1 н. раствора соляной кислоты

Д. Через катионитовый фильтр, рабочий объем которого равен 2,12 $м^3$, пропускают воду, жесткость которой до фильтрования составляет 6,2 мэкв/л. Объемная скорость течения воды — 5,0 $м^3$/ч. Определить ёмкость поглощения катионита (в мэкв/$м^3$), если фильтр работает без регенерации трое суток.

Е. Определить (в $м^3$) суточную потребность катионита (без регенерации) для умягчения воды. Объемная скорость течения воды — 5 $м^3$/ч, жесткость воды — 8,5 мэкв/л, емкость поглощения катионита (Е)—1150 мэкв/$м^3$.

Ж. Через катионитовый фильтр, рабочий объем которого равен 2,15 $м^3$, пропускают воду, жесткость которой до фильтрования составляет 7,5 мэкв/л. Объемная скорость течения воды — 6,0 $м^3$/ч. Определить емкость поглощения катионита (в мэкв/$м^3$), если фильтр работает без регенерации трое суток.

З. Рассчитайте обменную емкость катионита марки КУ-2, если через адсорбционную колонку, содержащую 100г этого катионита, пропустили 25л воды, содержащей 9,85г гидрокарбоната магния и 11,38г хлорида кальция.

И. Определить общую жёсткость воды, в 10 л которой содержится 0,95 г хлорида магния, 2,22 г хлорида кальция, 0,73 г гидрокарбоната магния и 2,43 г гидрокарбоната кальция.

К. Рассчитайте карбонатную, некарбонатную и общую жёсткость воды, содержащую в 10 л: Ca^{2+} - 40 мг; HCO_3^- - 61 мг; $C1^-$ - 35 мг; Mg^{2+} - 24 мг.

Л. Общая жесткость воды равна 8,5 мэкв/л. Определить постоянную жесткость воды, если при определении временной жесткости на 100 мл испытуемой воды при титровании пошло 6,5 мл 0,1 н. раствора соляной кислоты

М. Определить (в $м^3$) суточную потребность катионита (без регенерации) для умягчения воды. Объемная скорость течения воды —6 $м^3$/ч, жесткость воды — 8,5 мэкв/л, ёмкость поглощения катионита *(Е)*—1200 мэкв/$м^3$.

Н. Какова постоянная и временная жёсткость воды, если в ней содержится ионов Ca^{2+} - 0,110 г/л; Mg^{2+} - 0,0425 г/л; HCO_3^- - 0,07 г/л.

О. Какова общая и временная жёсткость воды, если в 1 л воды содержатся ионы Mg^{2+} - 0,3 г; SO_4^{2-} - 0,049 г; $C1^-$ - 0,07 г, Ca^{2+} - 0,055 г;

П. Объемная емкость каолиновой глины составляет 13,5мэкв/л. Какой объем воды общей жесткостью 3,5мэкв/л можно профильтровать через 150г глины для полного удаления катионов кальция и магния?

Р. Определить общую жёсткость воды, в 100 л которой содержится 8,5 г хлорида магния, 11,8 г хлорида кальция, 6,1 г гидрокарбоната магния и 18,3 г гидрокарбоната кальция.

Библиографический список

1. Лучинский Г.П. Курс химии: Учебник для инженерно-технических (нехимических) вузов. М.: Высш. школа, 1985.
2. Фролов В.В. Химия. М.: Высш. школа, 1979.
3. Коровин Н.В. Общая химия. М.: Высш. школа, 1998.
4. Николадзе Г.И. и др. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения: Учеб. пособие по спец.’’Водоснабжение и канализация’’ для вузов. М.: Высш. школа, 1984.
5. Коровин Н.В. Лабораторные работы по химии. М.: Высш. школа,
6. Романцева Л.М. и др. Сборник задач и упражнений по общей химии. М.: Высш. школа, 1991.