

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 14.09.2019
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e94504448511da56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра фундаментальной химии и химической технологии



ЖЕСТКОСТЬ ВОДЫ И МЕТОДЫ ЕЁ УСТРАНЕНИЯ

Методические указания для самостоятельной работы
по дисциплине «Неорганическая химия»
для студентов направления подготовки
04.03.01 «Химия»

КУРСК 2019

УДК 546

Составитель: О.В. Бурыкина

Рецензент

кандидат педагогических наук, ст. преп. Уварова Т.А.

Жесткость воды и методы её устранения: методические указания по дисциплине «Неорганическая химия» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О.В. Бурыкина Курск, 2019, 16с., Библиогр.: 16с.

Излагаются методические указания по выполнению домашнего индивидуального задания по теме «Жесткость воды и методы её устранения» курса «Неорганическая химия». Рассматриваются примеры решения задач по определению различных видов жесткости, по расчету количества умягчителей для устранения жесткости, по расчету технологических характеристик ионитов.

Методические указания предназначены для студентов 1 курса дневного отделения направления подготовки 04.03.01 «Химия», изучающих дисциплину «Неорганическая химия» согласно рабочего учебного плана направления подготовки 04.03.01 «Химия».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 22.07.19. Форма 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 0,7. Уч.-изд.л. 0,6. Тираж 30 экз. Заказ. 532 Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Вопросы для самоподготовки.....	5
1. Жесткость воды и её виды.....	6
2. Методы умягчения воды.....	7
Индивидуальные задания.....	11
Библиографический список.....	16

ВВЕДЕНИЕ

Нет сферы человеческой деятельности, которая не была бы связана в той или иной мере с использованием воды. Крупнейшим потребителем воды является современная химическая промышленность. Огромное количество воды потребляется металлургическими, коксохимическими и нефтеперерабатывающими заводами.

Многие свойства воды широко используются человеком.

Вода - один из наиболее распространенных катализаторов. Она обладает большой теплоёмкостью, что обуславливает применение её в качестве теплоносителя. Вода вследствие незначительной сжимаемости используется в различных механизмах для передачи давления.

Вода - универсальный растворитель веществ. Поэтому природная вода всегда содержит различные примеси, от концентрации и природы которых зависит пригодность её для промышленных и бытовых целей

Одним из основных показателей качества природных вод является жесткость воды (ГОСТ 2875-54), обусловленная присутствием в воде солей кальция и магния

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Что такое жесткость? Какие она имеет единицы измерения?
2. Какие Вы знаете виды жесткости?
3. Какая жесткость называется общей?
4. Какая жесткость называется карбонатной?
5. Какая жесткость называется некарбонатной?
6. Какая жесткость называется кальциевой, а какая магниевой?
7. Приведите классификацию вод по жесткости.
8. Приведите формулы, которые используются при определении жесткости воды.
9. Какие основные методы умягчения воды Вы знаете? Приведите уравнения соответствующих реакций.
10. Ионообменная емкость катионита и анионита. В каких единицах она выражается? От каких факторов зависит?
11. Почему для регенерации катионита его промывают раствором хлористого натрия, а затем водой? Можно ли регенерировать катионит, промывая его раствором хлористого магния?

1. ЖЕСТКОСТЬ ВОДЫ И ЕЁ ВИДЫ

Природная вода - сложная многокомпонентная система, в которой содержатся в растворенном виде различные органические и неорганические соединения.

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.

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.

Единицы измерения жесткость - ммэкв/л.

По величине жесткости вода классифицируется:

- менее 4 ммэкв/л - вода мягкая,
- 4-8 ммэкв/л – вода средней жесткости,
- 8-12 ммэкв/л – вода жесткая,
- более 12 ммэкв/л – вода очень жесткая.

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

Жесткость бывает общая, карбонатная, некарбонатная, кальциевая, магниевая.

Суммарная концентрация ионов кальция и магния называется **общей жесткостью**.

Постоянная жесткость - часть общей жесткости, остающаяся после кипячения воды при атмосферном давлении в течение определенного времени.

Временная жесткость – часть общей жесткости, удаляющаяся кипячением воды при атмосферном давлении в течение определенного времени. Она равна разности между общей и постоянной жесткостью.

Карбонатная жесткость обусловлена наличием гидрокарбонатов кальция и магния, не карбонатная – наличием в воде солей кальция и магния, кроме гидрокарбонатов.

$$J_{\text{общ}} = J_{\text{карб}} + J_{\text{некарб}} \quad (1)$$

Жесткость, обусловленная наличием в воде только солей кальция, называется кальциевой, а обусловленная наличием в воде только солей магния – магниевой.

Пример 1 Вычислить жесткость воды, зная, что 500 л ее содержат 202,5 г гидрокарбоната кальция.

Решение: В 1 л воды содержится $202,5/500=0,405$ г, что составляет $0,405:81=0,005$ эквивалентных масс или 5 ммоль-экв/л (81 г/моль – эквивалентная масса). Следовательно, жесткость воды 5 ммоль-экв/л.

Ответ: Вода относится к воде средней жесткости.

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

Решение: Задачу решаем используя закон эквивалентов для растворов.

$$N_1 \cdot V_1 = N_2 \cdot V_2, \quad (2)$$

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:

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

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

Ответ: $J=5$ мэкв/л

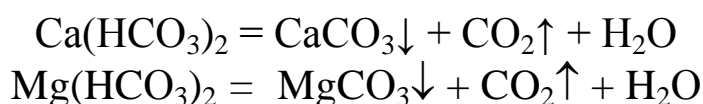
2. МЕТОДЫ УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ

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 жесткости воды, называется умягчением воды.

1) термический:

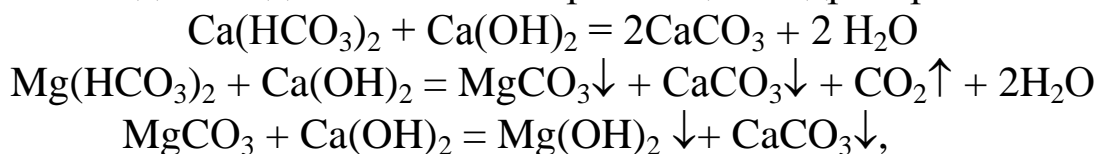
нагреванием удаляют гидрокарбонаты:



2) реагентный:

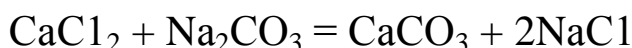
- **известковый метод**

Метод используют для частичного устранения из воды карбонатной жесткости, которую устраняют введением $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в количестве необходимом для полной нейтрализации гидрокарбонатов:



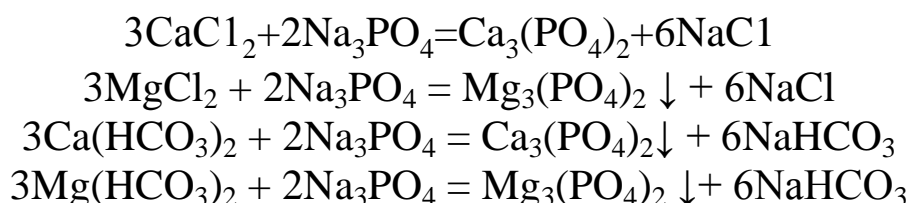
- **содовый метод**

устраняют некарбонатную жесткость добавлением соды, при этом растворимые соли жесткости переводятся в нерастворенное состояние:



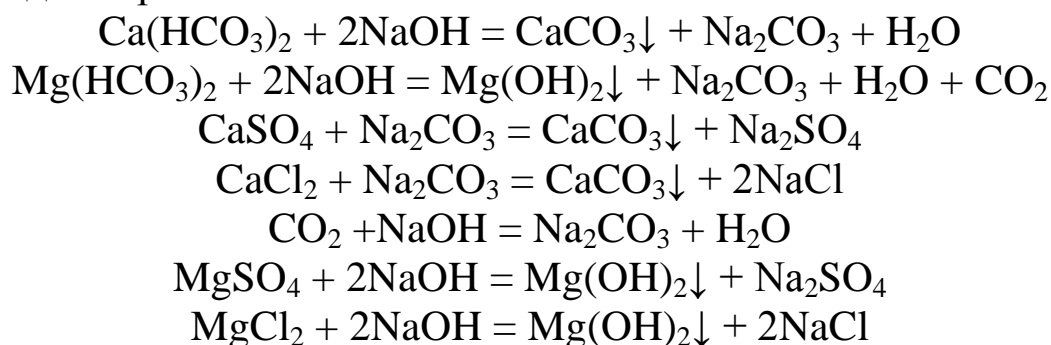
- **фосфатный метод**

Устраняют жесткость добавлением фосфатов, при этом растворимые соли жесткости переводятся в нерастворенное состояние:



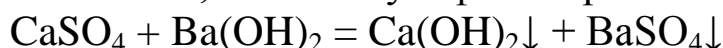
- **щелочной метод.**

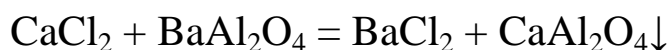
Для умягчения к воде добавляют необходимое количество гидроксида натрия или калия:



- **бариевый метод**

Для умягчения воды в нее вводят гидроксида бария или алюмината бария при этом образуются практически нерастворимых соединений кальция и магния, а также сульфата бария:





Пример 3. Жесткость воды равна 5,4 мэкв ионов кальция в 1 л воды. Какое количество фосфата натрия Na_3PO_4 необходимо взять, чтобы понизить жесткость 1 т воды практически до нуля.

Решение: Задачу решаем, используя формулу

$$\mathbf{Ж = m / Э \cdot V, \quad (3)}$$

где m – масса вещества, обуславливающего жесткость воды, или применяемого для устранения жесткости воды, г;

Э – эквивалентная масса этого вещества; г/моль;

V – объём воды, л.

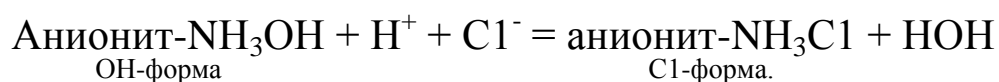
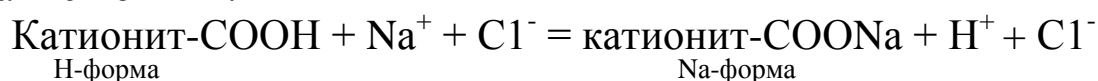
$$\text{Э}(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 164 / 3 = 54,7 \text{ (г/моль)}$$

$$m = \text{Ж} \cdot \text{Э} \cdot V = 5,4 \cdot 54,7 \cdot 1000 = 295,38 \text{ (г)}$$

Ответ: $m = 295,38 \text{ г}$.

3) *ионообменный*

В этом методе используют не растворимые полимеры (сорбенты) искусственного или натурального происхождения, содержащие функциональные группы, способные связывать либо катионы с высвобождением ионов H^+ , либо анионов с высвобождением ионов OH^- . Первые называются катиониты, вторые – аниониты. Общее их название иониты.



Каждый обменный катионит обладает определенной **обменной емкостью**.

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

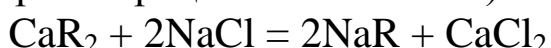
$$\mathbf{\varepsilon = Ж V/m, \quad (4)}$$

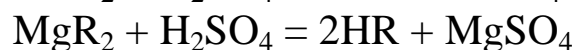
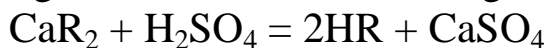
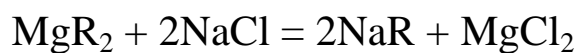
где V – объём воды, пропущенный через катионит, л;

Ж – жесткость воды, мэкв/л;

m – масса катионита, г.

Обменная емкость 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):





Заключительная операция регенерации катионита состоит в отмывке его от избытка регенерирующего раствора и продуктов регенерации. Отмывку производят током воды сверху вниз. После отмывки катионита фильтр вновь включают в работу.

Достоинство метода катионирования - многократно (200 – 250 циклов) использование катионитов.

Пример 4. 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:

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

Ответ: $\varepsilon = 1,93$ мэкв/л.

*Количество катионов кальция и магния, которое может быть поглощено определённым количеством катионита, называется **ёмкостью поглощения (E_n)**.*

Ёмкость поглощения определяется количеством ионов (в мэкв) на 1 кг сухого катионита (мэкв/кг) или на 1 м³ набухшего катионита (мэкв/м³).

Пример 5. Через катионитовый фильтр, рабочий объём которого равен 3,0 м³, пропускают воду, жесткость её 6,5 мэкв/м³. Объемная скорость течения воды — 10 м³/ч. Определить емкость поглощения катионита (E_n) в (мэкв/м³), 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 м³ воды.

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

Ёмкость поглощения катионита, объем которого равен 3,0 м³, составляет:

$$E_n = 3900 \text{ мэкв} : 3 \text{ м}^3 = 1300 \text{ мэкв/м}^3$$

Ответ: $E_n = 1300$ мэкв/м³.

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

ВАРИАНТ 1

1. 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.

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

3. 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. Объем катионита $3,5 \text{ м}^3$

ВАРИАНТ 2

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

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

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

ВАРИАНТ 3

1. При определении общей жесткости воды комплексометрическим методом на титрование 200 мл исследуемой воды пошло 5,5 мл $0,1 \text{ н}$ раствора комплексона III. Вычислить общую жесткость воды. Привести уравнение реакции фосфатного метода умягчения воды, содержащей хлорид кальция.

2. 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.

3. Определить (в м^3) суточную потребность катионита (без ре-

генерации) для умягчения воды. Объемная скорость течения воды - $5 \text{ м}^3/\text{ч}$, жесткость воды - $8,5 \text{ мэкв/л}$, емкость поглощения катионита (Е)- 1150 мэкв/м^3 .

ВАРИАНТ 4

1. 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.

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

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

ВАРИАНТ 5

1. 10 л воды содержится 38 мг гидрокарбоната магния и 108 мг гидрокарбоната кальция. Вычислить общую жёсткость воды. Привести уравнения реакций термического умягчения воды.

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

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

ВАРИАНТ 6

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

2. Сколько граммов гидроксида кальция необходимо прибавить к 500 л воды, чтобы удалить временную жёсткость, равную 3 мэкв/л ? Составить уравнение реакции.

3. Объемная емкость каолиновой глины составляет $13,5 \text{ мэкв/л}$.

Какой объем воды общей жесткостью 3,5 мэкв/л можно профильтровать через 150 г глины для полного удаления катионов кальция и магния?

ВАРИАНТ 7

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

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

3. Определить (в м^3) суточную потребность катионита (без регенерации) для умягчения воды. Объемная скорость течения воды - $6 \text{ м}^3/\text{ч}$, жесткость воды - 8,5 мэкв/л, ёмкость поглощения катионита (E) - 1200 мэкв/ м^3 .

ВАРИАНТ 8

1. 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.

2. Какая масса сульфата кальция содержится в 250 л воды, если жесткость, обуславливаемая этой солью, равна 7 мэкв/л? Привести уравнение реакции бариевого метода умягчения воды.

3. Определите емкость поглощения катионита, если до отключения катионитового фильтра через него было пропущено 500 т воды, содержащей 85 мг/л хлорида кальция и 30 мг/л сульфата магния. Объем катионита $3,5 \text{ м}^3$

ВАРИАНТ 9

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

2. Общая жесткость воды равна 6,8 мэкв/л. Определить постоянную жесткость воды, если при определении временной жесткости на 100 мл испытуемой воды при титровании пошло 5,7 мл 0,1 н. раствора соляной кислоты

3. Определить (в м³) суточную потребность катионита (без регенерации) для умягчения воды. Объемная скорость течения воды - 5 м³/ч, жесткость воды - 7,8 мэкв/л, ёмкость поглощения катионита (E) - 1200 мэкв/м³.

ВАРИАНТ 10

1. Определить жесткость воды, если в 1 л ее содержится 0,1002 г ионов Ca²⁺ и 0,03648 г ионов Mg²⁺. Привести уравнения реакций устранения карбонатной жесткости термическим методом.

2. 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

3. Обменная способность сульфоугля равна 530 г·экв/м³. Сколько кубометров воды может умягчить 1 м³ сульфоугля, если общая жесткость воды равна 6 мг·экв/л?

ВАРИАНТ 11

1. Вода содержит 0,24 г MgSO₄ и 0,486 г Ca(HCO₃)₂ на 3 литр. Определить общую жёсткость воды. Привести реакции содового способа умягчения воды, содержащей данные соли

2. Чему равна жесткость воды, если для ее устранения к 50 л воды потребовалось прибавить 21,2 г карбоната натрия

3 Определить потребность катионита (алюмосиликата) в м для умягчения 500 т воды, жесткость которой равна 5 мг-экв/л. Ёмкость поглощения катионита - 850 г-экв/м³, плотность воды-1000 кг/м³.

ВАРИАНТ 12

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

2. Вода, содержащая только гидрокарбонат кальция, имеет жесткость 9 ммоль/л. Какая масса гидрокарбоната кальция содержится в 500 л воды?

3. Через катионитовый фильтр, рабочий объем которого равен 1,1 м³, пропускают воду, жесткость которой до фильтрования составляет 5,5 мэкв/л. Объемная скорость течения воды - 3,0 м³/ч. Определить ёмкость поглощения катионита (в мэкв/м³), если фильтр работает без регенерации трое суток.

ВАРИАНТ 13

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

2. Сколько граммов соды надо прибавить к 750 л воды, чтобы устранить ее жесткость, равную 6 ммоль/л?

3. Определить (в м^3) суточную потребность катионита (без регенерации) для умягчения воды. Объемная скорость течения воды - 6 $\text{м}^3/\text{ч}$, жесткость воды - 5,5 мэкв/л, ёмкость поглощения катионита (E) - 1000 мэкв/ м^3 .

ВАРИАНТ 14

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

2. Сколько граммов карбоната натрия надо прибавить к 400 л воды, чтобы устранить жесткость, равную 3 ммоль/л?

3. Рабочая емкость катионита 730 г-экв/ м^3 . Определить количество Ca^{2+} , поглощаемое 1 л катионита.

ВАРИАНТ 15

1. 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

2. Сколько граммов карбоната натрия надо прибавить к 0,1 м^3 воды, чтобы устранить жесткость, равную 4 ммоль/л

3. На титрование 0,50 г воздушно-сухого сильнокислотного катионита с сульфатными группами – SO_3H пошло 25,5 мл 0,100 М раствора гидроксида натрия. Вычислите обменную емкость катионита, если массовая доля воды в образце составляет 8%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коровин Н.В. Общая химия : учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования / Н. В. Коровин. — 14-е изд., перераб. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 496 с
2. Задачи и упражнения по общей химии/ Под ред. Н.В. Коровина. М.: Высш. шк., 2008 г.- 255с.
3. Глинка Н.Л. Задачи и упражнения по общей химии. М.: Интеграл-прес, 2002 г.
4. Ахметов Н. С. Общая и неорганическая химия, М.: Высшая школа, 2006. – 742с.