

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 выполнения лабораторной работы  
по дисциплине «Неорганическая химия»  
для студентов направления подготовки  
04.03.01 «Химия»

КУРСК 2019

УДК 546

Составитель: О.В. Бурыкина

Рецензент

кандидат химических наук, доцент Фатьянова Е.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 проведению лабораторной работы по теме «Жесткость воды и методы её устранения» курса «Неорганическая химия». Рассматриваются методики определения различных видов жесткости, а также методы устранения жесткости.

Методические указания предназначены для студентов 1 курса дневного отделения направления подготовки 04.03.01 «Химия», выполняющих лабораторную работу по теме «Жесткость воды и методы её устранения» дисциплины «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 531. 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.....	8
Лабораторная работа	
Жесткость воды и методы её умягчения.....	12
Библиографический список.....	16

## Введение

Одним из актуальных вопросов современного мира является чистота и качество воды. Не существует человека, который бы не сталкивался с такой проблемой. Одним из показателей качества воды является жесткость. Для того чтобы иметь представление о жесткости воды, достаточно заглянуть на дно чайника.

Особенно чувствительна данная проблема в тех местах, где используется артезианская вода. Уровень жесткости воды зависит от содержания в ней соединений кальция и магния. Кальция и магний способны образовать карбонатную и временную жесткость любой воды.

Питьевая вода с повышенной жесткостью обладает горьковатым привкусом, но это не страшно. Употреблять данный вид воды опасно для организма. Такая вода нарушает работоспособность органов пищеварения и влияет на организм в целом. В домашнем хозяйстве данная вода способна вывести из строя такие приборы как чайник, стиральная машина и бойлер. Она способствует засорению, а также разрушает сантехнические трубы. В жесткой воде хуже растворяются вещества, не мылится мыло.

Следить за качеством используемой воды необходимо и на производстве, например, при производстве продуктов питания (например, безалкогольные напитки, соки и др.) используется вода и к ней предъявляются особые требования (ГОСТ 2874), поскольку от чистоты воды зависят вкусовые качества полученного продукта.

## 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.

Содержащиеся в воде вещества условно можно разделить:

1) *Главнейшие ионы* ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , реже  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{HSiO}_3^-$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ).

2) *Растворенные газы* (углекислый газ, кислород, азот, сероводород, метан и др.).

3) *Биогенные вещества* - соединения, которые возникают в связи с жизнедеятельностью организмов - различные формы азота (аммиачный, нитритный, нитратный), фосфора, кремния, железа).

4) *Микроэлементы* - элементы, которые содержатся в воде в количествах меньших  $10^{-3}$  %.

5) *Органические вещества*.

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  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в 1л воды. Один миллиэквивалент жесткости отвечает содержанию в воде 20,04мг/л  $\text{Ca}^{2+}$  или 12,16мг/л  $\text{Mg}^{2+}$ , что соответствует значению эквивалентной массы этих ионов.

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



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 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 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 жёсткость 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: Ж=5 мэкв/л

## 2. Методы умягчения воды

Ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  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.

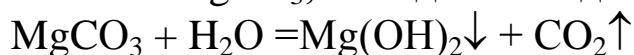
Использование природной воды в технике требует ее предварительной очистки. Процесс, приводящий к снижению жёсткости воды, называется умягчением воды.

### 1) термический:

нагреванием удаляют гидрокарбонаты:



Полностью устранить карбонатную жёсткость термическим методом нельзя, т. к.  $\text{CaCO}_3$ , хотя и незначительно, но растворим в воде. Растворимость  $\text{MgCO}_3$  достаточно высока, поэтому гидрокарбонат магния сразу же взаимодействует с водой, т.е. наблюдается процесс гидролиза и вместо  $\text{MgCO}_3$ , в осадок выпадает  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ :



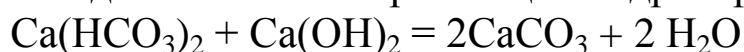
Термическое умягчение воды связано со значительными энергетическими затратами, поэтому применяется лишь в том случае, когда вода должна подвергаться соответствующему нагреву.

### 2) реагентный:

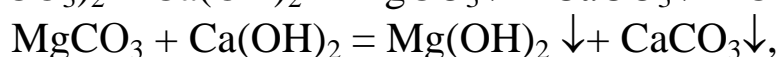
Реагентное умягчение воды состоит в добавлении к воде специальных реагентов, которые растворенные в воде катионы кальция и магния переводят в нерастворимые соединения, выпадающие в осадок.

#### - 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:

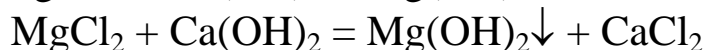
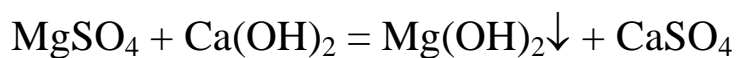


Дальнейшее введение в воду извести приводит к гидролизу магниевых солей и образованию малорастворимого гидроксида магния, который выпадает в осадок:





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



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

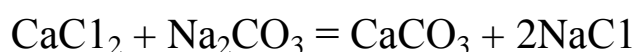
Устранение временной жесткости нейтрализацией гидрокарбонатов гашеной известью применяется крайне редко, т. к.:

а) мелкодисперсные осадки плохо осаждаются, и требуется укрупнение частиц;

б) большое количество мелкодисперсных органических веществ препятствует образованию осадка.

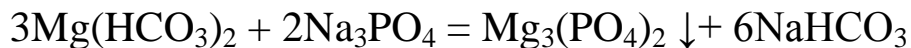
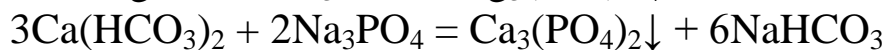
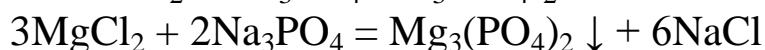
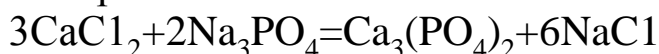
**- содовый метод**

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



**- фосфатный метод**

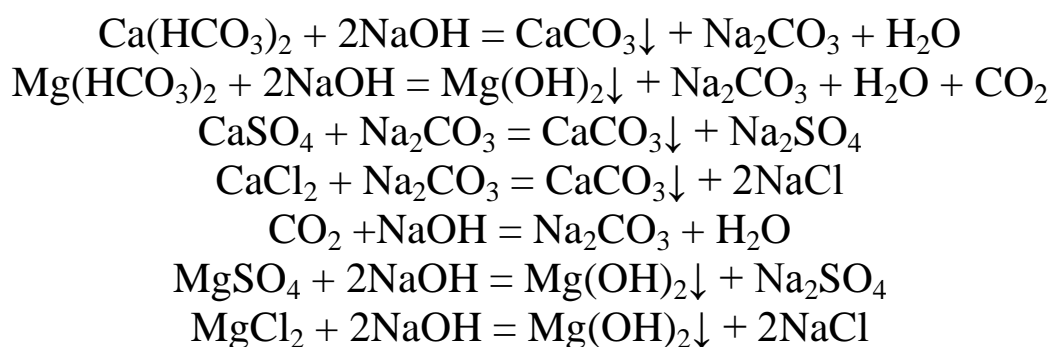
Данный метод умягчения воды является наиболее эффективным реагентным методом. Устраняют жесткость добавлением фосфатов, при этом растворимые соли жесткости переводятся в нерастворенное состояние:



Фосфатное умягчение обычно осуществляют при подогреве воды до 105-150<sup>0</sup>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.

**- щелочной метод.**

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



Из приведенных уравнений реакций видно:

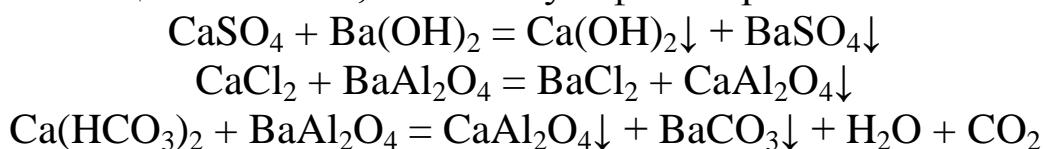
1) гидроксид натрия (NaOH) в процессе умягчения воды расходуется на устранение карбонатной жесткости и нейтрализацию углекислого газа, растворенного в воде.

2) Образующаяся в результате реакции сода (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) используется для удаления некарбонатной жесткости.

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

#### **-бариевый метод**

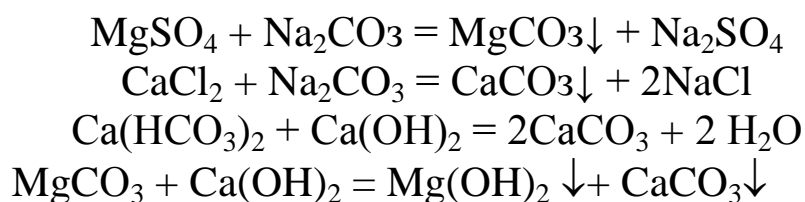
Для умягчения воды в нее вводят гидроксида бария или алюмината бария при этом образуются практически нерастворимых соединений кальция и магния, а также сульфата бария:



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

В промышленности для умягчения воды часто используют комбинацию вышеперечисленных методов, например, **известково-содовый метод**.

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



После добавления в воду реагентов происходит мгновенное образование коллоидных соединений CaCO<sub>3</sub> и Mg(OH)<sub>2</sub>. Переход

этих соединений от коллоидного состояния в грубодисперсное, занимает длительное время. Поэтому известково-содовый способ сочетают с термическим.

Глубина умягчения воды в этом методе равна:  
 без подогрева воды жесткость понижается до 1-2мэкв/л;  
 при подогреве воды до 80-90°C жесткость понижается до 0,2-0,4мэкв/л.

**Пример 3.** Жесткость воды равна 5,4 мэкв ионов кальция в 1 л воды. Какое количество фосфата натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  необходимо взять, чтобы понизить жесткость 1 т воды практически до нуля.

**Решение:** Задачу решаем, используя формулу

$$Ж = m / Э \cdot V, \quad (3)$$

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.

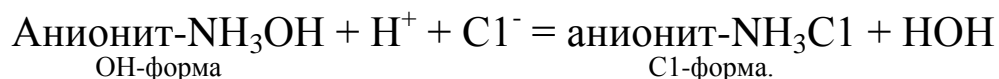
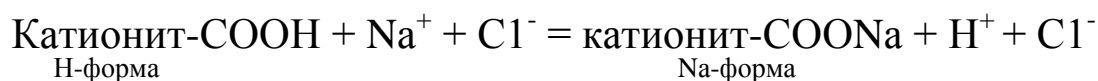
$$Э(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 164 / 3 = 54,7 \text{ (г/моль)}$$

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

**Ответ:**  $m = 295,38 \text{ г}$ .

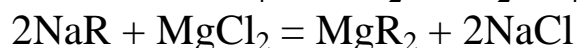
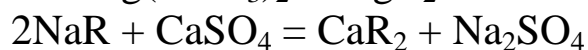
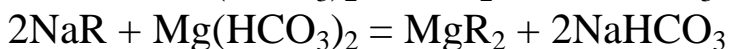
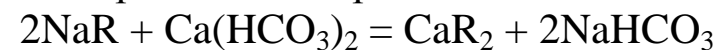
3) *ионообменный*

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



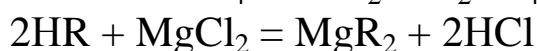
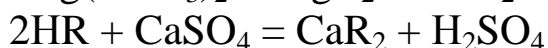
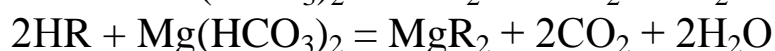
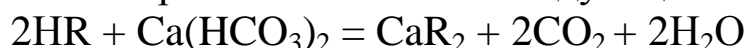
Процесс Na-катионирования состоит в следующем:

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:



(где R – комплекс катионита, нерастворимый в воде)

Процесс Н-катионирования состоит в следующем:



(где R – комплекс катионита, 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 емкостью**.

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

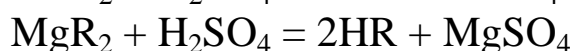
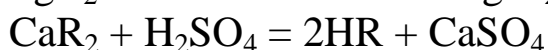
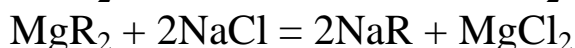
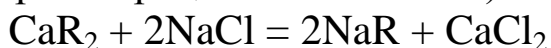
$$\varepsilon = J V/m, \quad (4)$$

где V-объем воды, пропущенный через катионит, л;

J – 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 Н-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.

## Лабораторная работа

### «Жесткость воды и методы её устранения»

Для определения жесткости воды применяют титриметрический анализ, в частности общую жесткость определяют комплексонометрически, а карбонатную кислотно-основным титрованием.

**ОПЫТ 1. Определение общей жесткости воды комплексонометрическим методом.**

Отберите мерной пипеткой 100 мл воды и перенесите ее в колбу для титрования; добавьте к исследуемой воде 5 мл аммиачного буферного раствора и несколько кристалликов (на кончике шпателя) индикатора эриохрома черного Т.

Приготовленную пробу оттитруйте при постоянном перемешивании 0,05н. раствором комплексона (III) до перехода винокрасной окраски в синюю.

Повторите титрование еще раз. Если результаты двух титрований совпадут (разница объемов комплексона (III) пошедшая на титрование воды должна составлять 0,1-0,2 мл), то титрование можно прекратить. В противном случае оттитруйте пробу еще раз до получения сходимых результатов.

Найдите средний объем раствора комплексона (III), израсходованный на титрование и рассчитайте общую жесткость воды по формуле:

$$Ж_0 = \frac{C_{H \text{ комплексона}} \cdot V_{\text{ср. комплексона}} \cdot 1000}{V_{H_2O}}$$

Результат опыта запишите в таблицу 1.

Таблица 1

№	V исследуемой воды, мл.	C <sub>H комплексона (III)</sub> , моль-экв/л	V раствора комплексона (III), мл.	V <sub>ср</sub> раствора комплексона (III), мл	Ж <sub>0</sub> , ммоль-экв/л
1				V <sub>ср</sub>	
2					

По полученным данным определите к какому типу воды по жесткости относится исследуемый Вами образец.

**ОПЫТ 2. Определение карбонатной и некарбонатной жесткости воды.**

Отберите мерной пипеткой 100 мл воды и перенесите ее в колбу для титрования. Добавьте к исследуемой воде 2 капли индикатора метилового оранжевого.

Приготовленную пробу оттитруйте, при постоянном перемешивании, 0,1н. раствором соляной кислоты до перехода желтой окраски индикатора в оранжевую.

Повторите титрование еще раз. Если результаты двух титрований совпадут (разница объемов HCl пошедшая на титрование воды должна составлять 0,1-0,2 мл), то титрование можно прекра-

титель. В противном случае оттитруйте пробу еще раз. Найдите средний объем раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование, и рассчитайте карбонатную жесткость воды по формуле:

$$J_k = \frac{C_{HCl} \cdot V_{ср\ HCl} \cdot 1000}{V_{H_2O}}$$

Некарбонатную жесткость воды, находят по разности:

$$J_{нк} = J_0 - J_k$$

Результаты опыта запишите в таблицу 2.

Таблица 2

№ опыта	V исследуемой воды, мл	V раствора соляной кислоты, мл	V <sub>ср</sub> раствора соляной кислоты, мл	C <sub>HCl</sub> , моль-экв/л	Жесткость воды.	
					Карбонатная, ммоль-экв/л	Некарбонатная, ммоль-экв/л
1						
2						

### **ОПЫТ 3. Умягчение воды различными методами.**

#### **1. Термический метод умягчения воды.**

300-400 мл воды кипятить в течение 10 минут. Полученную воду отфильтровать. Из фильтрата отобрать мерной пипеткой 100 мл воды и провести определение общей жесткости воды (методика опыта 1). Результаты опыта записать в таблицу 3.

#### **2. Содовый метод умягчения воды**

Объем добавляемого умягчителя рассчитывают по формуле:

$$V = \frac{J_0 + 1}{10 \cdot 0,03}, \quad (5)$$

где

$J_0$  (моль-экв/л) - общая жесткость, определенная в опыте 1

0,03 - концентрация, добавляемого умягчителя

10 - коэффициент пересчета мл в л;

1 - избыток умягчителя

К 100 мл исследуемой воды добавить рассчитанное количество соды. Нагреть до температуры 40-50 °С. Раствор охладить и отфильтровать. В фильтрате определить общую жесткость воды (методика опыта 1).

Результаты опыта записать в таблицу 3.

#### **3. Фосфатный метод умягчения воды**

Объем добавляемого умягчителя рассчитывают по формуле

(5)

К 100 мл исследуемой воды добавить рассчитанное количество фосфата натрия. Полученный раствор отфильтровать. В фильтрате определить общую жесткость воды (методика опыта 1).

Результаты опыта записать в таблицу 3.

#### 4. Ионообменный метод умягчения воды

Через колонку, заполненную катионитом, пропустите 300-400 мл жесткой воды. Умягченную воду соберите в стакан. Отберите 100 мл умягченной воды и определите общую жесткость умягченной воды (методика опыта 1). Результаты опыта запишите в таблицу 3.

Таблица 3.

№ опыта	Объем исследуемой воды, мл	Молярная концентрация эквивалентов комплексона (III), моль-экв/л	Объем раствора комплексона (III), мл	Средний объем раствора комплексона (III), мл	Общая жесткость воды после умягчения, ммоль-экв/л
1	100	0,01	$V_1$	$V_{ср}$	
2	100	0,01	$V_2$		

Процент умягчения для каждого метода определяем по формуле:

$$\% \text{ умягчения} = \frac{(J_{исх} - J_{\text{после умягчения}})}{J_{исх}} \cdot 100\%$$

Результаты записать в таблицу 4.

Таблица 4

№п/п	Метод умягчения воды	% снижения жесткости
1	Термический	
2	Содовый	
3	Фосфатный	
4	Ионообменный	

По данным таблицы 4 определяется наиболее эффективный метод умягчения воды.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Н.С. Ахметов Общая и неорганическая химия, 4-е изд. испр. -М.: Высш. шк., 2006-730с.
2. Васильева З.Г., Грановская А.А., Таперова А.А. Лабораторные работы по общей и неорганической химии. Л.: Химия, 1986.
3. Коровин Н.В. Общая химия. М.: Высш. шк., 2007 г.
4. Задачи и упражнения по общей химии/ Под ред. Н.В. Коровина. М.: Высш. шк., 2004 г.