

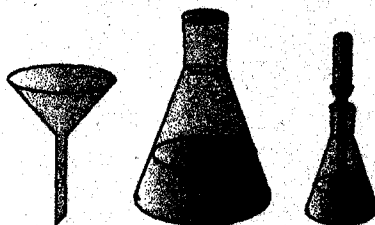
**Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический
университет**



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению лабораторной работы
и самостоятельному изучению темы
по дисциплине «Химия»
для студентов дневной и заочной форм обучения
технических специальностей**



**Севастополь
2011**

Определение жесткости воды. Методические указания к выполнению лабораторной работы и самостоятельному изучению темы по дисциплине «Химия» для студентов дневной и заочной форм обучения технических специальностей / Сост. Л.А. Яковишин. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011. – 24 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам для систематизации знаний по классификации, расчетам и методам устранения жесткости воды при подготовке и выполнении лабораторной работы и самостоятельном изучении темы «Жесткость воды».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры физики, протокол № 4 от 16.11.2010 г.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент:

Е.Н. Корж – канд. хим. наук, доцент кафедры физики СевНТУ.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Краткие теоретические сведения по теме «Жесткость воды. Водоподготовка»	5
1.1. Виды жесткости воды и их расчет	5
1.2. Методы устранения жесткости (методы водоумягчения). Водоподготовка	7
1.3. Определение жесткости воды	12
2. Экспериментальная часть. Лабораторная работа по теме «Определение жесткости воды».....	14
2.1. Цель работы	14
2.2. Оборудование и материалы	14
2.3. Ход работы	14
3. Задачи и вопросы к лабораторной работе по теме «Определение жесткости воды»	20
2.1. Вопросы для защиты лабораторной работы ...	20
2.2. Примеры решения типовых задач	20
2.3. Типовые задачи и упражнения	21
Библиографический список	22

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания предназначены для систематизации и обобщения знаний при подготовке к выполнению лабораторной работы «Определение жесткости воды». В указаниях содержатся сведения по классификации видов жесткости воды, ее расчету и основным методам устранения. Приведены данные для перевода единиц жесткости воды и разобраны решения типовых задач. Указаны требования к общей жесткости питьевой воды из разных источников согласно новым Государственным санитарным правилам и нормам Украины (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Разобраны методики определения временной и общей жесткости водопроводной воды.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ «ЖЕСТКОСТЬ ВОДЫ. ВОДОПОДГОТОВКА»

1.1. Виды жесткости воды и их расчет

Жесткость – это совокупность физико-химических свойств воды, обусловленная наличием в ней ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} . Различают *карбонатную (временную)* и *некарбонатную (постоянную) жесткость*. Карбонатная (временная) жесткость вызвана содержащимися в воде гидрокарбонатами кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ и легко устраняется кипячением. Некарбонатная (постоянная) жесткость обусловлена кальциевыми и магниевыми солями минеральных кислот (например, CaCl_2 , MgSO_4 и $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$). Она не устраняется кипячением. Также выделяют отдельно *кальциевую* и *магниевую жесткость*.

Количественно жесткость воды представляет собой молярную концентрацию эквивалента вещества, обуславливающего жесткость или требующегося для ее устранения, обозначаемую в этом случае как «Ж» и выражаемую в ммоль-экв/л (ммоль-экв/дм³, ммоль/л, ммоль/дм³)¹:

$$Ж = \frac{m(\text{вещества})}{M_э(\text{вещества}) \cdot V(\text{H}_2\text{O})},$$

где Ж – жесткость воды;

$m(\text{вещества})$ – масса вещества, обуславливающего жесткость или требующегося для ее устранения, мг;

¹ В размерности молярной концентрации эквивалента иногда не указывают «экв». Согласно Государственным санитарным правилам и нормам Украины (ДСанПіН 2.2.4-171-10), действующим с 16.07.2010 г., жесткость питьевой воды выражают в ммоль/дм³.

M_3 (вещества) – молярная масса эквивалента вещества, обуславливающего жесткость или требующегося для ее устранения, г/моль;

$V(\text{H}_2\text{O})$ – объем воды, л.

В некоторых странах жесткость выражается в градусах (см. таблицу 1.1).

Таблица 1.1 – Национальные единицы жесткости воды

Единица жесткости	Страна	Соответствие	Множитель для перехода к ммоль-экв/л
ммоль/дм ³ (ДСанПиН 2.2.4-171-10)	Украина	20,04 мг Ca ²⁺ или 12,16 мг Mg ²⁺ в 1 дм ³ (л) воды	1
°Ж	Россия	20,04 мг Ca ²⁺ или 12,16 мг Mg ²⁺ в 1 дм ³ (л) воды	1
°DH (°dH, °dGH)	Германия	10 мг CaO или 7,194 мг MgO в 1 дм ³ (л) воды	0,357
°Clark (°e)	Великобритания	10 мг CaCO ₃ в 0,7 дм ³ (л) воды	0,285
°F (°fh, °f, °TH)	Франция	10 мг CaCO ₃ в 1 дм ³ (л) воды	0,200
ppm (°usH)	США	1 мг CaCO ₃ в 1 дм ³ (л) воды	0,020

Суммарное содержание всех солей кальция и магния в воде называют *общей жесткостью*:

$$Ж_{\text{общ}} = \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{M_3(\text{Ca}^{2+}) \cdot V(\text{H}_2\text{O})} + \frac{m(\text{Mg}^{2+})}{M_3(\text{Mg}^{2+}) \cdot V(\text{H}_2\text{O})} =$$

$$= \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{20,04 \cdot V(\text{H}_2\text{O})} + \frac{m(\text{Mg}^{2+})}{12,16 \cdot V(\text{H}_2\text{O})}$$

Если известна временная ($J_{\text{вр}}$) и постоянная жесткость ($J_{\text{пост}}$), то общую жесткость можно найти по формуле:

$$J_{\text{общ}} = J_{\text{вр}} + J_{\text{пост}}$$

Мягкой воде соответствует жесткость < 2 ммоль-экв/л, жесткой – > 10 ммоль-экв/л. Вода средней жесткости, соответственно, содержит 2–10 ммоль-экв/л Ca^{2+} и Mg^{2+} .

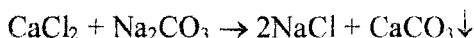
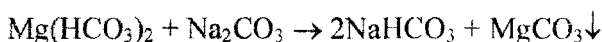
Согласно новым Государственным санитарным правилам и нормам Украины (ДСанПіН 2.2.4-171-10) у питьевой водопроводной воды общая жесткость должна быть ≤ 7 ммоль/дм³ (в отдельных случаях допускается жесткость ≤ 10 ммоль/дм³). Для питьевой фасованной воды, воды из пунктов розлива и бюветов общая жесткость ≤ 7 ммоль/дм³. Вода из колодцев и каптажей источников должна иметь общую жесткость ≤ 10 ммоль/дм³.

1.2. Методы устранения жесткости (методы водоумягчения). Водоподготовка

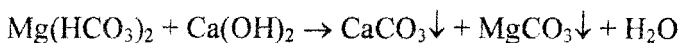
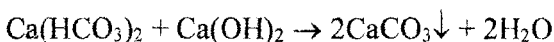
Для устранения жесткости воды применяют различные методы. Некоторыми способами можно удалить из воды не только катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , но и произвести более глубокую очистку. Процесс удаления из воды примесей для тех или иных бытовых или технических нужд называют *водоподготовкой*.

1. *Методы осаждения.* В этом случае к воде добавляют специальные вещества (химические методы, реагентное умягчение) или кипятят воду. При этом соли жесткости выпадают в осадок.

1. *Содовый метод* (добавка к воде соды Na_2CO_3). Это универсальный метод, позволяющий удалить временную и постоянную жесткость.

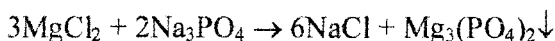
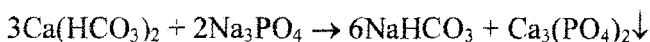


2. *Известковый метод* (добавка гашеной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$).

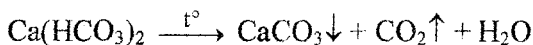


Метод не является универсальным, поэтому его часто используют вместе с содовым (*известково-содовый метод*).

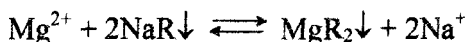
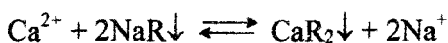
3. *Фосфатный метод* (добавка фосфата натрия Na_3PO_4). Метод универсальный.



4. *Кипячение*. Этим методом устраняется только временная жесткость. Гидрокарбонаты кальция и магния при нагревании разлагаются. В зависимости от кислотности воды $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ дает разные продукты разложения.



II. *Метод ионного обмена.* Метод основан на обмене содержащихся в воде катионов (в том числе Ca^{2+} и Mg^{2+}) на ионы катионитов. *Катиониты* – это вещества, способные обменивать собственные катионы (Na^+ или H^+) на катионы, находящиеся в воде. Катионитами являются *ионно-обменные смолы (иониты)* (синтетические органические полимеры) или *цеолиты (алюмосиликаты $\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$)*. Катионы жесткости Ca^{2+} и Mg^{2+} связываются с катионитом и остаются на нем (рисунк 1.1).



или

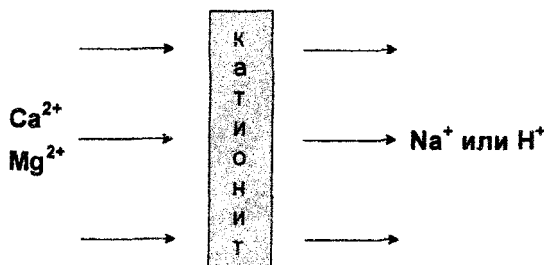
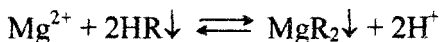
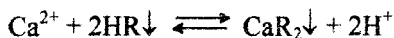
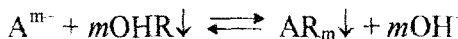
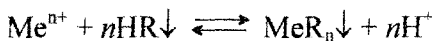


Рисунок 1.1 – Схема катионного обмена

При необходимости катионит можно восстановить до прежнего состояния. Для этого осуществляют обратный процесс – через него пропускают соль натрия, например, NaCl , или раствор кислоты, например, HCl .

Если необходима глубокая очистка воды, то последовательно осуществляют катионный и анионный обмен. При такой обработке достигается полное удаление катионов и анионов из воды, т.е. происходит ее *обессоливание*. Анионный обмен проводят на *анионитах*. Аниониты, как и катиониты, являются ионно-обменными смолами. Для обессоливания (рисунок 1.2) используют катионит в H^+ -форме (обменивает катионы, содержащиеся в воде, на ионы H^+), а анионит – в OH^- -форме (обменивает анионы на гидроксид-ионы OH^-).



Ионы H^+ и OH^- , образующиеся при ионном обмене, соединяются и образуют молекулы воды.

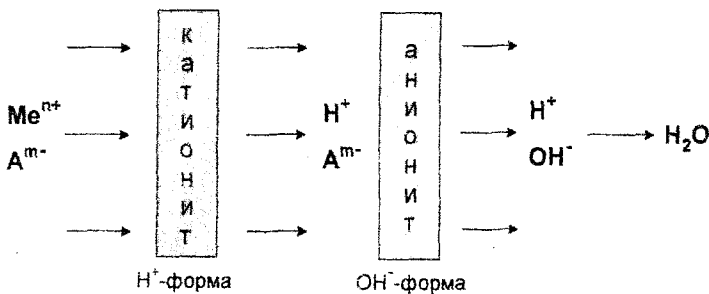
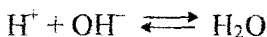


Рисунок 1.2 – Схема обессоливания воды

III. *Прочие методы.* Для обессоливания воды также применяют *перегонку* (дистилляцию), *обратный осмос* (гиперфильтрацию) и *электродиализ* (электрохимическое опреснение).

Перегонка (дистилляция) представляет собой нагрев раствора до кипения и конденсацию полученных паров воды. Для получения пресной воды из морской на судах чаще всего используют метод дистилляции. Ее проводят в специальных выпарных аппаратах (рисунк 1.3).

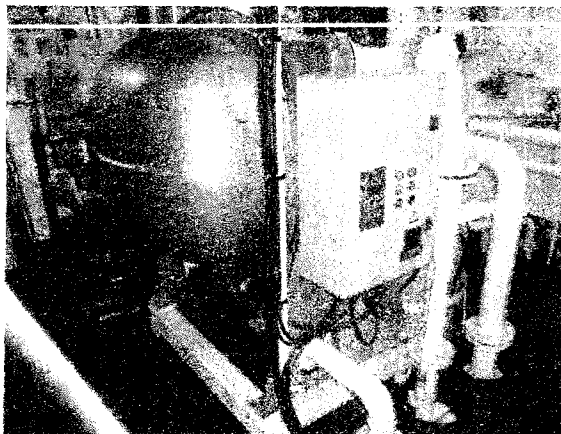


Рисунок 1.3 – Современный судовой опреснитель

Обратный осмос – задержка ионов или молекул, содержащихся в растворе, при пропускании его через полупроницаемую мембрану под давлением. Степень обессоливания составляет до 98%. Обратный осмос считают наиболее современным и эффективным методом.

Электродиализ (электрохимическое опреснение) – метод очистки, основанный на различной способности к проникновению ионов через мембраны под действием постоянного электрического тока (рисунк 1.4). Очистка воды осуществляется за счет диффузии через мембраны и электролиза. Катионы, проходя через катионную мембрану, притягиваются к катоду и восстанавливаются на нем (вместо них могут восстанавливаться молекулы воды). Анионы, соответственно, перемещаются через анионную

мембрану и окисляются на аноде (вместо них могут окисляться молекулы воды). В этом случае воду можно обессолить на 90%.

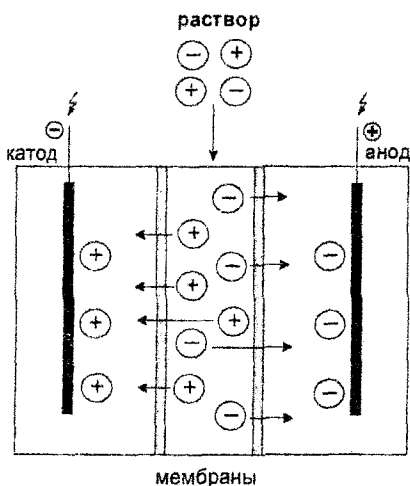


Рисунок 1.4 – Схема электродиализа

1.4. Определение жесткости воды

Жесткость воды можно определить *титрованием*. Титрование — это метод объемного анализа, представляющий собой постепенное прибавление раствора известной концентрации (стандартного раствора) к определенному объему анализируемого раствора неизвестной концентрации с целью ее установить. Титрование заканчивают, например, когда изменяется окраска индикатора, добавленного к анализируемому раствору.

Объем стандартного раствора определяют с помощью *бюретки* (рисунок 1.5). Бюретка (от франц. *burette* — «склянка») представляет собой тонкую проградуированную стеклянную трубку, рассчитанную на

определенный объем. Бюретка снабжена краном или специальным дозатором.

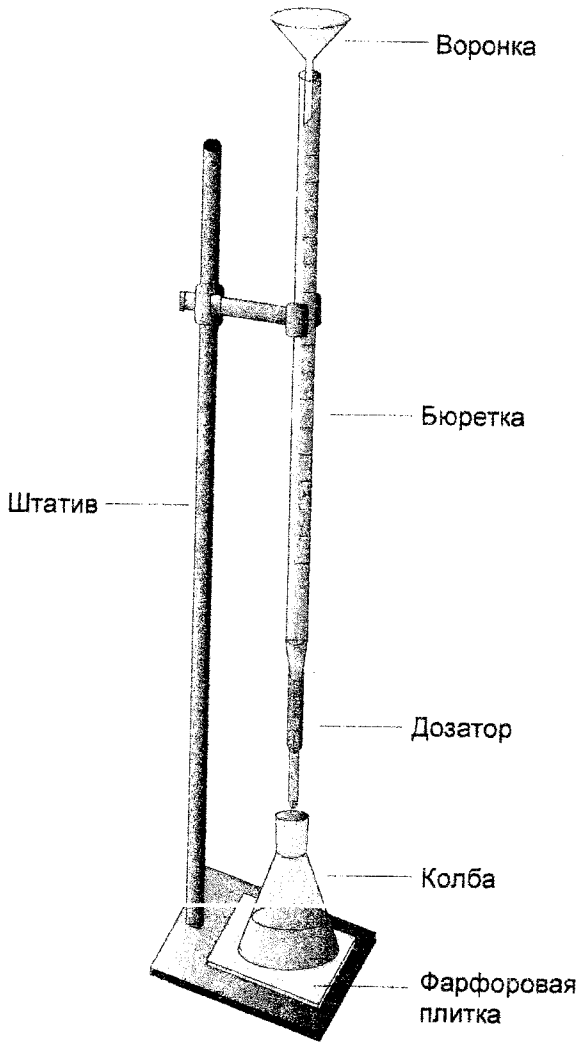


Рисунок 1.5 – Титровальная установка

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ТЕМЕ «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ»

2.1. Цель работы

Определить временную, постоянную и общую жесткость водопроводной воды.

2.2. Оборудование и материалы

0,1 моль-экв/л (0,1 н.) раствор HCl , метиловый оранжевый, 0,05 моль-экв/л (0,05 н.) раствор трилона Б, аммиачный буферный раствор, хромовый темно-синий, бюретка, 3 плоскодонных колбы на 200 мл, мерные цилиндры на 10 и 100 мл, воронка, белая фарфоровая плитка, водопроводная вода, дистиллированная вода.

2.3. Ход работы

Опыт 1. Определение временной жесткости воды.

1. В бюретку с помощью воронки наливают раствор HCl с концентрацией 0,1 моль-экв/л (0,1 н.). Бюретку устанавливают на нулевое деление (см. рисунок 2.1).

2. В три колбы наливают по 100 мл водопроводной воды. Объем воды отмеряют большим мерным цилиндром. В каждую колбу добавляют по 2–3 капли индикатора метилового оранжевого. Содержимое колб перемешивают.

3. Воду титруют соляной кислотой. Для этого приливают кислоту из бюретки по каплям к воде до изменения окраски индикатора от желтой до оранжево-розовой. Содержимое колбы при этом постоянно взбалтывают, чтобы жидкости перемешивались.

Фиксируют объем кислоты, пошедшей на титрование. Титрование повторяют еще 2 раза.

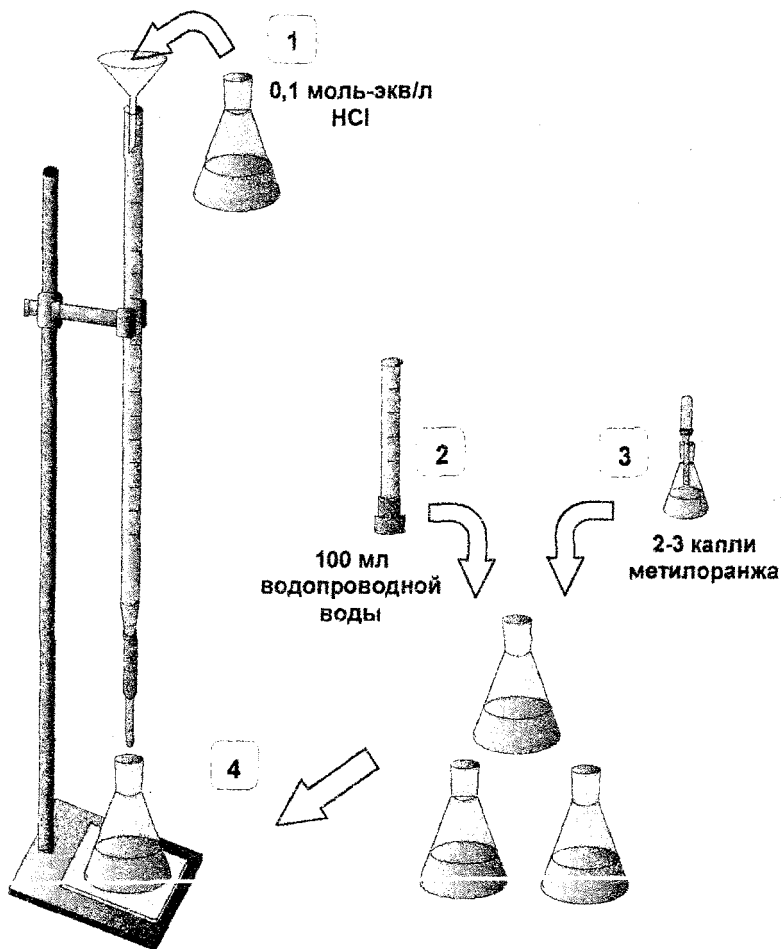


Рисунок 2.1 – Определение временной жесткости водопроводной воды

4. Результаты опыта заносят в *таблицу 2.1*. Расчеты проводят по формуле:

$$Ж_{вр} = \frac{c_э(\text{HCl}) \cdot V_{ср}(\text{HCl}) \cdot 1000}{V_{\text{воды}}},$$

где $Ж_{вр}$ – временная жесткость воды, ммоль-экв/л;
 $c_э(\text{HCl})$ – молярная концентрация эквивалента HCl, моль-экв/л;
 $V_{ср}(\text{HCl})$ – средний объем раствора HCl, пошедший на титрование, мл;
 $V_{\text{воды}}$ – объем воды, взятой на титрование, мл.

Таблица 2.1 – Данные для расчета временной жесткости воды

№ пробы	Объем воды, мл	Объем HCl, мл	Средний объем HCl, мл
1	100		
2	100		
3	100		

Опыт 2. Определение общей жесткости воды.

1. В бюретку с помощью воронки наливают раствор трилона Б с концентрацией 0,05 моль-экв/л (0,05 н.). Бюретку устанавливают на нулевое деление (см. рисунок 2.2).

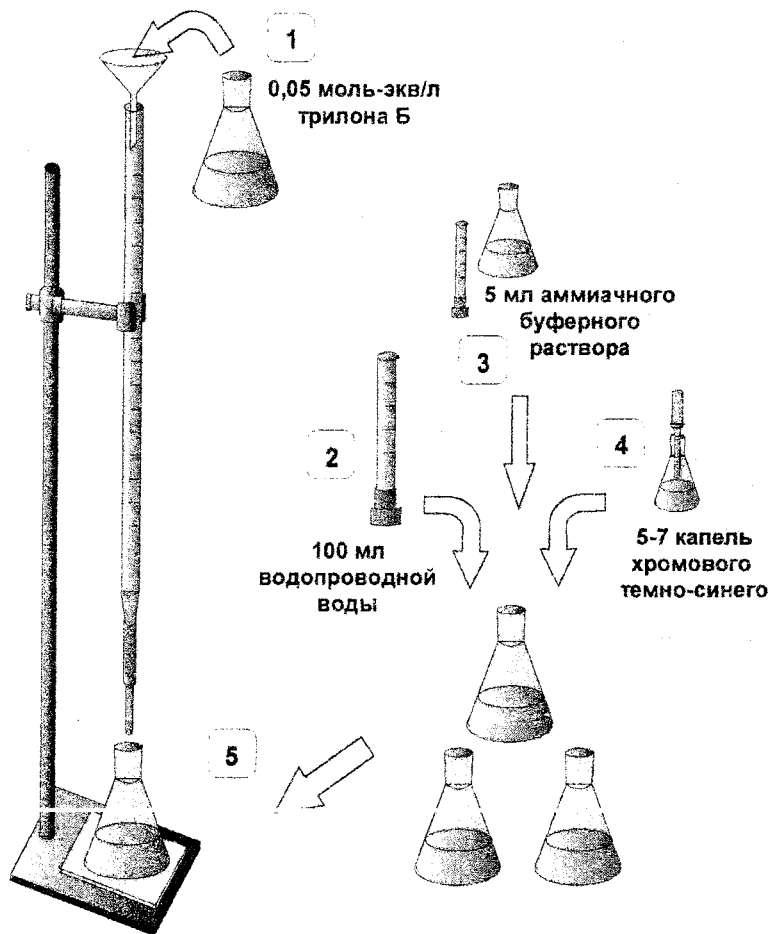
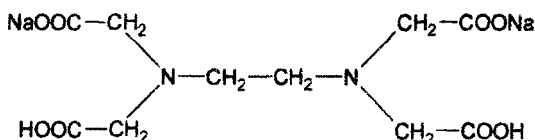


Рисунок 2.2 – Определение общей жесткости водопроводной воды

Трилон Б (комплексон III) является динатриевой солью этилендиаминтетрауксусной кислоты.



Трилон Б

2. В три колбы наливают по 100 мл водопроводной воды. Объем воды отмеряют большим мерным цилиндром. В каждую колбу добавляют по 5 мл аммиачного буферного раствора и 5–7 капель индикатора хромового темно-синего. Содержимое колб перемешивают.

3. Воду титруют раствором трилона Б. Для этого приливают трилон Б из бюретки по каплям к воде до изменения окраски индикатора от розовой до синей. Содержимое колбы при этом постоянно взбалтывают, чтобы жидкости перемешивались. Фиксируют объем трилона Б, пошедшего на титрование. Титрование повторяют еще 2 раза.

4. Результаты опыта заносят в *таблицу 2.2*. Расчеты проводят по формуле:

$$\mathcal{J}_{\text{общ}} = \frac{c_3(\text{трилона Б}) \cdot V_{\text{ср}}(\text{трилона Б}) \cdot 1000}{V_{\text{воды}}}$$

где $\mathcal{J}_{\text{общ}}$ – общая жесткость воды, ммоль-экв/л;

$c_3(\text{трилона Б})$ – молярная концентрация эквивалента трилона Б, моль-экв/л;

$V_{\text{ср}}(\text{трилона Б})$ – средний объем раствора трилона Б, пошедший на титрование, мл;

$V_{\text{воды}}$ – объем воды, взятой на титрование, мл.

Таблица 2.2 – Данные для расчета общей жесткости воды

№ пробы	Объем воды, мл	Объем трилона Б, мл	Средний объем трилона Б, мл
1	100		
2	100		
3	100		

5. Рассчитывают постоянную жесткость воды.

$$Ж_{общ} = Ж_{вр} + Ж_{пост} \Rightarrow Ж_{пост} = Ж_{общ} - Ж_{вр}$$

Определяют доли временной $W_{вр}$ и постоянной $W_{пост}$ жесткости в общей жесткости, используя следующие формулы:

$$W_{пост} = \frac{Ж_{пост}}{Ж_{общ}} \cdot 100\%$$

$$W_{вр} = \frac{Ж_{вр}}{Ж_{общ}} \cdot 100\% \text{ или } W_{вр} = 100\% - W_{пост}$$

3. ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ ПО ТЕМЕ «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ»

3.1. Вопросы для защиты лабораторной работы

1. Понятие «жесткость воды»
2. Виды жесткости.
3. Формулы расчета жесткости.
4. Методы устранения жесткости. Водоподготовка.

3.2. Примеры решения типовых задач

Пример 1. Какую массу соды Na_2CO_3 необходимо добавить к 100 л воды, имеющей жесткость 3,5 ммоль-экв/л?

Решение. $M_3(\text{Na}_2\text{CO}_3) = M(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot f_3 = 106 \cdot 1/2 = 51$ г/моль.

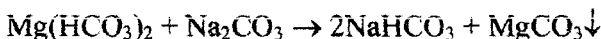
$$Ж = \frac{m(\text{вещества})}{M_3(\text{вещества}) \cdot V(\text{H}_2\text{O})} \Rightarrow$$

$$m(\text{вещества}) = Ж \cdot M_3(\text{вещества}) \cdot V(\text{H}_2\text{O})$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = Ж \cdot M_3(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot V(\text{H}_2\text{O}) = 3,5 \cdot 51 \cdot 100 = \\ = 17850 \text{ мг} = 17,85 \text{ г.}$$

Пример 2. В воде содержится $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Можно ли устранить жесткость такой воды: а) добавкой Na_2CO_3 ; б) Na_3PO_4 ? Свой ответ поясните.

Решение. а) Можно, т.к. при добавке к воде соды Na_2CO_3 происходит осаждение катионов магния в виде MgCO_3 . Жесткость воды при этом понижается.



б) Можно, т.к. при добавке к воде фосфата натрия катионы магния осаждаются в виде $Mg_3(PO_4)_2$. Жесткость воды при этом понижается.



Пример 3. Общая жесткость воды составляет $7^\circ DH$. Выразите жесткость в ммоль-экв/л.

Решение. Один немецкий градус жесткости ($^\circ DH$) составляет 0,357 ммоль-экв/л (см. таблицу 1.1). Тогда получаем:

$$Ж = 7 \cdot 0,357 = 2,499 \text{ ммоль-экв/л.}$$

3.3. Типовые задачи и упражнения

1. Сколько грамм $Ca(OH)_2$ необходимо прибавить к 1 л воды, чтобы удалить временную жесткость, равную 2,106 ммоль-экв/л?

2. Жесткость воды обусловлена наличием в ней $CaCl_2$. Как можно химически устранить жесткость такой воды? Приведите уравнение соответствующей реакции.

3. Рассчитайте временную жесткость воды объемом 2000 л, если в ней содержится 160 г $Mg(HCO_3)_2$.

4. Жесткость воды обусловлена наличием в ней $MgCl_2$. Как можно химически устранить жесткость такой воды? Приведите уравнение соответствующей реакции.

5. В 100 л воды содержится 312 мг ионов Mg^{2+} и 960 мг ионов Ca^{2+} . Рассчитайте общую жесткость воды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глинка Н.Л. Общая химия / Н.Л. Глинка. – М.: КноРус, 2010. – 752 с.
2. Глинка Н.Л. Задачи и упражнения по общей химии / Н.Л. Глинка. – М.: Интеграл-Пресс, 2004. – 240 с.
3. Слаем экзамен по химии. – 3-е изд. / Под ред. К.Н. Зеленина, В.П. Сергутиной, О.В. Солода. – СПб.: ЭЛБИ-СПб., 2007. – 384 с.
4. Рабинович В.А. Краткий химический справочник / В.А. Рабинович, З.Я. Хавин; Под ред. А.А. Потехина, А.И. Ефимова. – Л.: Химия, 1991. – 432 с.
5. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: ДСанПіН 2.2.4-171-10. – [Чинний від 2010-07-16]. – К.: Офіційний вісник України, 2010. – № 51, 99 с. – (Державні санітарні норми та правила).

