

Федеральное агентство по образованию

**Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ивановский государственный
архитектурно-строительный университет»**

Кафедра химии и охраны окружающей среды

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ
И МЕТОДЫ ЕЕ УСТРАНЕНИЯ**

**Методические указания
для самостоятельной работы
студентов всех специальностей**

Иваново 2010

Составители: Г. Л. Кокурина, М. Д. Чекунова

УДК 54(076)

Характеристики жесткости воды и методы ее устранения: Методические указания для самостоятельной работы студентов всех специальностей / Иван. гос. архит.-строит. ун-т.; Сост.: Г. Л. Кокурина, М. Д. Чекунова. – Иваново, 2010. – 32 с.

Методические указания содержат теоретические сведения о классификации жестких вод и методах их умягчения. Приведены примеры решения типовых задач, облегчающих самостоятельную работу студентов, а также варианты контрольных заданий.

Методические указания предназначены для студентов I курса всех специальностей дневного и заочного отделений.

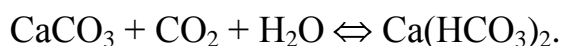
Библиогр.: 2 назв.

Рецензент
кандидат технических наук, доцент кафедры ХиООС
В. Е. Румянцева

1. ПОНЯТИЕ О ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ

Природная вода является сложной системой, содержащей в растворенном или коллоидном состоянии различные неорганические или органические соединения.

Присутствие в воде большого количества солей кальция или магния обуславливает ее жесткость. Ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} появляются в природных водах в результате разрушения соответствующих минералов: известняков, доломитов, гипса. При достаточном содержании в природных водах двуокси углерода (CO_2) происходит растворение известняка. Карбонат кальция CaCO_3 превращается в гидрокарбонат ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)



Жесткость воды выражают в миллимоль-эквивалентах на литр (ммоль-экв/л).

1 ммоль-экв/л соответствует содержанию в 1 л воды 20 мг ионов кальция (Ca^{2+}) или 12 мг ионов магния (Mg^{2+}).

В зависимости от общего содержания ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} природные воды делят на группы:

- | | | |
|----------------------|--------|--------------|
| • очень мягкая вода | до 1,5 | ммоль-экв/л; |
| • мягкая вода | 1,5÷3 | ммоль-экв/л; |
| • средняя вода | 3,0÷5 | ммоль-экв/л; |
| • жесткая вода | 6÷10 | ммоль-экв/л; |
| • очень жесткая вода | > 10 | ммоль-экв/л. |

Жесткая вода обладает рядом нежелательных свойств. Присутствие в воде значительного количества солей кальция или магния вызывает ухудшение вкуса овощей и чая, приводит к увеличению времени варки пищи.

В жесткой воде увеличивается расход мыла, так как содержащиеся в мыле растворимые натриевые соли жирных кислот переходят в нерастворимые кальциевые соли тех же кислот.

Особенно вредна жесткость воды для промышленного водоснабжения. В котлах и трубопроводах образуется слой накипи. Это уменьшает теплопередачу, ведет к перерасходу топлива, затрудняет циркуляцию горячей воды, может вызвать аварию.

Соли жесткости отрицательно сказываются на строительных объектах, создают условия для коррозии цементного камня.

Жесткая вода непригодна для проведения многих технологических процессов, поэтому ее предварительно умягчают. Умягчением называется процесс уменьшающий концентрацию ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Предполагая разные способы умягчения, жесткость воды подразделяют на несколько видов:

- карбонатная жесткость (временная) обусловлена наличием гидрокарбонатов (HCO_3^-) кальция и магния - $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$;
- некарбонатная жесткость (постоянная), вызвана наличием в воде кальциевых или магниевых солей сильных кислот, главным образом хлоридов (Cl^-) и сульфатов (SO_4^{2-}) - CaCl_2 , MgCl_2 , CaSO_4 , MgSO_4 ;
- общая жесткость определяется суммарным содержанием солей кальция и магния

$$\underline{J_{\text{ОБЩ}} = J_{\text{К}} + J_{\text{Н. К.}}}$$

2. УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ

Для водоумягчения применяют методы осаждения и ионного обмена.

2.1. МЕТОДЫ ОСАЖДЕНИЯ

Методы осаждения предполагают переводение катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в труднорастворимые соединения, выпадающие в осадок с последующим удалением (фильтрацией или центрифугированием).

Таблица 1

Произведение растворимости некоторых соединений

Формула	Произведение растворимости (ПР) при 20 °С
$\text{Al}(\text{OH})_3$	$1,0 \cdot 10^{-32}$
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$3,2 \cdot 10^{-38}$
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$1,0 \cdot 10^{-15}$
CaSO_4	$2,1 \cdot 10^{-6}$
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	$5,5 \cdot 10^{-6}$
CaCO_3	$4,8 \cdot 10^{-9}$
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	$1,0 \cdot 10^{-25}$
MgCO_3	$2,1 \cdot 10^{-5}$
$\text{Mg}(\text{OH})_2$	$6,0 \cdot 10^{-10}$
$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$	$1,0 \cdot 10^{-13}$

Это достигается либо кипячением воды, либо введением в воду соответствующих химических реагентов.

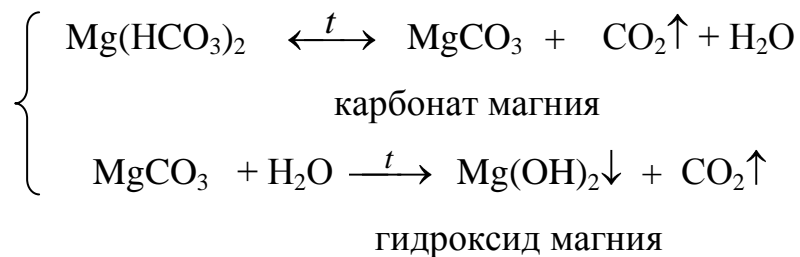
2.1.1. ТЕРМИЧЕСКИЙ МЕТОД

Применяется для снижения только карбонатной жесткости. Воду нагревают почти до 100 °С.

При этом гидрокарбонаты разлагаются и переходят в труднорастворимые соединения, выделяющиеся из раствора в виде накипи



Гидрокарбонат магния вследствие кипячения переходит тоже в карбонат. Но карбонат магния обладает заметной растворимостью, поэтому подвергается гидролизу как соль, образованная слабой кислотой и слабым основанием



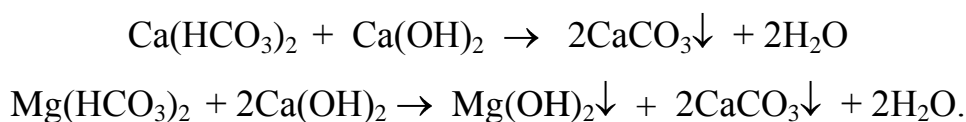
Таким образом, ионы Ca^{2+} удаляются в виде осадка CaCO_3 , ионы Mg^{2+} - в виде осадка $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

2.1.2. ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ (РЕАГЕНТНЫЕ)

Эти методы умягчения воды основаны на использовании химических реакций. Они вызывают образование нерастворимых в воде соединений кальция и магния, которые после осаждения удаляют путем фильтрации или другими методами.

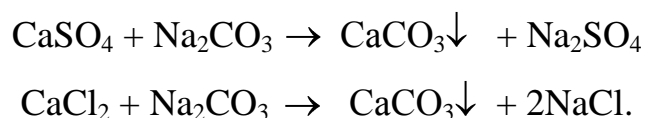
а) Метод известкования

т. е. обработка воды гидроокисью кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Метод применим для умягчения воды с большой карбонатной жесткостью

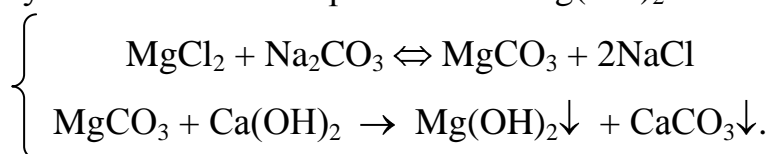


б) Содово-известковый метод

применяют для одновременного удаления карбонатной и некарбонатной жесткости. Карбонатная жесткость устраняется при этом известью $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а некарбонатная содой (Na_2CO_3)



В случае солей магния, образующийся карбонат магния (MgCO_3) взаимодействует с известью с образованием $\text{Mg}(\text{OH})_2$

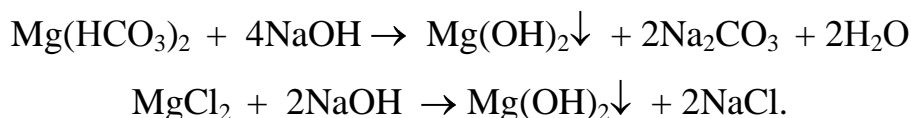


Для устранения жесткости воды можно применять одну соду, но это экономически невыгодно. Первоначально к воде добавляют дешевую гашеную известь ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), которая осаждает большую часть солей жесткости, затем – более дорогую соду (Na_2CO_3).

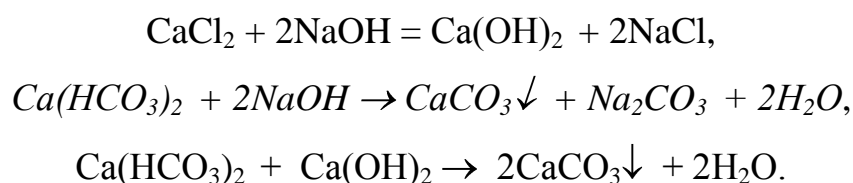
в) Щелочной метод

то есть удаление солей жесткости с помощью щелочи (NaOH) применяют редко, так как это экономически невыгодно (дорого).

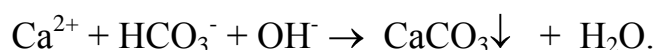
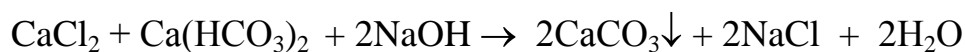
С солями магния идут реакции:



С солями кальция идет последовательное взаимодействие:

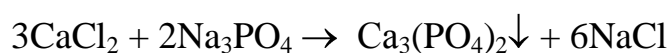


Конечная реакция



г) *Фосфатный метод*

позволяет с помощью фосфата натрия Na_3PO_4 достигать более глубокого умягчения воды. После применения известково-содового метода остатки ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} связываются в трудно растворимые фосфаты:



2.2. МЕТОДЫ ИОННОГО ОБМЕНА

Для умягчения воды применяют достаточно часто. Они имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными реагентными методами (выше степень умягчения, не требуют реактивов, проще по технологическому осуществлению).

Иониты - твердые вещества, способные обменивать свои ионы на ионы, подлежащие удалению из раствора.

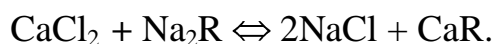
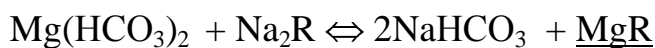
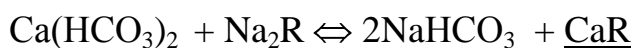
В практике водоподготовки чаще всего применяют различные ионообменные смолы, которые получают на основе синтетических полимеров. В зависимости от того, какие ионы в этих смолах обмениваются катионы и ли анионы, их называют катиониты или аниониты. Для умягчения воды применяют катиониты.

Катиониты имеют кислотный характер и содержат в своем составе функциональные группы, катионы которых способны обмениваться на ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} . Это сильная сульфогруппа - SO_3H (сильнокислотный ка-

тионит КУ-2) и слабая карбоксильная группа – COOH (слабокислотный катионит КБ-4).

По виду обмениваемых ионов катиониты подразделяются на Na-катиониты и H-катиониты. Na-катиониты используют для умягчения воды с небольшой карбонатной жесткостью.

Если обозначить кислотную группу огромной молекулы катионита, в состав которой входит и функциональная группа через **R** (условно двухвалентный анион ионита), то формулу катионита можно условно обозначить **Na₂R**. При пропускании воды через систему с Na-катионитом (колонки или фильтры) происходят обменные реакции:



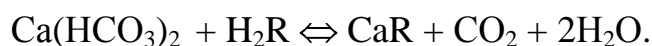
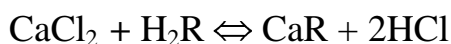
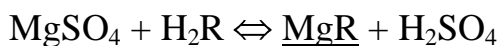
При этом катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} переходят из раствора в катионит, а ионы Na^+ - из катионита в раствор.

Когда процесс ионного обмена доходит до равновесия ионит перестает работать, то есть утрачивает способность умягчать воду. Но обратимость реакций обмена ионов позволяет производить регенерацию катионита. Для этого через отработанный катионит пропускают 5÷10 % раствор NaCl:

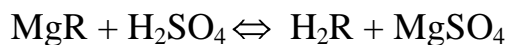
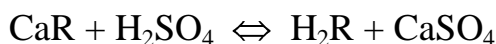


Ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} выходят в раствор, а катионит вновь насыщается ионами Na^+ .

H-катионирование применимо для воды с небольшой некарбонатной жесткостью (до 1 ммоль-экв/л)

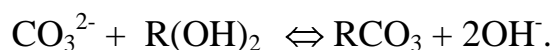
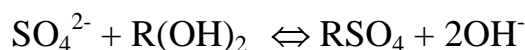


В результате в отработанной воде появляется эквивалентное количество свободной кислоты. Регенерация Н-катионитов осуществляется раствором кислоты (HCl, H₂SO₄)

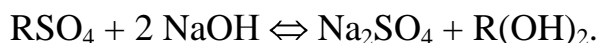


Аниониты имеют основной характер и способны в связи с этим обмениваться с раствором анионами.

С помощью анионитов осуществляется обмен всех кислотных ионов, содержащихся в воде, на ионы OH⁻:



Анионит регенерируют раствором NaOH



Способность ионитов к обмену ионов характеризуется обменной емкостью, которая выражается количеством ммоль-экв ионов поглощаемых 1 г ионита.

$$\varepsilon = \frac{\text{Ж} \cdot \text{V}}{\text{m}},$$

где ε - обменная емкость, ммоль-экв/л;

Ж – жесткость воды, ммоль-экв/л;

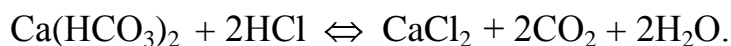
V - объем воды, л;

m - масса ионита, г.

Обессоливание воды применяют для снижения общего солесодержания. В этом случае воду пропускают сначала через Н-катионит, а затем через анионит, содержащий гидроксильные ионы (OH⁻ - анионит). В итоге вода освобождается как от катионов, так и от анионов солей.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ

Для определения карбонатной жесткости воды применяют титрование определенного объема воды раствором соляной кислоты (HCl) известной концентрации (объемный количественный анализ)



Общая жесткость воды определяется титрованием раствором трилона Б (Na_2Edta).

4. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Предлагаемые задачи решаются, исходя из определения жесткости воды:

Ж – ммоль-экв/л.

Можно выполнять расчеты, применяя определенные математические выражения:

$$\text{Ж} = \frac{m}{M_{\text{э}} \cdot V} \quad (1),$$

где m – масса вещества, обуславливающая жесткость воды или вещества применяемого для устранения жесткости воды, мг;

$M_{\text{э}}$ – молярная масса эквивалента этого вещества, г/моль;

V – объем воды, л.

$$C_{\text{H}(1)} \cdot V_{(1)} = C_{\text{H}(2)} \cdot V_{(2)} \quad (2),$$

где C_{H} – нормальная концентрация, моль-экв/л;

V – объем раствора, л.

$$\text{Ж} = C_{\text{H}} \cdot 1000 \quad (3)$$

Пример 1. Вычислить жесткость воды, зная, что в 200 мл ее содержится 64,8 г $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Решение:

1) В 1 л воды содержится: $m(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 64,8:200 = 0,324$ г.

2) Это соответствует количеству моль-эквивалентов

$$n = \frac{m}{M_{\text{э}}} = \frac{0,324}{81} = 0,004 \text{ моль-экв}$$

$$M_{\text{э}}(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = \frac{M(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)}{n_{\text{Ca}} \cdot \nu_{\text{Ca}}} = \frac{162}{1 \cdot 2} = 81 \text{ г/моль.}$$

Следовательно, жесткость воды равна:

$$Ж = 0,004 \cdot 1000 = 4 \text{ ммоль-экв/л.}$$

Пример 2. Определить массу гидрокарбоната кальция в 100 л воды, зная, что жесткость, обусловленная этой солью, равна 5 ммоль-экв/л.

Решение:

1) Количество ммоль-экв солей жесткости в 100л воды составляет:

$$n' = 5 \cdot 100 = 500$$

2) Количество моль-экв соответственно:

$$n = 500:1000 = 0,5$$

3) $M_{\text{э}}(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 81$ г/моль, следовательно, масса соли равна:

$$m = 0,5 \cdot 81 = 40,5 \text{ г.}$$

Пример 3. Определить жесткость воды, если в 1 м³ содержится 30 г ионов кальция и 24 г ионов магния.

Решение:

1) Масса Ca^{2+} в 1 л: $m = \frac{30}{1000} = 0,03$ г.

Масса Mg^{2+} в 1 л: $m = \frac{24}{1000} = 0,024$ г.

2) Количество моль-эквивалентов в 1 л:

$$M_{\text{Э}}(\text{Ca}) = \frac{M(\text{Ca})}{\nu} = \frac{40}{2} = 20 \text{ г/моль}; \quad n(\text{Ca}^{2+}) = \frac{m}{M_{\text{Э}}(\text{Ca})} = \frac{0,03}{20} = 0,015$$

$$M_{\text{Э}}(\text{Mg}) = \frac{M(\text{Mg})}{\nu} = \frac{24}{2} = 12 \text{ г/моль}; \quad n(\text{Mg}^{2+}) = \frac{m}{M_{\text{Э}}(\text{Mg})} = \frac{0,024}{12} = 0,002$$

3) Количество моль-эквивалентов Ca^{2+} и Mg^{2+} :

$$n_{\text{Ca}^{2+}} + n_{\text{Mg}^{2+}} = 0,015 + 0,002 = 0,0035$$

4) Следовательно, жесткость воды равна:

$$Ж = 0,0035 \cdot 1000 = 3,5 \text{ ммоль-экв/л.}$$

Пример 4. Сколько граммов соды надо прибавить к 300 л воды, чтобы устранить ее жесткость, равную 3 ммоль-экв/л?

Решение:

1) Количество ммоль-экв/л солей жесткости в 300 л воды

$$\text{составляет: } n = 3 \cdot 300 = 900$$

2) Количество моль-эквивалентов, соответственно:

$$n_1 = 900 : 1000 = 0,9$$

3) По закону эквивалентов: $n_1 = n_2$,

где n_1 – количество моль-эквивалентов солей жесткости;

n_2 – количество моль-эквивалентов соды (Na_2CO_3).

4) Следовательно, масса соды, которую нужно добавить для устранения солей жесткости равна: $m = n_2 \cdot M_{\text{Э}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,9 \cdot 53 = 47,7 \text{ г.}$

$$M_{\text{Э}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{n_{\text{Na}} \cdot \nu_{\text{Na}}} = \frac{106}{1 \cdot 2} = 53 \text{ г/моль.}$$

Пример 5. Вычислить карбонатную жесткость воды, зная, что на реакцию с гидрокарбонатом кальция, содержащимся в 100 мл воды, потребовалось 4,2 мл 0,1 Н раствора HCl .

Решение:



1) По закону эквивалентов

$$C_{H(1)} \cdot V_{(1)} = C_{H(2)} \cdot V_{(2)}$$

$$C_H(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) \cdot V_{\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2} = C_H(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})$$

2) Пользуясь этой формулой, находим нормальную концентрацию водного раствора $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$:

$$C_H(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = \frac{4,1 \cdot 4,2}{100} = 0,042 \text{ моль-экв/л}$$

3) Следовательно, жесткость воды равна:

$$Ж = C_H \cdot 1000 = 0,0042 \cdot 1000 = 4,2 \text{ ммоль-экв/л.}$$

Пример 6. При кипячении 100 л воды, содержащей гидрокарбонат кальция, выпал осадок массой 5,5 г. Чему равна жесткость воды?

Решение:



1) Масса CaCO_3 , соответствующая 1 л воды составляет:

$$m = 5,5:100 = 0,055 \text{ г.}$$

2) По закону эквивалентов:

$$n_1(\text{CaCO}_3) = n_2(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2),$$

где $n_1(\text{CaCO}_3)$ - количество моль-эквивалентов CaCO_3 ;

$n_2(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)$ - количество моль-эквивалентов $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

3) Количество моль-эквивалентов CaCO_3 в 1 л воды:

$$n_1(\text{CaCO}_3) = \frac{m}{M_э} = 0,055:50 = 0,0011,$$

$$\text{где } M_э(\text{CaCO}_3) = \frac{M(\text{CaCO}_3)}{n_{\text{Ca}} \cdot V_{\text{Ca}}} = \frac{100}{1 \cdot 2} = 50 \text{ г/моль}$$

также $n_2(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 0,0011$.

4) Соответственно, жесткость воды равна:

$$Ж = 0,0011 \cdot 1000 = 1,1 \text{ ммоль-экв/л.}$$

Пример 7. Вычислить обменную емкость Na- катионита (ε), если через адсорбционную колонку, содержащую 50 г катионита пропущено 13,5 л воды с общей жесткостью 7 ммоль-экв/л (до появления катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в фильтрате).

Решение:

Согласно определению, обменная емкость катионита - количество ммоль-экв ионов поглощаемых 1 г ионита:

$$\varepsilon = \frac{Ж \cdot V}{m},$$

Следовательно, обменная емкость Na- катионита равна:

$$\varepsilon = \frac{7 \cdot 13,5}{50} = 1,89 \text{ ммоль-экв/г.}$$

Пример 8. Как изменится жесткость воды при добавлении к 1 м³ воды 10 л 0,2 М раствора ортофосфата натрия?

Решение:

1) По закону эквивалентов

$$C_{H(1)} \cdot V_{(1)} = C_{H(2)} \cdot V_{(2)}$$

$$C_{H(\text{соли жесткости})} \cdot V(\text{соли жесткости}) = C_{H(\text{Na}_3\text{PO}_4)} \cdot V(\text{Na}_3\text{PO}_4)$$

2) Пользуясь этой формулой, находим нормальную концентрацию, соответствующую солям жесткости:

$$C_M \rightarrow C_H, \quad M_{\text{Э}}(\text{Na}_3\text{PO}_4) = \frac{M(\text{Na}_3\text{PO}_4)}{n_{\text{Na}} \cdot B_{\text{Na}}} = \frac{M(\text{Na}_3\text{PO}_4)}{3 \cdot 1}, \quad C_H = C_M \cdot 3,$$

$$C_H(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 0,6 \text{ моль-экв/л}$$

$$C_{H(\text{соли жесткости})} = \frac{10 \cdot 0,6}{1000} = 0,006 \text{ моль-экв/л.}$$

3) $Ж = 0,006 \cdot 1000 = 6$ ммоль-экв/л, следовательно, жесткость воды понизилась на 6 ммоль-экв/л.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Вариант 1

1. Чему равна карбонатная жесткость воды, в литре которой содержится 0,2025 г гидрокарбоната кальция и 0,2920 г гидрокарбоната магния?

- Ответы:
- 1) 17,22 ммоль-экв/л;
 - 2) 13,00 ммоль-экв/л;
 - 3) 34,45 ммоль-экв/л;
 - 4) 6,50 ммоль-экв/л.

2. Наличие, каких катионов и анионов обуславливают некарбонатную жесткость воды?

- Ответы:
- 1) Ca^{2+} , SO_4^{2-} ;
 - 2) Mg^{2+} , HCO_3^- ;
 - 3) Ca^{2+} , HCO_3^- .

3. Сколько потребуется соды для умягчения 20 л воды, если жесткость ее равнее 15 ммоль-экв/л ионов кальция?

- Ответы:
- 1) 31,8 г;
 - 2) 15,9 г;
 - 3) 0,08 г.

4. Чему равна карбонатная жесткость воды, если известно, что на титрование 100 см³ ее израсходовано 4 мл 0,1 М раствора соляной кислоты?

- Ответы:
- 1) 0,4 ммоль-экв/л;
 - 2) 4 ммоль-экв/л;
 - 3) 0,04 ммоль-экв/л.

5. Каким методом можно устранить некарбонатную жесткость воды? Напишите соответствующую реакцию.

- Ответы:
- 1) кипячением;
 - 2) известкованием;
 - 3) содовым.

Вариант 2

1. Вычислить общую жесткость воды, в литре которой содержится 72 мг ионов магния и 160 мг ионов кальция.

- Ответы:
- 1) 14 ммоль-экв/л;
 - 2) 7 ммоль-экв/л;
 - 3) 10 ммоль-экв/л.

2. Какова карбонатная жесткость воды, если для умягчения 100 л ее потребовалось 7 г гидроксида кальция?

- Ответы:
- 1) 1,9 ммоль-экв/л;
 - 2) 3,8 ммоль-экв/л;
 - 3) 0,95 ммоль-экв/л;
 - 4) 15,30 ммоль-экв/л.

3. Сколько граммов гидрокарбоната магния содержится в 500 л воды, жесткость которой 4 ммоль-экв/л?

- Ответы:
- 1) 48 г;
 - 2) 146 г;
 - 3) 292 г;
 - 4) 96 г.

4. Каким образом можно устранить общую жесткость воды? Напишите соответствующую реакцию.

- Ответы:
- 1) добавлением Na_3PO_4 ;
 - 2) кипячением;
 - 3) добавлением $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

5. Чему равна жесткость, если количество CaCl_2 в воде соответствует 0,04 Н раствору?

- Ответы:
- 1) 2 ммоль-экв/л;
 - 2) 1 ммоль-экв/л;
 - 3) 40 ммоль-экв/л;
 - 4) 20 ммоль-экв/л.

Вариант 3

1. Сколько граммов сульфата магния содержится в 1 м^3 воды, жесткость которой 6 ммоль-экв/л ?

- Ответы:
- 1) 720 г;
 - 2) 72 г;
 - 3) 360 г;
 - 4) 144 г.

2. Сколько граммов карбоната натрия надо прибавить к 100 мл воды, чтобы устранить жесткость, равную 5 ммоль-экв/л ?

- Ответы:
- 1) 1,32 г;
 - 2) 26,50 г;
 - 3) 0,33 г;
 - 4) 53 г.

3. Какова карбонатная жесткость воды, на титрование 100 см^3 которой потребовалось $5 \text{ см}^3 0,08 \text{ Н}$ раствора HCl ?

- Ответы:
- 1) 4 ммоль-экв/л;
 - 2) 1,60 ммоль-экв/л;
 - 3) 24,25 ммоль-экв/л;
 - 4) 1,21 ммоль-экв/л.

4. Какой реакцией можно устранить, содержащийся в воде хлорид кальция? Напишите соответствующую реакцию.

- Ответы:
- 1) кипячением;
 - 2) добавлением Na_2CO_3 ;
 - 3) добавлением $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

5. Чему равна жесткость воды, если содержание ионов кальция в 1 см^3 равно $0,08 \text{ мг}$?

- Ответы:
- 1) 80,0 ммоль-экв/л;
 - 2) 4,0 ммоль-экв/л;
 - 3) 2,0 ммоль-экв/л.

Вариант 4

1. Вычислить карбонатную жесткость воды, если в одном литре ее содержится 0,3285 г гидрокарбоната магния?

- Ответы:
- 1) 4,50 ммоль-экв/л;
 - 2) 54,0 ммоль-экв/л;
 - 3) 1,32 ммоль-экв/л;
 - 4) 2,25 ммоль-экв/л.

2. Какова карбонатная жесткость воды, если на титрование 1 литра воды израсходовано 50 см³ 0,1 Н раствора HCl?

- Ответы:
- 1) 2,0 ммоль-экв/л;
 - 2) 5,0 ммоль-экв/л;
 - 3) 2,5 ммоль-экв/л.

3. Сколько граммов гашеной извести нужно прибавить к 1 м³ воды, чтобы устранить карбонатную жесткость, равную 3 ммоль-экв/л?

- Ответы:
- 1) 60 г;
 - 2) 222 г;
 - 3) 111 г;
 - 4) 120 г.

4. Какова жесткость 0,004 Н раствора MgCl₂ ?

- Ответы:
- 1) 4 ммоль-экв/л;
 - 2) 2 ммоль-экв/л;
 - 3) 1 ммоль-экв/л;
 - 4) 40 ммоль-экв/л.

5. В каких единицах измеряется жесткость воды?

- Ответы:
- 1) ммоль-экв/л Ca²⁺ и Mg²⁺;
 - 2) ммоль/л Ca²⁺ и Mg²⁺;
 - 3) ммоль-экв/л CaCl₂ и MgCl₂.

Вариант 5

1. Какое количество гашеной извести нужно прибавить к 100 л воды с карбонатной жесткостью, равной 25 ммоль-экв/л?

- Ответы:
- 1) 500 г;
 - 2) 92,5 г;
 - 3) 1000,0 г;
 - 4) 1850,0 г.

2. Сколько граммов бикарбоната магния $Mg(HCO_3)_2$ содержится в 200 л его раствора, если жесткость определена равной 5 ммоль-экв/л?

- Ответы:
- 1) 14,6 г;
 - 2) 73,0 г;
 - 3) 146,0 г;
 - 4) 365,0 г.

3. Какова жесткость воды, на титрование 1 л которой потребовалось 100 см³ 0,01 М раствора соляной кислоты?

- Ответы:
- 1) 0,5 ммоль-экв/л;
 - 2) 0,1 ммоль-экв/л;
 - 3) 10,0 ммоль-экв/л;
 - 4) 1,0 ммоль-экв/л.

4. Какова жесткость воды, в литре которой содержится 2 ммоль-экв $CaSO_4$?

- Ответы:
- 1) 68 ммоль-экв/л;
 - 2) 40 ммоль-экв/л;
 - 3) 2 ммоль-экв/л;
 - 4) 136 ммоль-экв/л.

5. Наличие каких катионов и анионов обуславливает карбонатную жесткость воды?

- Ответы:
- 1) Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- ;
 - 2) Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- ;
 - 3) Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} .

Вариант 6

1. Вычислить общую жесткость воды, зная, что для удаления ионов кальция, содержащихся в 50 л этой воды, потребовалось прибавить к воде 10,6 г соды.

- Ответы:
- 1) 200 ммоль-экв/л;
 - 2) 10 ммоль-экв/л;
 - 3) 4 ммоль-экв/л;
 - 4) 2 ммоль-экв/л.

2. Какова жесткость воды в 1 л, которой содержится 0,036 г ионов магния и 0,040 г ионов кальция?

- Ответы:
- 1) 5,0 ммоль-экв/л;
 - 2) 3,8 ммоль-экв/л;
 - 3) 2,5 ммоль-экв/л;
 - 4) 76,0 ммоль-экв/л.

3. Добавлением какого реагента можно устранить карбонатную жесткость воды? Напишите соответствующую реакцию.

- Ответы:
- 1) MgCl_2 ;
 - 2) $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
 - 3) HCl .

4. Как увеличилась жесткость воды, к 100 л которой добавили 15 г CaCl_2 ?

- Ответы:
- 1) на 1,35 ммоль-экв/л;
 - 2) на 2,7 ммоль-экв/л;
 - 3) на 0,27 ммоль-экв/л;
 - 4) на 0,135 ммоль-экв/л.

5. Указать соли, обуславливающие карбонатную жесткость воды.

- Ответы:
- 1) CaSO_4 , MgCl_2 ;
 - 2) MgSO_4 , CaCl_2 ;
 - 3) $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$;
 - 4) MgSO_4 , MgCO_3 .

Вариант 7

1. Какова жесткость воды, в 1 м³ которой содержится 204 грамма сульфата кальция?

- Ответы:
- 1) 30 ммоль-экв/л;
 - 2) 1,5 ммоль-экв/л;
 - 3) 3,0 ммоль-экв/л;
 - 4) 60 ммоль-экв/л.

2. Указать реакцию, вызывающую умягчение воды, и дописать продукты.

- Ответы:
- 1) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{HCl} \rightarrow$
 - 2) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{MgCl}_2 \rightarrow$
 - 3) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow$
 - 4) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow$

3. Какова жесткость воды, в 1 л которой содержится 0,048 г ионов магния и 0,080 г ионов кальция?

- Ответы:
- 1) 0,13 ммоль-экв/л;
 - 2) 4,0 ммоль-экв/л;
 - 3) 8,0 ммоль-экв/л;
 - 4) 6,4 ммоль-экв/л.

4. Какую жесткость можно устранить добавлением гашеной извести? Напишите соответствующую реакцию.

- Ответы:
- 1) карбонатную;
 - 2) некарбонатную;
 - 3) общую.

5. Чему равна жесткость воды, если на титрование 100 см³ ее израсходовано 6 см³ 0,09 М раствора соляной кислоты?

- Ответы:
- 1) 0,0054 ммоль-экв/л;
 - 2) 5,4 ммоль-экв/л;
 - 3) 0,54 ммоль-экв/л.

Вариант 8

1. Определить жесткость воды, в 500 л которой содержится 195 г бикарбоната кальция.

- Ответы:
- 1) 4,8 ммоль-экв/л;
 - 2) 1,2 ммоль-экв/л;
 - 3) 3,9 ммоль-экв/л;
 - 4) 2,4 ммоль-экв/л.

2. Указать соли, обуславливающие общую жесткость воды.

- Ответы:
- 1) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, MgCO_3 ;
 - 2) CaCl_2 , CaSO_4 , MgCl_2 ;
 - 3) CaSO_4 , MgCl_2 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$;
 - 4) CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, MgCO_3 .

3. Сколько соды необходимо добавить к 500 л воды для устранения жесткости, равной 4,4 ммоль-экв/л?

- Ответы:
- 1) 44,0 г;
 - 2) 233,2 г;
 - 3) 116,6 г;
 - 4) 88,0 г.

4. Каким из указанных веществ можно регенерировать Н-катионит? Напишите соответствующую реакцию.

- Ответы:
- 1) Na_2CO_3 ;
 - 2) NaCl ;
 - 3) KOH ;
 - 4) H_2SO_4 .

5. Определить карбонатную жесткость воды, если известно, что на титрование 100 см³ ее израсходовано 6,8 см³ 0,1 Н раствора соляной кислоты.

- Ответы:
- 1) 1,47 ммоль-экв/л;
 - 2) 6,8 ммоль-экв/л;
 - 3) 0,68 ммоль-экв/л.

Вариант 9

1. Какое количество Na-катионита с обменной емкостью, равной 4 ммоль-экв/г, необходимо для устранения жесткости, равной 3,7 ммоль-экв/л в 500 л воды?

- Ответы: 1) 42,5 г;
2) 425 г;
3) 0,425 г.

2. Как изменится жесткость воды при добавлении к 500 л воды 5 л 0,1 М раствора ортофосфата натрия?

- Ответы: 1) 0,003 ммоль-экв/л;
2) 3 ммоль-экв/л;
3) 1 ммоль-экв/л.

3. Указать соли, обуславливающие некарбонатную жесткость воды.

- Ответы: 1) $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, CaCl_2 ;
2) CaSO_4 , MgCl_2 ;
3) CaSO_4 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.

4. В каком количестве воды можно устранить жесткость, равную 5 ммоль-экв/л, используя 1 м³ 0,2 Н раствора Na_3PO_4 ?

- Ответы: 1) 40 л;
2) 40000 л;
3) 8 л.

5. Какую соль жесткости можно устранить раствором NaOH? Напишите соответствующую реакцию.

- Ответы: 1) CaCl_2 ;
2) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$;
3) CaSO_4 .

Вариант 10

1. Сколько потребуется соды для умягчения 20 л воды, если жесткость ее равна 15 ммоль-экв/л?

- Ответы: 1) 15,9 г;
2) 31,8 г;
3) 0,08 г.

2. В каких единицах измеряется жесткость воды?

- Ответы: 1) мг/л Ca^{2+} и Mg^{2+} ;
2) ммоль/л Ca^{2+} и Mg^{2+} ;
3) ммоль-экв/л Ca^{2+} и Mg^{2+} ;
4) ммоль-экв/л CaCl_2 и MgCl_2 .

3. Какова жесткость воды, в одном литре которой содержится 0,324 г гидрокарбоната кальция?

- Ответы: 1) 4 ммоль-экв/л;
2) 2 ммоль-экв/л;
3) 16,2 ммоль-экв/л;
4) 8,1 ммоль-экв/л.

4. Каким из указанных веществ можно регенерировать Na-катионит? Напишите соответствующую реакцию.

- Ответы: 1) Na_2CO_3 ;
2) NaCl ;
3) KOH ;
4) H_2SO_4 .

5. В каком объеме воды можно устранить жесткость, равную 5,2 ммоль-экв/л, используя 200 л 0,5 М раствора соды?

- Ответы: 1) 192,3 л;
2) 19,23 л;
3) 38461 л;
4) 19231 л.

Вариант 11

1. На сколько понизилась жесткость воды, к 100 л которой прибавили 63,6 г соды?

- Ответы:
- 1) 6,0 ммоль-экв/л;
 - 2) 15,9 ммоль-экв/л;
 - 3) 12,0 ммоль-экв/л;
 - 4) 31,8 ммоль-экв/л.

2. Чему равна жесткость 0,0025 М раствора CaCl_2 ?

- Ответы:
- 1) 10,0 ммоль-экв/л;
 - 2) 5,0 ммоль-экв/л;
 - 3) 55,5 ммоль-экв/л;
 - 4) 27,7 ммоль-экв/л.

3. Указать реакцию, вызывающую умягчение воды, дописать продукты реакции.

- Ответы:
- 1) $\text{MgCl}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow$
 - 2) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{NaOH} \rightarrow$
 - 3) $\text{MgSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow$
 - 4) $\text{CaSO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow$

4. Какова карбонатная жесткость воды, если при кипячении 200 см³ которой выпадает в осадок 3 мг CaCO_3 ?

- Ответы:
- 1) 0,18 ммоль-экв/л;
 - 2) 0,37 ммоль-экв/л;
 - 3) 0,30 ммоль-экв/л;
 - 4) 0,06 ммоль-экв/л.

5. Каким способом определяют общую жесткость воды?

- Ответы:
- 1) титрованием воды раствором HCl ;
 - 2) титрованием воды раствором трилона Б;
 - 3) титрованием воды раствором NaOH .

Вариант 12

1. Какова жесткость воды, в 1 л которой содержится 0,096 г ионов магния и 0,080 г ионов кальция?

- Ответы:
- 1) 4,0 ммоль-экв/л;
 - 2) 12 ммоль-экв/л;
 - 3) 8,0 ммоль-экв/л;
 - 4) 6,4 ммоль-экв/л.

2. Указать функциональную группу, характерную для катионитов.

- Ответы:
- 1) $-\text{SO}_3\text{H}$;
 - 2) $-\text{NH}_2$;
 - 3) $-\text{N}=\text{H}$.

3. Какое количество Na - катионита с обменной емкостью, равной 3 ммоль-экв/г, необходимо для устранения жесткости равной 5,8 ммоль-экв/л в 800 л воды?

- Ответы:
- 1) 154,66 г;
 - 2) 1546,6 г;
 - 3) 15,47 г.

4. Как изменится жесткость воды при добавлении к 100 л воды 2 л 0,2 М раствора карбонат натрия?

- Ответы:
- 1) 0,008 ммоль-экв/л;
 - 2) 4 ммоль-экв/л;
 - 3) 8 ммоль-экв/л.

5. Указать реакцию, вызывающую умягчение воды, и дописать продукты реакции.

- Ответы:
- 1) $\text{CaSO}_4 + 2\text{NaCl} \rightarrow$
 - 2) $\text{CaCl}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow$
 - 3) $\text{CaSO}_4 + \text{Na}_2\text{R} \rightarrow$
 - 4) $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow$

Вариант 13

1. Каким методом можно устранить некарбонатную жесткость воды?

Напишите соответствующую реакцию.

- Ответы:
- 1) известкованием;
 - 2) кипячением;
 - 3) содовым;
 - 4) щелочным.

2. Сколько потребуется ортофосфата натрия для умягчения 10 л воды, если жесткость ее равна 5 л ммоль-экв/л?

- Ответы:
- 1) 4100 г;
 - 2) 2735 г;
 - 3) 2,735 г;
 - 4) 4,100 г.

3. Указать соли, обуславливающие общую жесткость воды.

- Ответы:
- 1) CaSO_4 , CaCl_2 ;
 - 2) MgSO_4 , MgCl_2 ;
 - 3) $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, CaCl_2 ;
 - 4) $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

4. Сколько граммов хлорида кальция содержится в 500 л воды, жесткость которой равна 7 ммоль-экв/л?

- Ответы:
- 1) 194250 г;
 - 2) 194,250 г;
 - 3) 97,125 г.

5. Какова карбонатная жесткость воды. На титрование 200 см³ которой потребовалось 10 см³ 0,1 М раствора HCl?

- Ответы:
- 1) 0,005 ммоль-экв/л;
 - 2) 5 ммоль-экв/л;
 - 3) 0,10 ммоль-экв/л.

Вариант 14

1. Указать соли, обуславливающие некарбонатную жесткость воды, написать их формулы.

- Ответы:
- 1) гидрокарбонаты кальция и магния;
 - 2) карбонаты кальция и магния;
 - 3) сульфаты кальция и магния.

2. Определить жесткость воды, в 20 литрах которой содержится 1,4 г CaSO_4 .

- Ответы:
- 1) 1,03 ммоль-экв/л;
 - 2) 1,75 ммоль-экв/л;
 - 3) 0,51 ммоль-экв/л;
 - 4) 20,50 ммоль-экв/л.

3. Какую жесткость определяют титрованием раствором HCl ? Напишите соответствующую реакцию.

- Ответы:
- 1) общую;
 - 2) карбонатную;
 - 3) некарбонатную.

4. Какова жесткость воды, для умягчения 100 л которой потребовалось 31,41 г безводной буры $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$?

- Ответы:
- 1) 6,22 ммоль-экв/л;
 - 2) 1,55 ммоль-экв/л;
 - 3) 1,25 ммоль-экв/л;
 - 4) 3,11 ммоль-экв/л.

5. Сколько граммов гидроксида магния содержится в 500 л воды, жесткость которой 4 ммоль-экв/л?

- Ответы:
- 1) 146 г;
 - 2) 48 г;
 - 3) 292 г;
 - 4) 96 г.

Вариант 15

1. Каким из указанных веществ можно регенерировать Н-катионит? Напишите соответствующую реакцию.

- Ответы:
- 1) K_2CO_3 ;
 - 2) $NaCl$;
 - 3) H_2SO_4 ;
 - 4) Na_3PO_4 .

2. Вычислить карбонатную жесткость воды, зная, что в одном литре ее содержится 0,3285 г гидрокарбоната магния и 0,405 г гидрокарбонат кальция?

- Ответы:
- 1) 0,00396 ммоль-экв/л;
 - 2) 89,6 ммоль-экв/л;
 - 3) 8,96 ммоль-экв/л.

3. Какова карбонатная жесткость воды, если на титрование 200 см³ воды израсходовано 10 см³ 0,1 Н раствора HCl?

- Ответы:
- 1) 2 ммоль-экв/л;
 - 2) 5 ммоль-экв/л;
 - 3) 2,5 ммоль-экв/л.

4. Сколько граммов хлорида кальция содержится в 300 л воды, если жесткость определена равной 4,5 ммоль-экв/л?

- Ответы:
- 1) 74925 г;
 - 2) 74,925 г;
 - 3) 37,462 г.

5. Чему равна жесткость 0,02 М раствора $CaCl_2$?

- Ответы:
- 1) 20 ммоль-экв/л;
 - 2) 4 ммоль-экв/л;
 - 3) 40 ммоль-экв/л.

Вариант 16

1. Вычислить временную жесткость воды, зная, что на реакцию с гидрокарбонатом, содержащимся в 100 мл этой воды, потребовалось 5 мл 0,1Н раствора HCl.

- Ответы: 1) 8 мг-экв/л,
2) 3 мг-экв/л,
3) 5 мг-экв/л.

2. Какое из указанных веществ является анионитом?

- Ответы: 1) RSO_3H ;
2) RCOOH ;
3) RNH_2 .

3. Присутствие каких солей в природной воде обуславливает ее общую жесткость?

- Ответы: 1) CaSO_4 , MgCl_2 ;
2) CaCO_3 , CaCl_2 ;
3) MgSO_4 , MgCO_3 ;
4) MgCl_2 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.

4. Чему равна временная жесткость воды, в 1 л которой содержится 0,136 г гидрокарбоната магния?

- Ответы: 1) 2,20 ммоль-экв/л;
2) 1,86 ммоль-экв/л;
3) 4,51 ммоль-экв/л;
4) 0,93 ммоль-экв/л.

5. Каким реагентом можно устранить общую жесткость? Напишите соответствующую реакцию.

- Ответы: 1) $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
2) Na_2CO_3 ;
3) NaOH ;
4) CaCO_3 .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коровин Н.В. Общая химия. М.: Высш. шк., 2000. 559 с.
2. Федосова Н.Л., Румянцева В.Е., Лосева М.В., Кокурина Г.Л., Чеснокова Т.В. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие / Под ред. Н.Л. Федосовой. М.: Изд-во АСВ, 2003. 232 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Понятие о жесткости воды.....	3
Умягчение воды.....	4
Определение жесткости воды.....	10
Примеры расчетов.....	11
Контрольные задания	16
Библиографический список	32