

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Вологодский политехнический институт
Кафедра водоснабжения и водоотведения**

**ВОДОСНАБЖЕНИЕ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

методические указания к выполнению лабораторных работ

**Часть 3. КОРРЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ВОДЫ**

Факультет технической экологии водных систем

Специальность: 290800 - водоснабжение и водоотведение

Вологда

1998

УДК 628.16

Водоснабжение промышленных предприятий: Методические указания к выполнению лабораторных работ. Часть 3. Корректирование технологических свойств воды. - Вологда: ВоПИ, 1998. - 28 с.

Методические указания написаны в соответствии с учебной программой курса "Водоснабжение промышленных предприятий" и содержат теоретические основы технологических процессов кондиционирования воды для промышленного водоснабжения и практические рекомендации по определению технологических свойств технической воды, а также порядок выполнения ряда лабораторных анализов и последовательность обработки полученных результатов. К каждой теме даны контрольные вопросы для самостоятельной проработки.

Предназначены для студентов 5 курса специальности 290800 очной и заочной формы обучения.

Утверждено издательско-библиотечным советом ВоПИ

Составители: Медиоланская М.М., канд.техн.наук, доцент
Пашичева Н.Н., ст.преп.,зав.хим.лабораторией

Рецензент: Чудновский С.М., канд. техн.наук,
профессор кафедры КИиОПР

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ	стр. 3
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ	4
Лабораторная работа 1. Определение жесткости и щелочности воды.....	6
Лабораторная работа 2. Умягчение воды известково-содовым методом.....	11
Лабораторная работа 3. Исследование работы ионнообменной водоумягчительной установки.....	16
Лабораторная работа 4. Корректирование минерального состава воды, используемой в замкнутых циклах обратного водоснабжения.....	21
Лабораторная работа 5. Регенерация отработанных Н-катионитовых и ОН-анионитовых фильтров	25
ЛИТЕРАТУРА	28

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ

Пригодность воды для производственных нужд определяется ее технологическими свойствами.

Температура. Предельная температура воды для охлаждения теплообменных аппаратов определяется условиями их работы и требованиями технологии.

Взвешенные вещества. В воде для питания паровых котлов и для некоторых видов производств допускается до 2 мг/л и ниже; в охлаждающей воде - не более 50 мг/л.

Цветность. Придает воде окраску, указывает на присутствие в ней органических веществ, препятствует использованию воды для многих производств.

Привкус и запах. Наличие в воде нежелательных запахов и привкусов делает ее непригодной для пищевой, химической и других отраслей промышленности.

Жесткость. Препятствует использованию воды для паровых котлов и некоторых видов производств. В оборотных системах водоснабжения повышенная карбонатная жесткость добавочной воды приводит к отложению карбоната кальция в трубопроводах, теплообменных аппаратах и в охлаждающих устройствах.

Растворенный (сухой) остаток. Повышенная минерализация воды препятствует ее использованию для питания паровых котлов, производства кинофотоплёнки, искусственных волокон, синтетического каучука и др.

Активная реакция (рН). При низких значениях рН вода агрессивна, способствует коррозии металла, что приводит к ухудшению ее вкуса. При высоких значениях рН вода нестабильна и способна отлагать на стенках труб и теплообменных аппаратов карбонат кальция, что вызывает их зарастание.

Железо и марганец. Препятствуют использованию воды в текстильной и бумажной промышленности, при производстве пластмасс и кинофотоплёнки, в пищевой промышленности и др.

Сульфаты и хлориды. Повышенное содержание препятствует использованию воды для питания паровых котлов и

ряда производств. Присутствие их в воде свидетельствует об ее агрессивности по отношению к бетону на силикатном цементе : при содержании сульфат-ионов $>0,25$ г/л, если содержание хлоридов < 3 г/л; при содержании сульфат-ионов $> 0,5$ г/л, если содержание хлоридов $3...5$ г/л; при содержании сульфат-ионов > 1 г/л, если содержание хлоридов > 5 г/л.

При содержании сульфат-ионов > 4 г/л вода агрессивна по отношению к пуццолановому и шлакопуццолановому силикатным цементам, а также к шлакосиликатному цементу.

Окисляемость. Окисляемость воды более 8 мг/л O_2 указывает на вероятность загрязнения ее сточными водами, на возможность развития органических обрастаний в теплообменных аппаратах.

Повышенная окисляемость вызывает вспенивание воды в паросиловых котлах, препятствует ее использованию при производстве синтетических волокон, а также в электродиализных и ионнообменных процессах.

Кремнекислота. Препятствует использованию воды для питания котлов высокого и сверхвысокого давления, текстильного и ряда химических производств, для химико-фармацевтического производства и переработки редких металлов.

Свободная углекислота. Замедляет процесс гидролиза солей металлов при коагулировании, обезжелезивании и других процессах кондиционирования воды; вызывает коррозию металла и бетонных сооружений.

Сероводород. Вызывает коррозию металлов и способствует зарастанию труб и теплообменников аппаратов.

Растворенный кислород. Усиливает коррозию металла, водопроводных труб, теплосетей, теплообменной аппаратуры, котлов, бойлеров и др.

Азот (нитратный, нитритный, аммонийный). Повышенное содержание в воде свидетельствует о вероятном загрязнении источника сточными водами.

Лабораторная работа 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ И ЩЕЛОЧНОСТИ ВОДЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомление с методиками и приобретение практических навыков качественного и количественного анализа содержания в воде кальция и магния. Ознакомление с методиками определения жесткости и щелочности воды.

Приборы, посуда и реактивы

1. pH-метр;
2. Пипетки с оттянутыми концами, нестандартные;
3. Бюретка, ГОСТ 20292-74;
4. Штатив;
5. Коническая колба емкостью 250 мл;
6. Плотный беззольный фильтр;
7. 0,05 н раствор трилона Б;
8. Индикатор эриохром черный Т;
9. Аммиачный буферный раствор;
10. Соляная кислота (0,1 н раствор);
11. Фенолфталеин (0,1% раствор);
12. Оксалат аммония (5% раствор).

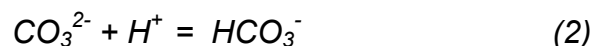
1.1. Определение общей щелочности воды

Карбонатная жесткость обусловлена наличием в воде гидрокарбонатов Ca^{2+} и Mg^{2+} и называется временной, поскольку ее можно удалить кипячением.

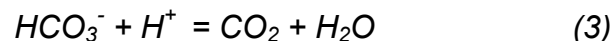
Определение общей щелочности воды основано на реакции образования нейтральных солей при титровании воды соляной кислотой. Общая щелочность воды обусловлена наличием ионов OH^- , CO_3^{2-} и HCO_3^- .

Ионы OH^- , CO_3^{2-} титруются соляной кислотой в присутствии индикатора фенолфталеина (при $pH = 8,3$) и обуславливают щелочность воды по фенолфталеину.

При титровании протекают реакции:



Ионы HCO_3^- титруются соляной кислотой в присутствии индикатора метил оранжевого (при $\text{pH} = 3,6$).



Если щелочность воды по фенолфталеину равна нулю, то общая ее щелочность обусловлена наличием только гидрокарбонат-ионов HCO_3^- .

В подавляющем большинстве природных вод ионы HCO_3^- связаны только с ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} . Поэтому в тех случаях, когда щелочность воды по фенолфталеину равна нулю, можно считать, что общая щелочность воды равна ее карбонатной жесткости.

Ход определения

К 100 мл исследуемой воды, отмеренной пипеткой в коническую колбу на 250 мл, добавляют 2-3 капли раствора фенолфталеина. Если появится розовая окраска, воду титруют 0,1 н раствором соляной кислоты до обесцвечивания. Затем в ту же колбу добавляют 2-3 капли раствора метил оранжевого и продолжают титрование 0,1 н раствором соляной кислоты до перехода желтой окраски в розовую.

Записывают объем 0,1 н раствора HCl , израсходованной на титрование воды с фенолфталеином, и общий объем 0,1 н раствора HCl , израсходованной на титрования.

Общую щелочность $\text{Щ}_{\text{об}}$ воды вычисляют по формуле:

$$\text{Щ}_{\text{об}} = \frac{N \cdot V \cdot 1000}{V_1}, \text{ мг-экв/л} \quad (4)$$

где V - общий объем раствора HCl , израсходованной на титрование исследуемой воды, мл;

V_1 - объем воды, взятый для исследования, мл;

N - нормальность раствора HCl .

Для вычисления некарбонатной (постоянной) жесткости воды дополнительно определяют ее **щелочность по фенолфталеину** $\text{Щ}_\text{ф}$ по формуле:

$$\text{Щ}_\text{ф} = \frac{N \cdot V_2 \cdot 1000}{V_1}, \text{ мг-экв/л} \quad (5)$$

где V_2 - объем раствора HCl , израсходованной на титрование, мл.

Если щелочность воды по фенолфталеину равна нулю, то общая ее щелочность равна карбонатной жесткости. Поэтому некарбонатную жесткость воды можно определить как разницу между общей и карбонатной жесткостью.

1.2. Определение общей жесткости

Комплексонометрический метод определения общей жесткости воды основан на способности трилона Б (этилендиаминтетрауксусной кислоты) связывать ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} в комплексные соединения. Поскольку ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} образуют с трилоном Б нестойкие комплексные соединения, то титрование ведут в щелочной среде.

Ход определения

К 100 мл исследуемой воды, отмеренной пипеткой в коническую колбу на 250 мл, приливают 5 мл аммиачного буферного раствора, добавляют 6-7 капель индикатора эриохрома черного Т, который с ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} образует комплексы малиново-красного цвета.

При наличии ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} раствор окрашивается в малиново-красный цвет. Полученный раствор медленно титруют 0,05 н раствором трилона Б до изменения окраски на синевато-серую. При этом все ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} будут связаны трилоном Б.

Общую жесткость раствора $\text{Ж}_{\text{об}}$ рассчитывают по формуле:

$$Ж_{об} = \frac{N \cdot V_3 \cdot 1000}{V_1}, \text{ мг-экв/л} \quad (6)$$

где N - нормальность раствора трилона Б;

V_3 - объем раствора трилона Б, израсходованный на титрование исследуемой воды, *мл*;

V_1 - объем воды, взятой для анализа, *мл*.

1.3. Определение кальциевой и магниевой жесткости

Сначала определяют общую жесткость воды. Затем осаждают ионы кальция в виде оксалата кальция CaC_2O_4 :



и определяют магниевую жесткость фильтрата. Кальциевую жесткость воды определяют как разность между общей и магниевой жесткостью.

Ход определения

К 100 *мл* исследуемой воды, отмеренной пипеткой в коническую колбу на 250 *мл*, приливают 1 *мл* специального буферного раствора и 10-15 *мл* 5%-го раствора оксалата аммония. При этом выпадает осадок оксалата кальция CaC_2O_4 , который отфильтровывают через плотный беззольный фильтр. Осадок на фильтре промывают 2 раза небольшими количествами холодной дистиллированной воды. Промывные воды присоединяют к фильтрату и определяют его жесткость: приливают к раствору 5 *мл* аммиачного буферного раствора, добавляют 6-7 капель раствора индикатора эриохрома черного T , титруют 0,05 *н* раствором трилона Б.

Магниевую жесткость воды $Ж_{Mg}$ рассчитывают по формуле:

$$Ж_{Mg} = \frac{N \cdot V_3 \cdot 1000}{V_1}, \text{ мг-экв/л} \quad (8)$$

где N - нормальность раствора трилона Б;

V_3 - объем раствора трилона Б, израсходованный на титрование исследуемой воды, мл;

V_1 - объем исследуемой воды, взятой для анализа, мл.

Кальциевую жесткость воды J_{Ca} вычисляют по формуле:

$$J_{Ca} = J_{общ} - J_{Mg} . \quad (9)$$

Содержание ионов кальция Ca^{2+} определяют по формуле:

$$Ca^{2+} = 20,04 * J_{Ca}, \quad (10)$$

а содержание ионов магния Mg^{2+} - по формуле:

$$Mg^{2+} = 12,16 * J_{Mg} , \quad (11)$$

где 20,04 и 12,16 - грамм-эквиваленты соответственно кальция и магния.

Результаты определения кальциевой и магниевой жесткости воды записывают в таблицу (форма 1).

Форма 1

Определение кальциевой и магниевой жесткости

Место отбора пробы воды	Содержание ионов, мг/л		Жесткость воды, мг-экв/л	
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Кальциевая	Магниевая

Вопросы

1. Каким образом определяется кальциевая жесткость воды?
2. Чем обусловлена щелочность воды?
3. Каким образом можно удалить временную жесткость воды?
4. Чем обусловлена постоянная жесткость воды?
5. В каких пределах допускается жесткость воды оборотных систем охлаждения промпредприятий?
6. На чем основан комплексонометрический способ определения общей жесткости воды?
7. Каким образом можно определить некарбонатную жесткость воды?
8. Единицы измерения жесткости и щелочности (в системе СИ и др.), их взаимосвязь.

Лабораторная работа 2

УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ ИЗВЕСТКОВО-СОДОВЫМ МЕТОДОМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомление с методиками и приобретение практических навыков качественного и количественного определения доз реагентов для умягчения воды. Ознакомление с методикой определения остаточной жесткости воды.

Приборы, посуда и реактивы

1. Стеклянная воронка;
2. Пипетки с оттянутыми концами, нестандартные;
3. Бюретка, ГОСТ 20292-74;
4. Штатив;
5. Конические колбы емкостью 250 мл;
6. Плоскодонные колбы емкостью 200, 250, 300, 500 мл;
7. 0,1 н раствор HCl;
8. Фенолфталеин (0.1% раствор);
9. Метил оранжевый;
10. Известковый раствор (1 мг/мл CaO);
11. Na₂CO₃ (5% раствор).

Общие положения

Умягчение воды - процесс понижения ее жесткости, обусловленной наличием солей кальция и магния.

В практике водоподготовки распространение получили следующие методы умягчения воды:

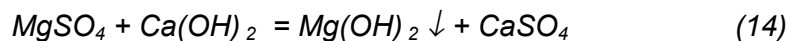
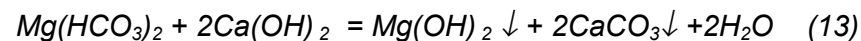
- 1). Умягчение воды известково-содовым методом;
- 2). Умягчение воды методом ионного обмена.

Известково-содовый метод умягчения воды является наиболее распространенным. Сущность метода заключается в введении в воду извести и соды.

Известь устраняет карбонатную жесткость, обусловленную наличием в воде гидрокарбонатов Ca и Mg, за счет образования гидроксида Mg и карбоната Ca, а магниевую жесткость

(часть некарбонатной жесткости, обусловленной наличием солей *Mg*) переводит в кальциевую жесткость.

Реакции, протекающие при обработке воды известью:

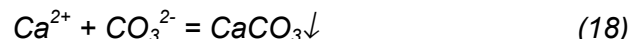
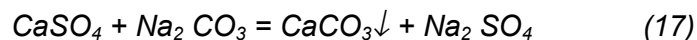
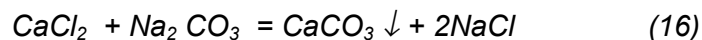


или в ионном виде:



Сода устраняет некарбонатную кальциевую жесткость воды благодаря образованию осадка карбоната кальция.

Реакции, протекающие при обработке воды содой:



При умягчении воды известково-содовым методом важно установить необходимые дозы извести и соды.

Определение дозы извести

В мерную колбу на 200 мл наливают пипеткой 50 мл известкового раствора, содержащего 1 мг/мл CaO, доливают до метки исследуемой водой и содержимое колбы взбалтывают. Затем раствор переливают в плоскодонную колбу объемом 300 мл, закрывают ее стеклянной воронкой и помещают на 5 минут в кипящую водяную баню (для укрупнения кристаллов выпавшего осадка). Раствор охлаждают до 20 °С и фильтруют через плотный фильтр в коническую колбу вместимостью 250 мл. Первыми порциями фильтрата ополаскивают колбу. Фильтрат

выливают. В коническую колбу на 250 мл отбирают пипеткой 50 мл профильтрованной жидкости, добавляют 2-3 капли фенолфталеина (раствор должен окраситься в розовый цвет) и прибавляют по каплям из бюретки 0,1 н раствор соляной кислоты до обесцвечивания раствора.

Объем известкового раствора V_{CaO} , необходимый для умягчения 150 мл исследуемой воды, вычисляют по формуле:

$$V_{CaO} = \frac{4 \cdot V_2 \cdot N \cdot \varepsilon_{CaO}}{C_{CaO}}, \text{ мл} \quad (19)$$

где V_2 - объем раствора соляной кислоты, израсходованной на титрование 50 мл фильтрата, мл;

N - нормальность раствора соляной кислоты;

C_{CaO} - концентрация известкового раствора, мг/мл;

ε_{CaO} - мг-эквивалент CaO (28 мг);

4 - коэффициент разбавления известкового раствора исследуемой водой.

Дозу оксида кальция D_{CaO} для умягчения 1 л исследуемой воды определяют по формуле:

$$D_{CaO} = \frac{V_{CaO} \cdot C_{CaO} \cdot 1000}{200 - V_1}, \text{ мг/л} \quad (20)$$

где $V_1 = 50$ - объем взятого для определения известкового раствора, мл;

200 - объем смеси исследуемой воды и известкового раствора, мл.

Определение дозы соды

В мерную колбу на 200 мл наливают пипеткой 100 мл исследуемой воды и определенный объем известкового молока (необходимый объем его установлен в предыдущем опыте). Взбалтывают содержимое колбы в течение 1-2 минут, добавляют 3 мл 5%-го раствора и доливают исследуемой водой до метки. После повторного взбалтывания содержимое мерной колбы выливают в плоскодонную колбу объемом 500 мл и помещают ее на 5 минут в кипящую водяную баню. Охлаждают

раствор до 20 °С и фильтруют. Затем отбирают пипеткой 100 мл фильтрата в коническую колбу вместимостью 250 мл и определяют количество остаточной соды в фильтрате титрованием 0,1 н раствором соляной кислоты в присутствии метилового оранжевого.

Объем раствора соды $V_{Na_2CO_3}$, необходимый для умягчения 100 мл исследуемой воды, вычисляют по формуле:

$$V_{Na_2CO_3} = V_3 - \frac{V_4 * N * \mathcal{E}_{Na_2CO_3}}{C_{Na_2CO_3}}, \text{ мл} \quad (20)$$

где V_3 - объем раствора соды, взятого для определения, мл;

V_4 - объем 0,1 н раствора HCl , израсходованной на титрование 100 мл фильтрата, мл;

N - нормальность раствора HCl ;

$\mathcal{E}_{Na_2CO_3}$ - мг-эквивалент соды (53 мг);

$C_{Na_2CO_3}$ - концентрация соды, мг/мл.

Дозу соды $D_{Na_2CO_3}$ для умягчения 1 л исследуемой воды определяют по формуле:

$$D_{Na_2CO_3} = \frac{V_{Na_2CO_3} * C_{Na_2CO_3} * 1000}{200 - (V_{CaO} + V_3)}, \text{ мг/л} \quad (21)$$

Определение остаточной жесткости

В мерную колбу на 250 мл наливают 200 мл исследуемой воды и определенные в предыдущих опытах объемы известкового

раствора $\left[\frac{V_{CaO} \cdot 200}{200 - V_1} \right]$, мл, и раствора соды $\left[\frac{V_{Na_2CO_3} \cdot 200}{200 - (V_{CaO} + V_3)} \right]$,

мл, доводят до метки дистиллированной водой, погружают колбу на 5 минут в кипящую водяную баню, охлаждают раствор до 20 °С и фильтруют через плотный складчатый фильтр. Отбира-

ют 100 мл фильтрата и определяют его общую жесткость комплексонометрическим методом.

Результаты записываются в таблицу (форма 2).

Форма 2

Результаты измерений и вычислений

Жесткость воды до умягчения, мг-экв/л		Доза извести	Доза соды,	Жесткость умягченной воды мг-экв/л	Примечание
карбонатная	некарбонатная	мг/л	мг/л		

Вопросы:

1. В чем заключается сущность реагентного метода умягчения воды?
2. На чем основан катионитный способ умягчения?
3. Условия применения термохимического метода умягчения.
4. Зависит ли и каким образом глубина умягчения от температуры воды?
5. Перечислите все известные способы реагентного умягчения.
6. Какие методы применимы для умягчения воды на хозяйственно-питьевые нужды?
7. В каких пределах может находиться жесткость воды, используемой для подпитки паровых котлов?
8. Предложите способ обработки воды с повышенной карбонатной жесткостью для последующего использования ее в качестве добавочной воды в оборотной системе охлаждения.
9. Назовите условия, при которых для умягчения воды достаточно введения в воду одной извести.
10. В каких случаях кроме извести для умягчения воды требуется введение соды?

Лабораторная работа 3

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ИОННООБМЕННОЙ ВОДОУМЯГЧИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомиться с принципом действия натрий-катионитовой установки и оценить эффективность ее работы. Установить влияние жесткости исходной воды на режим работы водоумягчительной установки.

Приборы, посуда и реактивы

1. Водоумягчительная установка;
2. Исходная вода объемом 15 л;
3. Бюретка, ГОСТ 20292-74;
4. Штатив;
5. Коническая колба емкостью 250 мл;
6. Плоскодонная колба емкостью 200 мл;
7. Аммиачный буферный раствор;
8. NaCl (10%-ный раствор, 10 л);
9. Трилон Б (0,05 н раствор);
10. Индикатор хром темно-синий, кислотный (раствор) или эриохром черный Т;

Общие положения

Ионнообменные методы умягчения обычно применяют для обработки подземных вод и вод поверхностных источников с мутностью не более 8 мг/л и цветностью не более 30°.

Самым простым из ионнообменных методов является натрий-катионитовый метод, заключающийся в фильтровании воды через слой сульфогля. При одноступенчатом натрий-катионировании общая жесткость воды может быть снижена до 0,1-0,05 мг-экв/л, при двухступенчатом - до 0,01 мг-экв/л.

Порядок выполнения работы

3.1. Определение жесткости исходной воды

Жесткость исходной воды $J_{исх}$ определяется по рассмотренной ранее методике (См. часть 1).

Определение следует повторить 2 раза и взять среднее значение жесткости исходной воды

Схема лабораторной установки

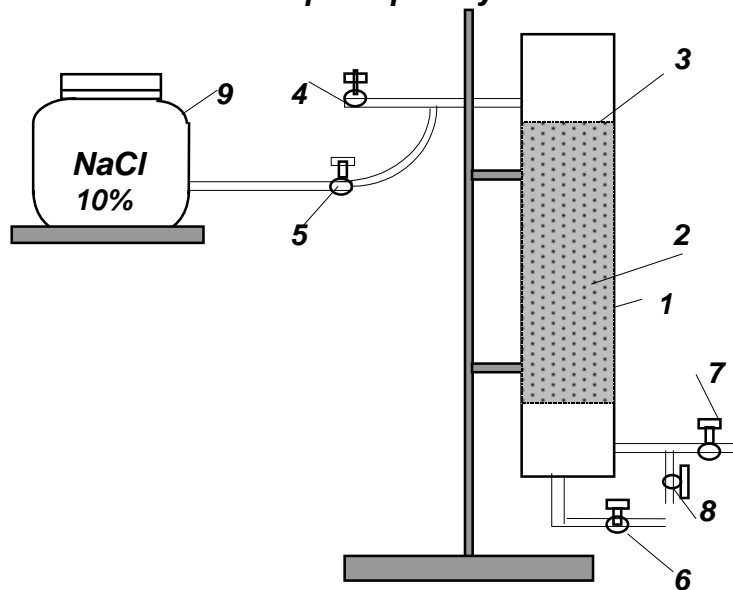


Рис. 1.

1 - корпус фильтра, $D = 110$ мм; 2 - сульфуголь; 3 - поддерживающие сетки; 4 - подача исходной воды; 5 - подача регенерационного раствора; 6 - спускная труба для полного опорожнения фильтра; 7 - подача воды для взрыхления загрузки; 8 - отвод умягченной воды; 9 - сосуд с раствором поваренной соли.

3.2. Пробное умягчение воды

Для проведения пробного умягчения необходимо исходную воду по трубопроводу 4 подать в верхнюю часть закрепленного на штативе фильтра 1 (рис.1). Умягченная вода будет отводиться по трубопроводу 8, при этом вентили на трубопроводах 5,6,7 должны быть закрыты.

3.3. Определение жесткости умягченной воды

В коническую колбу емкостью 200 мл отобрать пробу фильтрата и определить жесткость умягченной воды J_{ϕ} аналогично п.3.1.

3.4. Оценка эффективности работы На-катионитовой установки

Для оценки эффективности работы установки необходимо сопоставить величины жесткости исходной воды $J_{исх}$ и фильтрата J_{ϕ} .

Эффективность работы установки \mathcal{E} , % определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{J_{исх} - J_{\phi}}{J_{исх}} * 100, \% \quad (22)$$

Количество исходной воды Q , которое можно умягчить на лабораторной установке за один фильтроцикл (от регенерации до регенерации):

$$Q = \frac{\pi * D^2 * H * E}{4 J_{исх}}, \text{ м}^3 \quad (23)$$

где D - внутренний диаметр фильтровальной колонки, м;
 H - толщина слоя сульфогля в фильтровальной колонке, м;
 $E = 570$ - полная обменная емкость сульфогля, мг-экв/л;
 $J_{исх}$ - общая жесткость исходной воды, мг-экв/л.

3.5. Определение расхода поваренной соли для регенерации сульфогля

Количество поваренной соли G , требуемое для регенерации сульфогля в натрий-катионитовой установке определяется по формуле:

$$E_1 * \pi * D^2 * H * d_c$$

$$G = \frac{\dots}{4000}, \text{ кг} \quad (24)$$

где E_1 - рабочая обменная емкость катионита (сульфоугля), мг-экв/л;

$d_c = 200$ - удельный расход поваренной соли на регенерацию сульфогля, мг на 1 мг-экв рабочей обменной емкости.

Рабочая обменная емкость E_1 , определяется по формуле:

$$E_1 = a * b * E - 0,5 q * Ж_{исх}, \text{ мг-экв/л} \quad (25)$$

где $a = 0,8-0,85$ - коэффициент эффективности регенерации;

$b = 0,8-0,90$ - коэффициент, учитывающий снижений обменной способности катионита;

$q = 4$ - удельный расход на промывку катионита, м³ на м³ катионита, принимается в соответствии с нормативными требованиями [1].

3.6. Регенерация и промывка сульфогля

Для регенерации и промывки катионита необходимо произвести его взрыхление обратным током воды из водопровода по трубопроводу **7** (рис.1) в течение *10-15 минут*. Затем произвести регенерацию пропуском *10%-ного* раствора поваренной соли из бака **9** по трубопроводу **5** в течение *15-20 минут*.

После регенерации катионит отмывают от продуктов регенерации ($CaCl_2$, $MgCl_2$) и остатков поваренной соли. Отмывка производится исходной водой из трубопровода **4** в течение *30-40 минут*. Сброс продуктов регенерации осуществляется через трубопровод **6**.

3.7. Оценка эффективности работы установки после регенерации

После регенерации и промывки сульфогля повторить исследования, определить эффективность умягчения и сопоставить ее с эффективностью работы установки до регенерации загрузки.

Результаты исследования работы ионнообменной Na-катионитовой установки представить в таблице (форма 3).

Результаты исследования работы Натрионитовой установки

Характеристика воды	Жесткость исходной воды мг-экв/л	Жесткость фильтрата $J_{\text{ф}}$, мг-экв/л		Эффективность работы установки ξ , %	
		до регенерации загрузки	после регенерации загрузки	до регенерации загрузки	после регенерации загрузки

Вопросы:

1. В чем заключается сущность реагентного Натрионитового метода умягчения воды?
2. На чем основан ионообменный способ умягчения?
3. Условия применения ионнообменных методов умягчения.
4. От каких факторов зависит эффективность работы натрий-катионитовой установки для умягчения воды?
5. Каким образом производится регенерация сульфогля?
6. Что понимается под рабочей обменной емкостью катионита?
7. Изменяется ли обменная емкость катионита с течением времени?
8. Изменяется ли эффективность работы Натрионитовой установки после регенерации загрузки по сравнению с первоначальной эффективностью?

Лабораторная работа 4

КОРРЕКТИРОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ВОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ЗАМКНУТЫХ ЦИКЛАХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомление с технологией глубокого умягчения воды для производственных циклов.

Приборы, посуда и реактивы

1. Стеклянные колонки;
2. Пипетки с оттянутыми концами, нестандартные;
3. Бюретка, ГОСТ 20292-74;
4. Штатив;
5. Коническая колба емкостью 250 мл;
6. Плоскодонная колба емкостью 200 мл;
7. NaOH (4%-ный раствор);
8. NaOH (5%-ный раствор);
9. H -катионит;
10. OH -анионит;
11. NaCl (4%-ный раствор);
12. Трилон Б (0,05 н раствор);
13. Метиловый оранжевый (раствор);
14. Роданид калия.
15. HCl (0,1 н раствор);

Общие положения

После удаления органических веществ воду последовательно фильтруют через H -катионитовый и OH -анионитовый фильтры. H -катионирование проводят до проскока в фильтрат ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , а OH -анионирование до достижения значения pH фильтрата 6,8-7, а если pH не понижается ниже 6,8 - до проскока в фильтрат ионов SO_4^{2-} . После H -катионирования воду продувают воздухом в течение 10 минут для удаления углекислого газа, образующегося в воде при H -катионировании гидрокарбонатов кальция и магния.

Вода пропущенная через *H*-катионитовый и *OH*-анионитовый фильтры, не содержит ионов жесткости и практически не содержит сульфатов.

Такая вода является термостабильной и может использоваться в замкнутых циклах водоснабжения.

Подготовительные работы

Подготовка катионита *KУ-2* производится следующим образом: навеску катионита *20 г* помещают в стеклянный стакан, заливают смесью *4%-ных* растворов *NaCl* и *HCl* и оставляют на *2 часа*. По истечении этого времени набухший катионит переносят в колонку и отмывают его от ионов железа фильтрованием через слой катионита соляной кислотой. Контролируют их наличие роданидом калия.

Для перевода катионита в *H*-форму через него пропускают *5%-ный* раствор *HCl* до тех пор, пока концентрации этого раствора на входе и выходе из колонки не станут одинаковыми. В качестве анионитов применяют только слабоосновные смолы *АН-22* и *АН-31*. Слабоосновная смола *АН-22* как и катионит *KУ-2*, представляет собой полимер стирола и дивинилбензола с активными группами $-NH_3$ и $=NH$. Это коричневые зерна размером *0,3-1,5 мм*. Обменная емкость *АН-22* по *0,1н* раствору *HCl* составляет примерно *7 мг-экв/г*.

Анионит *АН-22* готовят к использованию так: заливают его дистиллированной водой и оставляют на *1-2 часа*. Набухший анионит помещают в колонку и обрабатывают смесью *4%-ных* растворов *NaCl* и *NaOH* до тех пор, пока концентрации этой смеси на входе и выходе из колонки не станут одинаковыми. Затем анионит промывают *5%-ным* раствором *HCl* для удаления ионов железа. Полноту их удаления контролируют, используя раствор роданида калия или аммония. Для перевода анионита в *OH*-форму через него пропускают *5%-ный* раствор *NaOH* до тех пор, пока концентрации этого раствора на входе и выходе из колонки станут одинаковыми, а потом отмывают анионит дистиллированной водой до нейтральной реакции.

Слабоосновные аниониты способны к ионообмену только в кислой среде, поэтому удалять из воды ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} в этой работе надо *H*-катионированием.

Ход определения

Предварительно определяют общую жесткость и щелочность исследуемой воды. Навеску набухшего катионита КУ-2 массой 20 г (в пересчете на сухое вещество) в *H*-форме помещают в колонку и фильтруют через слой катионита исследуемую воду со скоростью $10 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{час}$ до достижения в фильтрате концентрации ионов жесткости 0,5 мг-экв/л (10 мг/л Ca^{2+} - пропуск ионов жесткости).

Объемную скорость фильтрования рассчитывают по формуле:

$$q = W * S * 1,66, \quad (26)$$

где *S* - площадь поперечного сечения колонки;
W - скорость фильтрования;
 1,66 - коэффициент пересчета.

Отбирают пробы фильтрата объемом по 100 мл и определяют их кислотность (щелочность) и жесткость. Результаты опыта по *H*-катионированию записывают в таблицу (форма 4).

Форма 4

Результаты *H*-катионирования

Номер пробы	Объем фильтрата, мл	Кислотность фильтрата, мг-экв/л	Жесткость фильтрата мг-экв/л	Примечание

Отмечают объем фильтрата до проскока ионов жесткости $V_{пр}$, л и вычисляют обменную емкость *H*-катионита $E_{пр}$, мг-экв/г по формуле:

$$E_{пр} = V_{пр} * C_{исх} / M, \quad (27)$$

где $C_{исх}$ - исходное содержание ионов жесткости, мг-экв/л;
 M - навеска воздушно-сухого катионита, г.

Все пробы, кислотность которых превышает 0,2 мг-экв/л, смешивают, определяют pH , среднюю кислотность, содержание ионов жесткости и фильтруют через анионит в OH -форме, помещенный в другой колонке (20 г воздушно-сухого анионита). Скорость фильтрования такая же. Отбирают пробы фильтрата объемом по 100 мл и определяют их pH и содержание ионов SO_4^{2-} . Фильтрование проводят до достижения значения pH фильтрата 6,8-7,0, а если pH не понижается ниже 6,8 - до проскока SO_4^{2-} , что соответствует концентрации ионов SO_4^{2-} 0,5 мг-экв/л (24 мг/л SO_4^{2-}).

Результаты опыта по OH -анионированию записывают в таблицу (форму 5).

Форма 5

Результаты OH -анионирования

Номер пробы	Объем фильтрата, мл	pH фильтрата	Содержание ионов SO_4^{2-} , мг-экв/л	Примечание

Вопросы:

1. При H -катионировании гидрокарбонатов кальция и магния в воде образуется углекислый газ. Каким образом он удаляется из воды?
2. Является ли стабильной вода после ее обработки на ионитовых фильтрах?
3. Приведите примеры известных Вам анионитов и катионитов.
4. Какие процессы протекают в воде при ее пропускании через анионитовый фильтр?
5. Какие процессы протекают в воде при ее пропускании через катионитовые фильтры?
6. Как определяется объемная скорость фильтрования?

Лабораторная работа 5

РЕГЕНЕРАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ Н-КАТИОНИТОВОГО И ОН-АНИОНИТОВОГО ФИЛЬТРОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомиться с некоторыми способами регенерации *H*-катионитовых и *ОН*-анионитовых фильтров.

Приборы, посуда и реактивы

1. Стекланные колонки;
2. Отработанный *H*-катионит;
3. Отработанный *ОН*-анионит;
4. Бюретка, ГОСТ 20292-74;
5. Штатив;
6. Коническая колба емкостью 250 мл;
7. Плоскодонная колба емкостью 200 мл;
8. 0,1 н раствор NaOH;
9. Фенолфталеин (0,1% раствор).
10. HNO₃ - 25 %;
11. NH₄OH - 10%;
12. Хромат калия - 10%;
13. Нитрат серебра 0,1 н;
14. Трилон Б 0,05 н;
15. Раствор BaCl₂ + MgCl₂;
16. Эриохром черный Т.

Общие положения

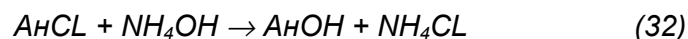
Отработанный *H*-катионитовый фильтр регенерируют тремя порциями (по 0,7 л/л набухшей смолы) 25 %-ного раствора азотной кислоты, а отработанный *ОН*-анионитовый фильтр - тремя порциями такого же объема 10%-ного раствора аммиака.

Затем аниониты промывают двумя порциями (по 0,5 л/л набухшей смолы) дистиллированной воды.

В результате реакций, протекающих при регенерации отработанного *H*-катионитового фильтра, отработанный регенерационный раствор насыщается нитратами кальция, магния, натрия и азотной кислотой.



При регенерации отработанного *ОН*-анионитового фильтра отработанный регенерационный раствор насыщается сульфатом и хлоридом аммония, а также содержит свободный аммиак:



После нейтрализации отработанных регенерационных растворов соответственно аммиаком и азотной кислотой в них образуется некоторое количество NH_4NO_3 . Эти растворы можно использовать в качестве удобрений.

Ход работы

Рассчитывают объем набухшего, отработанного ионита в колонках (по высоте и площади их сечения). Он составляет 40 мл. Затем через отработанный катионит со скоростью $2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$, последовательно пропускают три порции 25%-ного раствора азотной кислоты, а через катионит - три порции 10%-ного раствора аммиака. Объем каждой порции регенерационного раствора составляет примерно 0,7 л/л набухшего ионита (около 28 мл). Каждую порцию собирают отдельно. В растворах, которыми регенерировали катионит, определяют кислотность, содержание ионов жесткости, а которыми регенерировали анионит - щелочность, содержание ионов SO_4^{2-} и Cl .

На основании полученных данных рассчитывают количество аммиака, необходимого для нейтрализации азотной кислоты в первой порции отработанного регенерационного раствора (после регенерации катионита), и количество азотной кислоты, необходимой для нейтрализации свободного аммиака в первой

порции отработанного регенерационного раствора (после регенерации анионита).

Результаты опытов записывают в таблицу (форма 6).

Форма 6

**Результаты регенерации отработанных
H-катионитовых и OH-анионитовых фильтров**

Номер порции отработанного регенерационного раствора	Показатели отработанных растворов после регенерации, мг-экв/л					Рассчитанное количество для нейтрализации, мг-экв/л	
	катионита			анионита		аммиака	азотной кислоты
	кислотность	жесткость	щелочность	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		

Вопросы:

1. Назовите основные стадии обработки воды, предназначенной для использования в замкнутых циклах водоснабжения.

2. Обоснуйте необходимость удаления органических веществ из воды при подготовке ее к использованию в замкнутом цикле промышленного водоснабжения.

3. Напишите качественный состав удобрений, которые образуются при регенерации катионита азотной кислотой, если в воде до ионного обмена содержались соли кальция, магния, натрия.

4. Напишите качественный состав удобрений, которые образуются при регенерации слабоосновного анионита аммиаком после нейтрализации регенерационного раствора азотной кислотой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительные нормы и правила. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. - Введ. 01.01.1985. - М.: Стройиздат, 1985. - 134 с.
2. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. - Киев: Віща школа, 1981. - 328 с.
3. Химия и микробиология воды: Практикум / Л.А.Кульский, Т.М.Левченко, М.В.Петрова. - Киев: Віща школа, 1987. - 175 с.
4. Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастальский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. - М.: Высшая школа, 1984. - 368 с.