

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра химии

ПРИРОДНАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ВОДА

Методические указания

Санкт-Петербург
2003

В методических указаниях рассмотрены показатели качества природной и технической воды, виды природных вод, их состав. Особое внимание уделяется методам водоподготовки, применяемым в технике для получения технической воды.

Указания предназначены для студентов Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, обучающихся на технических специальностях.

ГРИГОРЬЕВА
Нина Дмитриевна

ТАЛАНОВА
Эльвира Исаковна

ГРИЦКЕВИЧ
Анна Игоревна

ПРИРОДНАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ВОДА

Методические указания

Вода – самое распространенное вещество на поверхности Земли (общий запас воды составляет $1.4 \cdot 10^{18}$ тонн). Она является наиболее важным и наименее понятным растворителем в природе.

Вода – оксид водорода, имеющий простейшую формулу H_2O . Однако молекулы воды сильно полярны, и между ними возникает сильное межмолекулярное взаимодействие – водородные связи. Их существование приводит к образованию ассоциатов – непрочных соединений переменного состава: $(H_2O)_n$ ($n = 1 - 4$, если $n=1$ – пар, $n=2$ – жидкость, $n=3-4$ – твердое тело). Образование ассоциатов обуславливает аномальные свойства воды:

Плотность воды возрастает при понижении температуры только до $+4^\circ C$ и достигает при этой температуре максимального значения – $1г/см^3$ (поэтому в водоемах холодная вода опускается вниз). При понижении температуры от $+4^\circ C$ до $0^\circ C$ плотность немного уменьшается, а при замерзании она резко падает; плотность льда $0.91г/см^3$, т.е. он легче воды.

Температуры плавления ($t_{пл}$) и кипения ($t_{к}$) воды гораздо выше, чем у аналогичных соединений (H_2S , H_2Se – газы), поскольку сильное межмолекулярное взаимодействие затрудняет переход твердое тело → жидкость → газ.

Вода обладает максимальной среди жидкостей теплоемкостью. Благодаря этому она оказывает огромное влияние на климат и погоду на Земле.

Вода обладает отличной растворяющей способностью. Поскольку ее молекулы полярны, полярные вещества (соли, кислоты, щелочи) при растворении в ней подвергаются диссоциации, т.е. распадаются на ионы.

Природная вода

Природная вода – раствор многих веществ в воде. В природной воде содержатся соли, газы, органические вещества и т.д. Качество природной воды определяют путем химического анализа. Основными характеристиками природной воды являются ее соленость и жесткость.

Под соленьостью природных вод понимают массу солей (в г), содержащихся в 1л природной воды. Содержание солей определяется составом грунтов, на которых расположен водоем. Из растворенных солей наиболее распространены сульфаты и хлориды натрия, кальция и магния.

По содержанию солей природные воды делятся: на пресные, соленость которых не превышает 1 г/л, на минерализованные, содержащие от 1 до 50 г/л, и на рассолы – свыше 50 г/л солей. На Земле содержится только 3% пресной воды, 97% - вода соленая.

Жесткость воды определяется количеством содержащихся в воде ионов кальция и магния. Она выражается в мэкв/л. Жесткость воды, обусловленная присутствием гидрокарбонатов кальция и магния ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$), называется карбонатной (устранимой, временной). Сульфаты, хлориды, гидросиликаты (CaSO_4 , MgSO_4 , CaCl_2 , MgCl_2 , $\text{Ca}(\text{HSiO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HSiO}_3)_2$) определяют некарбонатную (неустранимую, постоянную) жесткость. Вода считается мягкой, если ее жесткость менее 4 мэкв/л. У воды средней жесткости жесткость колеблется от 4 до 8 мэкв/л, у жесткой воды – от 8 до 12 мэкв/л. Если жесткость воды превышает 12 мэкв/л, то такая вода – очень жесткая. Масса 1 мэкв Ca^{2+} составляет 20 мг, 1 мэкв Mg^{2+} составляет 12 мг.

Щелочность воды обусловлена присутствием в воде солей слабых кислот и сильных оснований, которые в результате гидролиза создают щелочную среду:



Газы (O_2 , CO_2 , N_2 и др.) появляются в природной воде вследствие растворения атмосферных газов и химических процессов, протекающих в водоемах. В 1л природной воды содержится от 2 до 8 мл кислорода, т.е. его в 160 раз меньше, чем в воздухе. Однако относительное содержание O_2 в воде больше:

	$\text{C}(\text{O}_2) : \text{C}(\text{N}_2)$
воздух	1 : 4
вода	1 : 2

где $\text{C}(\text{O}_2)$, $\text{C}(\text{N}_2)$ – концентрации соответствующих газов.

Хорошо растворяется в воде углекислый газ, благодаря взаимодействию с водой: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3 = \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$.

Различают три вида природных вод: атмосферная влага, материковые воды и морская вода.

Атмосферная влага (дождевая вода, снег, лед) содержит наименьшее количество примесей – это только пыль и растворенные газы.

Материковые воды (реки, озера) содержат вещества, попадающие в них из грунтов и почв. Так минеральный состав речной воды определяется химическим составом пород, слагающих бассейн реки, рельефом, климатом. Материковые

воды делятся на поверхностные и подземные. Поверхностные воды содержат от 0.05 до 1.6 г/л солей. В основном это катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ и анионы HCO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^- . В материковых водах чаще всего наблюдается соотношение концентраций анионов: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ и катионов: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$. Особенно богаты Ca^{2+} и Mg^{2+} (т.е. являются жесткими) воды рек (озер), протекающих по известковым породам (CaCO_3 – известняк, $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ – доломит). По значениям солености воды рек делятся следующим образом:

малая соленость – до 0.2 г/л;
 средняя - 0.2 – 0.5 г/л;
 повышенная - 0.5 – 1 г/л;
 высокая - более 1 г/л.

Большинство рек нашей страны отличаются невысокой соленостью и содержанием Ca^{2+} и HCO_3^- . Вода большинства рек мира имеет малую и среднюю соленость (Таблице1).

Таблица 1

Соленость некоторых рек

Река	Соленость,г/л	Река	Соленость,г/л
Нева	0.046	Москва	0.358
Нил	0.120	Темза	0.358
Миссисипи	0.210	Дунай	0.331
Северная Двина	0.247	Волга	0.458
Рейн	0.281	Озеро Байкал	0.2

Подземные воды отличаются высокой минерализацией, т.е. высоким содержанием солей.

Морская вода (воды морей и океанов) представляет собой полностью ионизированный раствор солей (78% из которых составляет хлорид натрия NaCl), содержащий немного взвешенных частиц, газов и органических веществ. В морской воде найдено 70 из 106 элементов. Главными особенностями морской воды являются ее высокая минерализация (средняя соленость – 35 г/кг) и слабощелочная реакция (рН изменяется в пределах от 7.6 до 8.4). В таблице 2 приведен средний солевой состав морской воды.

Таблица 2

Средний солевой состав морской воды.

Соль	Содержание, %	Соль	Содержание, %
NaCl	78.32	CaSO ₄	3.94
MgCl ₂	9.41	KCl	1.69
MgSO ₄	6.4	прочие соли	0.22

Соленость морской воды характеризуется промилле и определяется суммарной массой всех солей, содержащихся в 1 кг воды. 1‰ (один промилле) = 1г солей/1кг морской воды. Соотношение концентраций катионов в морской воде: $Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ и анионов $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$.

Соли в океан поступают с материковым стоком, при растворении береговых пород и донных осадков. Соленость морской воды изменяется от 32 до 39‰. Внутренние моря с большим притоком пресной воды из впадающих рек имеют меньшую соленость. Моря, в которых испарение преобладает над количеством выпадающих осадков, имеют повышенную соленость (Красное море – 40-41‰). В Балтийском море выпадает много осадков, а испарение невелико, кроме того, в него впадает около 200 рек, поэтому соленость его мала (7‰). Из океанов самой малой соленостью отличается Северный Ледовитый океан (34.1‰). Соленость поверхностных вод Тихого океана - 34.85‰, Атлантического океана – 35.3‰. Соленость ряда морей приведена в таблице 3.

Таблица 3

Соленость некоторых морей

Море	Соленость, ‰	Море	Соленость, ‰
Средиземное	39.5	Азовское	10-12
Черное	17-18	Балтийское	6-8
Каспийское	13	Финский залив	2-5
Мертвое море	310		

Слабощелочная среда морской воды обусловлена содержанием небольшого количества солей, образованных сильными основаниями и слабыми кислотами (Na₂CO₃, NaH₂BO₃, NaH₂PO₄, NaHS и др.), при гидролизе которых образуется щелочь. Величина pH в Мировом океане лежит в пределах от 7.6 до 8.4. В изолированных морях пределы изменения pH несколько шире. Например, в Балтийском море pH изменяется от 7 до 8.6.

Растворенные газы в морской воде появляются в результате растворения атмосферного воздуха, биологических и химических процессов, протекающих в толще воды и на дне океана. Содержание кислорода в морской воде достигает 12мг/кг, причем наиболее насыщены им поверхностные воды (глубиной до 200м).

Увеличению содержания кислорода способствуют фотосинтез растений и волнение морской поверхности. Диоксид углерода взаимодействует с водой, поэтому содержание его в морской воде в 15 раз больше, чем кислорода. Сероводород H_2S образуется в результате деятельности сульфатовосстанавливающих бактерий и разложения сераорганических соединений в отдельных районах морей и океанов (Черное море, впадины Красного и Балтийского морей).

Техническая вода

Техническую воду получают из природной путем удаления растворенных в ней веществ (естественных примесей), вредных в данном конкретном производстве, а также введением органических или неорганических веществ (присадок), улучшающих технологические свойства воды. Для каждого вида технической воды существуют определенные нормы на допустимые концентрации примесей.

Качество технической воды контролируется более чем по 20 показателям. Показатели качества воды – совокупность свойств, определяющих пригодность воды для конкретных технических целей. Основными показателями качества воды являются: солесодержание, жесткость, содержание иона хлора Cl^- , щелочность, pH, содержание коррозионно-агрессивных газов (O_2 , CO_2).

Котловая вода – вода, используемая при работе парогенератора. Наиболее тонкую очистку проходят воды, предназначенные для парогенераторов высокого давления и судовых ядерных энергетических установок (СЯЭУ). Нормы качества воды для СЯЭУ приведены в таблице 4.

Таблица 4

Нормы качества воды для СЯЭУ

Показатель	Максимально допустимая величина
Солесодержание	До 0,5 мг/л
Содержание Cl^-	0,02 мг/л
Жесткость	0,5 мкг-экв/л
Содержание кислорода	0,015 мг/л
pH	9 – 9,5

Растворенные в воде вещества могут вызывать те или иные неполадки в работе энергетического оборудования. В основном это связано с образованием накипи и продуктов коррозии.

Солесодержание – условный показатель, характеризующий содержание в воде растворенных электролитов, выражается в мг хлорида натрия (NaCl) в литре воды, эквивалентного измеренной величине электрической проводимости воды. Солесодержание характеризует степень очистки воды от неорганических примесей.

Содержание ионов Cl⁻ в технической воде регламентируется, поскольку они ускоряют коррозию.

Измерение pH позволяет осуществлять быстрый контроль за щелочностью используемой воды. В котловой воде поддерживается pH в пределах 9-10, т.к. в этих условиях сталь наиболее устойчива к коррозии.

Коррозионно-агрессивные газы (O₂, CO₂) вызывают коррозию металлов: кислород отличается высокой окислительной способностью, а при растворении в воде CO₂ образуется кислота. Поэтому их содержание в воде не должно превышать определенных пределов. Так концентрация кислорода не должна превышать 0.5мг/л.

Жесткость (содержание солей Ca²⁺ и Mg²⁺) регламентируется в котловой воде, т.к. в присутствии солей кальция и магния поверхность нагревательных приборов покрывается накипью. При работе парогенераторов, различной теплообменной аппаратуры и в некоторых других случаях используемая вода не является химически чистой, т.к. содержит незначительные количества растворенных веществ. Из-за кипения и многократного испарения воды концентрация ионов в воде все время возрастает. Это приводит к образованию твердой фазы. Труднорастворимые в воде вещества, переходя из раствора в твердую фазу, могут образовывать накипь – отложения на поверхностях нагрева или шлам – взвесь, плавающую в объеме воды. Наличие на стенках трубы или котла накипи приводит к ухудшению теплопроводности оборудования и, вследствие этого, к снижению его технико-экономических показателей. Так, появление слоя накипи толщиной 0.16-0.32 мм снижает производительность испарителя на 20-25%. Если накипь очень плотная, то это может привести сначала к перегреву, а затем к перегосу труб. Это ухудшает механические свойства металла и, в конечном результате, вызывает взрыв.

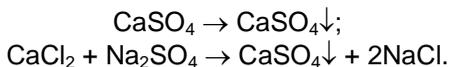
Рассмотрим состав и условия образования накипи. Твердая фаза из солевого раствора образуется тогда, когда концентрация ионов достаточно велика и превышает значение произведения растворимости (ПР), что зависит от природы вещества и температуры. В первую очередь из раствора выделяются соли, обладающие меньшей растворимостью. Так как тонкий слой жидкости, соприкасающийся с поверхностью трубы, всегда является более концентрированным раствором, чем объем жидкости, процесс накипеобразования происходит именно на поверхностях металла. Поскольку все процессы накипеобразования ускоряются с повышением температуры, то на горячих поверхностях они протекают быстрее.

Карбонатная накипь появляется при разложении растворимых в воде гидрокарбонатов:

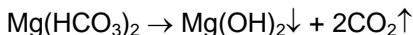


Карбонатная накипь формируется в виде плотных кристаллических отложений на поверхностях нагрева.

Сульфатная накипь обладает большой твердостью и плотностью. Ее образование обусловлено уменьшением растворимости сульфата кальция при высоких температурах (рис.2):



Магниева накипь является результатом разложения гидрокарбоната:



и высокотемпературного гидролиза солей:



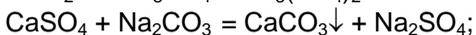
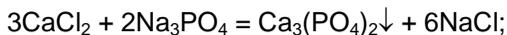
Необходимо отметить, что образовавшаяся при гидролизе кислота ускоряет коррозию котлового оборудования.

Силикатные накипи (CaSiO_3 и MgSiO_3) возникают в присутствии в воде растворимого силикат-аниона. Они имеют низкую теплопроводность. Пропитанные маслом, они плохо сцепляются с поверхностью, образуя отслаивающуюся накипь.

В целях борьбы с накипью применяют внутрикотловую обработку воды. Для этого в котловую воду вводят вещества (присадки), которые превращают накипеобразующие соединения в безвредные взвешенные частицы – шлам, а также замедляют коррозию котлов. Наиболее распространенными веществами, вводимыми в котловую воду, являются: фосфат натрия Na_3PO_4 , карбонат натрия Na_2CO_3 , силикат натрия Na_2SiO_3 и др. При этом

реакция образования шлама протекает в объеме жидкости. Шлам не кристаллизуется на поверхностях нагрева. Периодически его выводят из котла с продувочной водой. Для внутрикотловой обработки широко применяют трилон Б. Многие вещества, предотвращающие накипеобразование, могут содержать некоторое количество натуральных органических веществ, например, танин, лигнин. Могут быть использованы даже полимеры.

Образование шлама в котлах протекает по следующим реакциям:



Таким образом, тщательная подготовка котловой воды предотвращает образование накипи, уменьшает скорость коррозии и сводит к минимуму образование шлама.

Питьевая вода должна быть безвредна для человека, иметь жесткость не более 7-10мэкв/л, pH = 6.5-8.5 и обладать хорошими органолептическими свойствами. Требования к питьевой воде регламентируются ГОСТ 2872-82 «Вода питьевая». При подготовке питьевой воды природную воду фильтруют и обеззараживают. Нужно помнить, что:

-дистиллированная вода при систематическом применении обессоливает организм человека, ухудшая здоровье, ее нужно обогащать солями.

-при уменьшении количества воды в организме человека на 1-2% возникает жажда, на 5% - галлюцинации, на 14-15% - смерть.

Водоподготовка

Водоподготовка – это совокупность методов обработки воды для приведения ее качества в соответствие с требованиями потребителей. Устранение жесткости называют умягчением. Выбор метода умягчения определяется исходной жесткостью воды, необходимой глубиной умягчения и экономическими соображениями. Если вода очень жесткая сначала используют реагентный метод. Реагентный метод состоит в добавлении реагентов, с которыми катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} образуют нерастворимые соединения и выпадают в осадок. Этот осадок отфильтровывают, после чего воду используют для питания котлов или в производстве. Для осаждения ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} используют известь, соду, фосфаты и т.д. (Приложение. Таблица

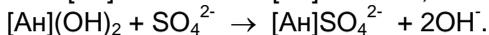
3). Реагентный метод дешевый, но умягчение воды, достигаемое при этом (0.2-0.4мэкв/л), часто не удовлетворяет потребителя. Воду после него подвергают дальнейшему умягчению (дистилляция, иониты) до 0.01мэкв/л.

Ионнообменные смолы (иониты). Принцип действия ионитных фильтров основан на способности некоторых нерастворимых в воде ВМС (высокомолекулярных соединений) обменивать содержащиеся в них ионы на ионы контактирующего с ними водного раствора. Иониты делятся на катиониты и аниониты. Катиониты задерживают катионы, таким образом умягчают воду (до 0.01- 0.02мэкв/л). Аниониты задерживают анионы. Вода, пропущенная через катионит и анионит, является обессоленной.

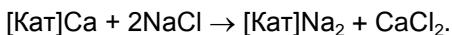
При прохождении воды через катионный фильтр содержащиеся в ней катионы-накипеобразователи Ca^{2+} и Mg^{2+} заменяются эквивалентным количеством катионов натрия (Na-катионит) или водорода (H-катионит):



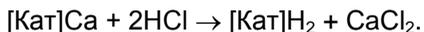
При фильтровании через слой анионита происходит замена анионов солей жесткости (Cl^- , SO_4^{2-}) на эквивалентное количество ионов OH^- :



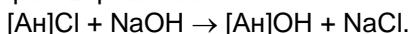
Когда иониты насытятся ионами солей и перестанут в должной мере поглощать ионы из раствора, производят их регенерацию. Для регенерации Na-катионита используют 5-10% раствор NaCl:



H-катионит регенерируют 2-5% раствором соляной или серной кислоты:



Для удаления ионов Cl^- и SO_4^{2-} из анионита его промывают 2-5% раствором NaOH:



В качестве ионитов используются алюмосиликаты, сульфурголь, синтетические ионообменные смолы (катиониты КУ-1 и КУ-2, анионит АВ-17 и др.). На судах для умягчения питательной воды чаще всего используют Na-катионит. В электронной промышленности для изготовления полупроводниковых приборов обессоленную воду получают последовательным фильтрованием через H-катионит, а затем через OH-анионит.

В последние годы в быту получили широкое распространение фильтры для очистки питьевой воды, в которых используются различные иониты. При использовании бытовых фильтров необходимо внимательно ознакомиться с инструкцией по их эксплуатации и своевременно заменять отработавший картридж, загрязненный поглощенными из воды примесями.

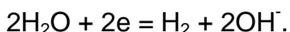
Дистилляция. При испарении соленой воды образуется пресный пар. Его конденсируют и получают пресную воду. Для понижения температуры кипения воды процесс ведут в вакууме. В жарких странах возможно использование гелиоопреснения, при котором воду нагревают за счет солнечной энергии. Но недостатками метода являются и небольшая производительность (большие площади) и инертность (начинают работать не ранее, чем через 2 часа после восхода солнца).

Для опреснения – получения питьевой воды путем частичного обессоливания морских или подземных вод – часто используют электродиализ и метод обратного осмоса.

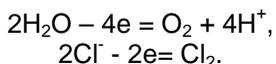
Электродиализ - это электрохимический способ обессоливания воды, основанный на использовании явления электролиза. В среднее пространство электролизера (рис.1) ограниченное полупроницаемыми мембранами, заливают соленую воду. Полупроницаемые мембраны представляют собой тонкие пластины, способные пропускать либо только катионы, либо только анионы. Движение катионов (положительно заряженных частиц) через катионитовую мембрану усиливается за счет отрицательного полюса источника тока (катода), установленного за катионитовой мембраной. Движение анионов (отрицательно заряженных частиц) усиливается за счет положительного полюса источника тока (анода), установленного за анионитовой мембраной. В среднем пространстве электродиализера получается обессоленная вода.

Рис. 1. Схема электродиализатора.

В процессе опреснения на катоде (-) будет происходить восстановление воды, поскольку катионы Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , содержащиеся в соленой воде, не восстанавливаются из водных растворов:



На аноде (+) происходит окисление воды и анионов хлора:



Электродиализ пригоден для обессоливания высокоминерализованных вод, содержащих солей до 30 г/л.

Обратный осмос (гиперфльтрация) заключается в фильтровании воды под давлением 2-10 мПа через полупроницаемые мембраны, которые пропускают воду, но задерживают ионы солей и молекулы органических соединений (рис. 2).

Рис.2. Обессоливание воды с помощью обратного осмоса.

Скорость проникновения воды через мембрану можно выразить формулой

$$v = K(p - p_{\text{осм}}),$$

где p - рабочее давление, $p_{\text{осм}}$ - осмотическое давление, K - константа мембраны.

Основной частью обратноосмотического аппарата являются полупроницаемые мембраны, которые изготавливают из полимеров, ацетат целлюлозы, пористого стекла, графитов, металлической фольги. Обратный осмос является наиболее экономичным методом опреснения воды.

В таблице 5 сравниваются различные методы водоподготовки.

Таблица 5

Сравнительная характеристика методов водоподготовки

Метод водоподготовки	Исходное допустимое солесодержание	Остаточное солесодержание
Реагентный		0.2-0.4 мэкв/л
Дистилляция	>10 г/л (>30 мэкв/л)	1-50 мг/л (0.01-0.02 мэкв/л)
Ионный обмен	<3 г/л	15-150 мг/л)0.01-

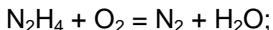
		0.02 мэкв/л)
Электродиализ	2.5-15 г/л	0.5-1 г/л
Обратный осмос	3-3.5 г/л	0.3-1 г/л

* - в скобках приведены данные по жесткости и умягчению.

Удаление из воды растворенных газов проводится методами химической и термической деаэрации.

Термическая деаэрация основана на понижении растворимости газов при повышении температуры. Поэтому, для удаления растворенных газов исходная вода подогревается до кипения. Термической деаэрацией содержание растворенного кислорода может быть снижено до 0.03 мг/л. Когда допустимая концентрация кислорода должна быть меньше, очистку воды проводят методами химической деаэрации:

- гидразиновый метод – в деаэрируемую воду вносят порошок гидразина N_2H_4 :



Образующиеся при этом продукты безопасны с точки зрения коррозии. Однако сам гидразин весьма токсичен.

- натрийсульфатный метод – в результате реакции



Снижается содержание кислорода. При этом происходит повышение солесодержания в деаэрируемой воде, что способствует образованию шлама или отложению сульфатной накипи.

- ионитовый метод – основан на фильтрации воды через зерна специальных ионитов, на поверхности которых протекают окислительно-восстановительные реакции с поглощением растворенного кислорода.

Подготовка воды для бытовых нужд

Подготовка воды для бытовых нужд состоит из следующих стадий (рис.3):

1. Отстаивание воды в отстойниках для осаждения мелких частиц песка и глины.

2. Предварительное хлорирование воды для уничтожения находящихся там микроорганизмов.

3. Коагулирование. Для удаления очень мелких частиц к воде добавляют CaO и $Al_2(SO_4)_3$. Образующийся при этом осадок $Al(OH)_3$ оседает, захватывая взвешенные частицы и бактерии. Благодаря этому устраняются мутность и цветность воды, снижается привкус и запах.

4. Вторичное отстаивание.

5. Фильтрация через слой песка.

6. Аэрация воды путем разбрызгивания для окисления растворенных органических веществ.

7. Стерилизация воды для уничтожения болезнетворных бактерий и вирусов. Методов стерилизации много, наиболее эффективно озонирование. Однако этот способ дорог (стоимость озона в 7-8 раз выше стоимости хлора), поэтому чаще используют хлорирование. Стерилизующим действием обладает хлорноватистая кислота, образующаяся при взаимодействии хлора с водой:

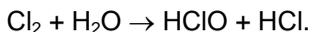
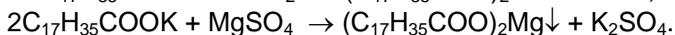
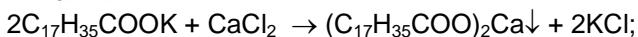


Рис. 3. Схема подготовки воды для бытовых нужд.

На судах обеззараживание воды проводят иногда с помощью серебряных ионаторов или ультрафиолетовых лучей.

Умягчение жесткой воды в быту

Соли кальция и магния, присутствующие в жесткой воде, взаимодействуют с мылом с образованием нерастворимых солей кальция и магния:



Это приводит к тому, что в жесткой воде мыло не пенится. Умягчить воду в домашних условиях можно добавлением небольшого количества питьевой соды (гидрокарбоната натрия) с последующим кипячением:



Лабораторная работа

Определение жесткости технической воды

Определение жесткости основано на способности сложного органического вещества трилона Б связывать катионы

кальция и магния. Условно Трилон Б обозначают $\text{Na}_2\text{H}_2\text{T}$, где Т – радикал этилендиаминтетрауксусной кислоты. Индикатором в данной реакции является хромтемно-синий, который в присутствии катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} окрашивает раствор в малиновый цвет, а при отсутствии этих катионов – в синий. Необходимо отметить, что индикатор изменяет цвет раствора в слабощелочной среде, для создания которой добавляют буферную смесь $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH}$.

Выполнение работы.

1. Отмерить цилиндром 50 мл анализируемой воды, перелить воду в коническую колбу.
2. Добавить 5 мл буферной смеси и 5-6 капель хромтемно-синего. Отметить окрашивание раствора.
3. Из бюретки к анализируемой смеси по каплям добавлять раствор трилона Б до изменения окраски раствора с малиновой на синюю.

4. Рассчитать жесткость по формуле:

$$Ж = \frac{N_{mp} \times V_{mp} \times 1000}{V_в} \text{ (мэкв/л), где}$$

N_{mp} - нормальность трилона Б;

V_{mp} - объем трилона Б, израсходованный на титрование;

$V_в$ - объем анализируемой воды.

Лабораторная работа

Обессоливание воды с помощью ионообменных смол

Провести качественные реакции на ионы, присутствующие в жесткой воде. Для этого в три пробирки налить по 1 мл жесткой воды. В первую пробирку добавить немного буферной смеси и 1-2 капли индикатора хромтемно-синего. Во вторую пробирку – несколько капель раствора AgNO_3 . В третью – немного раствора BaCl_2 . Отмеченные явления записать в таблице:

Номер пробирки	Обнаруживаемый ион	Реактив	Наблюдаемые явления	Уравнения Реакции
1	$\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$	Буферная Смесь		
2	Cl^-	AgNO_3		
3	SO_4^{2-}	BaCl_2		

Затем небольшое количество жесткой воды налить в катионитовую колонку. В чистую пробирку набрать 1 мл воды, пропущенной через катионит, добавить к ней немного буферной смеси и 1-2 капли хромтемно-синего. Отмеченные наблюдения записать в таблицу.

Набрать примерно 10 мл воды, пропущенной через катионит, и влить ее в колонку с анионитом. В две пробирки налить по 1 мл воды, пропущенной через анионит. В одну пробирку добавить раствор AgNO_3 , в другую – раствор BaCl_2 . Наблюдения записать в таблицу.

Сравнить полученные результаты качественного анализа жесткой и очищенной воды.

Таблица 6

Умягчение воды осаждением накипеобразователей в виде труднорастворимых соединений

Метод обработки	Реагенты	Устраняемая жесткость	Уравнения реакции
Термический (кипячение)	-	Временная	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \xrightarrow{t^\circ} \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 \xrightarrow{t^\circ} \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{CO}_2$
Реагентный известковый	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Временная	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$
известково-содовый	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ Na_2CO_3	Общая	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{CaCl}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 3\text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NaCl}$
фосфатный	Na_3PO_4	Общая	$3\text{CaCl}_2 + \text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \downarrow + 6\text{NaCl}$ $3\text{MgSO}_4 + 2\text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 \downarrow + 3\text{Na}_2\text{SO}_4$
щелочной	NaOH	Только Mg^{2+}	$\text{MgCl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{NaCl}$
содовый	Na_2CO_3	Только Ca^{2+}	$\text{CaSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$
содово-щелочной	Na_2CO_3 NaOH	Общая	$\text{CaSO}_4 + \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

Таблица 7

Основные показатели качества технической воды

Показатель	Чем обусловлен	Обозначение и единицы измерения	Примечание
Жесткость	Ca^{2+} , Mg^{2+}	Ж, мэкв/л $\text{Ж} = \text{Ж}_{\text{вр}} + \text{Ж}_{\text{п}}$	Вызывает образование накипи
Карбонатная (временная)	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Ж}_{\text{вр}}$	Устраняется при кипячении
некарбонатная (постоянная)	CaCl_2 , MgCl_2 , CaSO_4 , MgSO_4	$\text{Ж}_{\text{п}}$	Не устраняется кипячением
Содержание Cl^-	Cl^-	С, мэкв Cl^- /л	Ион хлора – стимулятор коррозии
Щелочность	NaOH , Na_2CO_3 , Na_3PO_4 , Na_2SiO_3	Щ, мэкв NaOH /л	Создается для уменьшения накипе-образования и снижения скорости коррозии стали
Водородный показатель	H^+	$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$	В кислой среде ($\text{pH} < 7$) ускоряется коррозия почти всех металлов
Удельная электропроводность	Диссоциацией растворенных в воде солей	ρ	С увеличением электропроводности среды увеличивается ее коррозионная агрессивность
Содержание растворенного кислорода	Растворимостью газов в воде	$[\text{O}_2]$, мг/л	Способствует коррозии

Таблица 8

Характеристика природных вод

Вид воды	Соленость, г/л	Соотношение концентраций		pH	Особенности
		катионов	Анионов		

Атмосферная	<0.05	-	-	Около 7	
Материковая					
поверхностная (реки, озера)	0.5- 1.0	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	6.5 – 7.5	
подземная	1-250			6 – 9	Наличие Fe^{2+} и H_2S
Морская	32-39	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$	7.2 – 8.6	Высокая концентрация хлора – активатора коррозии металлов