МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт горного дела и строительства
Кафедра «Санитарно-технические системы»

Утверждено на заседании кафедры
«Санитарно-технические системы»
«12» января 2021 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой
_____ Р.А. Ковалев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине (модулю)
«Водоснабжение промышленных предприятий»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
08.03.01 – "Строительство"

с профилем
"Водоснабжение и водоотведение"

Форма(ы) обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 080301-02-21

Тула 2021 год

Разработчик(и) методических указаний

Злобин Е.К., профессор, д.т.н., доцент _____
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание) *(подпись)*

.

Лабораторные работы проводятся в химическая лаборатория "Очистка воды" (ауд. 8/210).

Форма отчетного журнала

1. Наименование дисциплины
2. Наименование лабораторной работы
3. Значения опытных данные, которые снимаются в процессе работы
4. Обработка опытных данных
5. Выводы из лабораторной работы.
6. Фамилия, инициалы студента, № группы (место для подписи).
7. Фамилия, инициалы лаборанта проводящего работу (место для подписи), (дата).
8. Фамилия, инициалы преподавателя принявшего работу (место для подписи), (дата).

Лабораторная работа № 1

Общие испытания ионообменных материалов (ионитов)

Содержание

1. Цель и задачи работы
2. Основы теории
3. Объекты и средства исследования
4. Подготовка к работе и программа работы
5. Выводы.

1. Цель и задачи работы

Основной целью лабораторной работы является изучение качества и свойств ионообменных зернистых материалов (катионитов и анионитов), применяемых в практике подготовки воды для питьевого и промышленного водоснабжения.

2. Основы теории

Метод ионного обмена широко применяется на практике для умягчения и обессоливания пресных вод. Для опреснения метод применим в основном для использования солоноватых вод с солесодержанием 2-3 г/л. Увеличение солесодержания понижает экономичность данного метода, хотя существуют схемы делающие его конкурентноспособным с другими методами при обессоливании воды с Р= 8 – 10 г/л.

Метод умягчения и обессоливания воды основан на применении специально изготовленных зернистых материалов – катионитов и анионитов.

Катиониты - практически нерастворимые в воде материалы, представляющие собой соли или кислоты с нерастворимым твердым анионом; катион же должен вступать в определенных условиях в обменную реакцию с катионами раствора, в котором находится катионит. В результате этой реакции катионит сорбирует из раствора катионы, заменяя их на

эквивалентное количество катионов которыми катионит предварительно заряжен.

Аниониты – представляют собой основания или соли с твердым нерастворимым катионом. Анионы анионита способны обмениваться на анионы раствора, замещая их эквивалентным количеством анионов, которыми анионит был предварительно заряжен.

Катиониты и аниониты характеризуются рядом показателей их свойств, важных для использования в технологическом процессе умягчения и обессоливания воды. Важнейшим свойством ионита является его полная обменная способность, которая соответствует количеству активных групп ионита в единице его веса или объема. Полная обменная способность характеризует потенциальную способность данного ионита к ионному обмену.

К числу важных показателей, характеризующих свойства ионитов, относятся также гранулометрический состав, коэффициент неоднородности, насыпной (объемный) вес воздушносухого и разбухшего в воде ионита, объем межзернового пространства, механическая и термическая стойкость, гидравлические свойства ионита.

3. Объекты и средства исследования

Лабораторная работа «Общие испытания ионитов» состоит из четырех частей:

а. зернение товарного ионита;

б. содержание влаги в ионите;

в. насыпная масса ионита;

г.масса набухшего ионита.

Объектом исследования является сильнокислотный катионит КУ-2-8 и сильноосновной анионит АВ-17-6. Определения производятся в лаборатории очистки воды. Лабораторная работа расчитана на продолжительность исследования студентами в течение шести академических часов. Средства исследования приведены в разделе 4.

4. Подготовка к работе и программа работ

Перед выполнением лабораторной работы студенты разбиваются на две подгруппы: первая подгруппа выполняет определения с катионитом КУ-2-8, вторая- с анионитом АВ-17-6.

А. Зернение товарного ионита.

Целью работы является проведение гранулометрического анализа зернистых материалов на предмет их пригодности для загрузки ионообменных фильтров.

Приборы и оборудование

1. Фильтрующий материал (катионит и анионит).
2. Весы технические с разновесами.
3. Набор сит калибром от 0,16 до 2 мм.
4. Бюксы или стеклянные чашки.

Методика выполнения работы

Из исследуемой партии товарного ионита берут навеску 100 г и взвешивают на технических весах с точностью до 0:1 г. Затем высыпают и рассеивают в наборе сит. Остатки на ситах взвешивают. Результаты заносят в таблицу 1

Табл. 1

№№ п/п	Калибр сита, Мм	Остаток на сите		Прошло через сито	
		г	%	г	%

Определяется процентное содержание фракций в техническом продукте, равное массе этих фракций в граммах.

По результатам ситового анализа строится график ситового анализа в координатах: калибр сита – процент ионита, прошедшего через данное сито. По графику определяют: d_{10}, d_{80} , d_{50} . На основании экспериментальных данных расчитывают коэффициент неоднородности $K_{н.}$ и эквивалентный диаметр ионита $d_{экв}$.

$K_н = d_{80}/d_{10}$; $d_{экв.} = \dfrac{100}{\dfrac{m_1}{d_1} + \dfrac{m_2}{d_2} + \dfrac{m_3}{d_3} + \cdot\ldots + \dfrac{m_i}{d_i}} \cdot$;

Б. Содержание влаги в ионите

Приборы и оборудование

1.Весы технические с разновесами.

2.Бюксы для взвешивания.

3.Эксикатор.

4.Сушильный шкаф.

Методика выполнения работы.

Отвешивают 3 г товарного продукта ионита с точностью до 0,01 г в бюксах с притертой крышкой, высушивают до постоянного веса при температуре 100^0с и после охлаждения в эксикаторе взвешивают.

Содержание влаги $X_в$ в % определяется по формуле

$$X_в = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100 \quad \%$$

В. Насыпная масса ионита

Приборы и оборудование:

1.Весы технические с разновесами.

2.Мерный цилиндр на 100 мл.

3.Сито с отверстиями 0,25 мм.

Методика выполнения работы

Отвешивают 50 г ионита с точностью до 0,1 г, предварительно отсеяв мелочь через сито с отверстиями 0,25 мм.

Высыпают навеску в сухой мерный цилиндр емкостью 100 мл, встряхивают, постукивая о деревянный край стола до прекращения изменения объема и замеряют объем ионита.

Насыпная масса ионита определяется по формуле

$$G_н = m/V_1 ,$$

где

$G_н$ – насыпная масса ионита;

V_1 – объем навески в мл;

m – масса ионита равная 50 г.

Г. Масса набухшего ионита, занимающего объем 1 м^3

Приборы и оборудование:

1.Весы технические с разновесами.

2.Мерный цилиндр на 250 мл.

3.Сито с отверстиями 0,25 мм.

4.Стакан химический на 500 мл.

Реактивы:

1.Дистиллированная вода.

2.Карбонат натрия (10% раствор Na_2CO_3)

Методика выполнения работы

<u>Первая подгруппа</u>. Высыпают 50 г. катионита тонкой струйкой в мерный цилиндр на 250 мл, в который предварительно наливают 25 мл дистиллята, заполняют цилиндр водой и оставляют на 24 часа. Перед замером цилиндр переворачивают вверх дном и обратно и ставят на стол. Первый замер

производят через 5 мин. Затем постукивая дном цилиндра по крышке стола до прекращения изменения объема делают второй замер.

Объем, занимаемый ионитом в воде V2 определяется как

$$V2 = (V_1^i + V_2^i)/2,$$

где

V_1^i и V_2^i – объем набухшего ионита в первом и во втором замерах.

Масса набухшего ионита Gв, занимающая объем 1 м^3, определяется как

$$Gв = m/ V2,$$

где

m – масса навески 50 г.

<u>Вторая подгруппа.</u> Порядок работы второй подгруппы такой же как и первой, но вместо дистиллированной воды добавляется 10% раствор Na_2CO_3 , который наливают в стакан емкостью 500 мл и заливают затем 300 мл 10% раствора Na_2CO_3. Через 24 часа пробу отмывают дистиллированной водой до отрицательной реакции на щелочъ по фенолфталеину. Затем пробу переносят в мерный цилиндр и методически проделывают то же, что и первая подгруппа.

5. Выводы

По результатам опытов и данных ГОСТов на ионообменные материалы определяется их соответствие и пригодность данных зернистых материалов для работы в ионообменных фильтрах.

Лабораторная работа № 2

Определение жесткости и щелочности воды

Содержание

5. Цель и задачи работы
6. Основы теории
7. Объекты и средства исследования
8. Подготовка к работе и программа работы
5. Выводы.
Приложение 1.

2. Цель и задачи работы

Основной целью лабораторной работы является привитие навыков химического анализа воды путем определения жесткости и щелочности природной воды, анализов широко применяемых в практике лабораторного контроля подготовки воды для питьевого и промышленного водоснабжения.

3. Основы теории

Жесткость природных вод обусловлена присутствием в них ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} . Эти элементы в природных условиях попадают в воду вследствие воздействия углекислого газа на карбонатные минералы или за счет продуктов микробиального распада, происходящего в увлажненых слоях почвы.

Так ионы Ca^{2+} попадают в воду при растворении известняков под действием содержащейся в воде углекислоты:

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 = Ca(HCO_3)_2$$

Основным источником ионов Mg^{2+} являются доломиты, растворяемые водой также приналичии угольной кислоты:

$CaCO_3 + MgCO_3 + 2H_2O + 2CO_2 = Ca(HCO_3)_2 + Mg\ (HCO_3)_2$

Наличие в воде больших количеств солей, обуславливающих жесткость, нежелательно так как такая вода становится непригодной для хозяйственно-бытовых и производственных нужд. Применение жесткой воды для паровых котлов приводит к резкому ухудшению их работы и авариям.

Жесткость воды подразделяют на карбонатную, некарбонатную и общую.

Карбонатная или временная жесткость, представляющая собой часть общей жесткости, обусловлена присутствием в воде гидрокарбонатов кальция и магния. Эта жесткость почти полностью удаляется при кипячении, так как присутствующие в ней гидрокарбонаты подвергаются распаду с образованием карбоната кальция и гидроксида магния, выпадающих в осадок.

Некарбонатная жесткость обусловлена сульфатами и хлоридами кальция и магния.

Жесткость воды выражают в мг-экв/л.

Важным показателем качества природных вод, который приходится учитывать при многих процессах ее обработки, является общая щелочность воды и ее составляющие компоненты (гидрокарбонатная, карбонатная, гидратная) и в более редких случаях которая обусловлена солями слабых кислот (фосфорная, силикатная, гуматная).

Щелочность природных вод зависит в основном от содержания солей угольной кислоты. При цветности более 40° и высокой окисляемости следует отдельно учитывать величину гуматной щелочности.

В природной воде величина карбонатной жесткости практически равна щелочности воды из-за наличия в ней в основном гидрокарбонатных соединений. Щелочность воды, умягченной известью или известью и содой, обуславливается присутствием в ней гидратов, карбонатов и гидрокарбонатов.

5. Объекты и средства исследования

Объектом исследования является водопроводная вода, в которойнеобходимо определить:

1.Щелочность общую и ее компоненты (гидратную, карбонатную и гидрокарбонатную);

2.Жесткость воды общую, карбонатную и некарбонатную;

Определения производятся в лаборатории очистки воды.

4. Подготовка к работе и программа работ

Перед выполнением лабораторной работы студенты разбиваются на две подгруппы.

А. Определение общей щелочности воды

Общая щелочность воды определяется суммой содержащихся в ней ионов HCO_3^-, CO_3^{2-}, OH^- и слабых кислот, образующих хлориды и сульфаты при взаимодействии с соляной и серной кислотой.

Приборы и оборудование

1. Пипетки на 100 мл;
2. бюретки на 25 мл;
3. колбы конические на 250 мл;
4. Соляная кислота, 0,1 н. раствор;
5. Метиловый оранжевый индикатор, 0,1% раствор;
6. Фенолфталеин, 0,5% раствор;
7. Едкий натр, 0,1% раствор фиксанал.

Методика выполнения работы

К 100мл исследуемой воды добавляют 3 капли метилового оранжевого и титруют 0,1 н. раствором кислоты до перехода окраски индикатора из желтой в золотисторозовую,

Общая щелочность в мг-экв/л равна расходу 0,1% раствора кислоты на титрование в мл.

Б. Определение компонентов общей щелочности воды (гидратной, гидрокарбонатной, карбонатной щелочности)

Гидрокарбонатная, карбонатная и гидратная щелочность определяется по общей щелочности воды, определенной с индикатором метиловым оранжевым (М) и щелочности, определенной с индикатором фенолфталеином(Ф).

Метод основан на том, что для вод с pH более 8,3 при титровании пробы исследуемой воды кислотой в присутствии индикатора фелофталеина, дающего переход окраски от красного к бесцветному, протекают реакции между сильной кислотой, гидроксильными и карбонатными ионами, а в интервале pH от 8,3 до 4,4 - с гидрокарбонатными ионами.

Приборы и оборудование

1. Пипетки на 100 мл;
2. бюретки на 25 мл;
3. колбы конические на 250 мл;

4. Соляная кислота, 0,1 н. раствор;
5. Метиловый оранжевый индикатор, 0,1% раствор;
6. Фенолфталеин, 0,5% раствор;
7. Едкий натр, 0,1% раствор фиксанал.

Методика выполнения работы

К 100 мл исследуемой воды в конической колбе добавляют 5-10 капель раствора фенолфталеина и титруют 0,15% раствором кислоты до перехода окраски из красной в бесцветную.

Щелочность по фенолфталеину(Ф) в мг-экв/л равна расходу кислоты в мл пошедшей на титрование.

Формулы для расчета компонентов щелочности воды см. приложение 1 Табл.1

В. Определение общей жесткости воды

Общая жесткость определяется комплексометрическим методом. Метод основан на связывании ионов кальция и магния в комплексные соединения, сопровождающиеся изменением окраски индикатора.

Приборы и оборудование

1. Колбы конические на 250 мл;
2. Пипетки на 5 и 100мл;
3. Бюретки на 25 мл с краником;
4. Комплексон Ш 0,05 М раствор;
5. Аммиак+хлорид аммония, буферный раствор; pH=10;
6. Эриохромчерный Т, раствор индикатора;
7. Хлорид кальция, 0,025 М

Методика выполнения работы

К 100 мл воды приливается 5 мл буферного раствора. Мешающее влияние щелочности воды устраняется прибавлением эквивалентного количества 0,1 н. раствора соляной кислоты После тщательного перемешивания прибавляют около 5 капель раствора индикатора и перемешивают После перемешивания титруют 0,05 М раствора комплексона Ш с присутствии индикатора до перехода красной окраски в фиолетовую, Затем по каплям при тщательном перемешивании доводят титрование до синей окраски исследуемого раствора, Изменение окраски подтверждают прибавлением еще 1 капли титрованного раствора.

Общая жесткость определяется по формуле

$$X = a \cdot k \cdot 100/V,$$

где а - количество израсходованного 0,05 М титрованного раствора комплексона Ш, мл;

k - поправка молярности раствора комплексона Ш;

V - количество взятой для титрования пробы в мл.

Г. Расчет карбонатной и некарбонатной жесткости воды

Для вычисления карбонатной жесткости $Ж_к$ используют результат определения общей щелочности воды М.

$$Ж_к = М$$

Некарбонатная жесткость равна разнице между общей жесткостью и карбонатной жесткостью.

$$Ж_{нк} = Ж_о - Ж_к$$

5. Выводы

По результатам опытов дать характеристику качества воды на предмет ее использования на хоз-питьевые нужды и для промышленных целей и дать рекомендации по методу ее обработки.

Приложение 1.

Таблица 1.

Формулы для расчета гидратной, карбонатной и гидрокарбонатной щелочностей воды.

Соотношение	Вода содержит	Формула для расчета компонентов общей Щелочности воды

между М и Ф		Гидрокарбонат ионы HCO_3^-	Карбонат ионы CO_3^{2-}	Гидроксильные ионы OH^-
Ф =0	Гидрокарбонаты.	М	0	0
2Ф<М	Гидрокарбонаты	М - 2Ф	2Ф	0
2Ф =М	и	0	2Ф	0
2Ф>М	карбонаты.	0	2(М - Ф)	2Ф - М
Ф = М	Карбонаты Карбонаты и гидраты. Гидраты.	0	0	М

Лабораторная работа № 3

Исследование процесса декарбонизации воды

(устранение карбонатной жесткости известкованием)

Содержание

Цель и задачи работы
Основы теории
Объекты и средства исследования
Подготовка к работе и программа работы
5. Выводы.
Приложение.

4. Цель и задачи работы

Основной целью лабораторной работы является исследование ряда факторов, влияющих на процесс декарбонизации воды известкованием, и определение оптимальной дозы реагентов.

5. Основы теории

В практике водоподготовки применяются ряд методов обработки воды реагентами с целью связывания содержащихся в воде катионов жесткости - кальция и магния - в малорастворимые соединения, выделяемые из воды затем осаждением и фильтрованием. Реагентное умягчение проводят как с подогревом так и без подогрева воды.

Декарбонизация воды известкованием может применятся в тех случаях, когда требуется одновременное снижение жесткости и щелочности воды, при этом главной задачей является снижение щелочности воды.

Сущность метода заключается в обработке воды известью $Ca(OH)_2$. При добавлении $Ca(OH)_2$ в виде известкового молока или раствора в первую очередь происходит связывание растворенной в воде углекислоты с

образованием малорастворимого карбоната кальция $CaCO_3$, выпадающего в осадок.

$$CO2 + Ca(OH)_2 = \underline{CaCO_3} + H_2O$$
$$\downarrow$$

При добавлении извести в большем количестве происходит распад гидрокарбонатов в результате чего выпадает из воды $CaCO_3$.

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2\,\underline{CaCO_3} + H_2O$$
$$\downarrow$$

При избытке извести это приводит к гидролизу магниевых солей с образованием малорастворимой гидроокиси магния, которая при pH> 10,3 выпадает в осадок, освобождая воду от магния

$$Mg\,(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = \underline{CaCO_3} + MgCO_3 + 2H_2O$$
$$\downarrow$$

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 = \underline{Mg(OH)_2} + \underline{CaCO_3}$$
$$\downarrow \qquad \downarrow$$

При обработке воды известью происходит также перевод магниевых солей некарбонатной жесткости в малорастворимую гидроокись магния с образованием эквивалентного количества кальциевых солей сильных кислот при pH>10,2

$$MgSO_4 + Ca(OH)_2 = \underline{Mg(OH)_2} + Ca\,SO_4$$
$$\downarrow$$
$$MgCl_2 + Ca(OH)_2 = \underline{Mg(OH)_2} + CaCl_2$$
$$\downarrow$$

Из уравнений видно, что магниевая жесткость устраняется, однако величина общей жесткости остается постоянной.

Теоретический предел умягчения воды известкованием без подогрева определяется растворимостью карбоната кальция и гидроксида магния, которая при $t=0^oC$ соответственно будет равна 0,15 и 0,4 мг-экв/л, а при $t=80^oC$ будет равна 0,03 и 0,2 мг-экв/л. Практически остаточная карбонатная жесткость будет находится в пределах 0,6-1,2 мг-экв/л.

6. Объекты и средства исследования

Объектом исследования является водопроводная вода.

Декарбонизация воды производится с статических условиях в цилиндрах емкостью 0,5-1 л.

Приборы и оборудование

8. пипетки на 100, на 10 и на 5 мл;
9. бюретки на 25 мл;
10. колбы конические на 250 мл;
11. цилиндры мерные емкостью 0,5-1л;
12. колбы конические или круглые емкостью 0,5 л;
13. воронки Бюхнера для фильтрования;
14. фильтровальная бумага;
15. известь гашеная, 1% раствор;
16. сернокислое железо, 1% раствор;
17. pH-метр;
18. соляная кислота, 0,1 н. раствор;
19. метиловый оранжевый индикатор, 0,1% раствор;
20. фенолфталеин, 0,5% раствор;
21. едкий натр, 0,1% раствор, фиксанал.

Определения производятся в лаборатории очистки воды.

4. Подготовка к работе и программа работ

Перед выполнением лабораторной работы студенты разбиваются на две подгруппы по 10-12 человек. Продолжительность лабораторной работы 4 часа.

4.1. Ознакомиться с методикой проведения опытов, приборами и оборудованием.

4.2. Взять пробу исследуемой воды, определить жесткость карбонатную и жесткость общую, согласно методике (см. лабораторная работа № 2 "Определение жесткости и щелочности воды").

4.3. Определить pH исследуемой воды на pH-метре;

4.4. Налить в первые четыре цилиндра исследуемую воду по 500 мл с температурой 20 ^{o}C, в пятый цилиндр налить воду с температурой 40 ^{o}C и в щестой цилиндр - с температурой 60 ^{o}C.
4.5. Согласно полученным данным жесткости и щелочности воды расчетным путем определить дозу извести по CaO по формуле

$$Д_и = 28(CO_2/22,01 + Ж_к^- + Д_к/e + 0,3) \text{ мг/л},$$

где

$Д_к$ - доза коагулянта $FeSO_4$ в пересчете на безводное вещество в мг/л. Доза коагулянта, согласно СНИП 2.04.02-84*, принимается в пределах 25-35 мг/л;

CO_2-содержание свободной углекислоты в исследуемой воде в мг/л, Определяется по табличным данным в зависимости от щелочности и pH исходной воды по табл. 69, 70 и 71 (В.Ф.Кожинов Очистка питьевой и технической воды.М. стройиздат, 1971). Солесодержание исходной воды принять равным 1000 мг/л;

$Ж_к$ -жесткость карбонатная исходной воды в мг-экв/л;

e = 76 - эквивалентная масса $FeSO_4$;

0,3 - избыток извести, вводимый для полноты реакции.

4.6. Определить дозы, вводимого в исходную воду реагента, в % от расчетной согласно п.6 к таблице 1.
4.7. Определить объем вводимого в цилиндры 1% раствора извести и коагулянта;
4.8. Ввести пипеткой раствор извести в соответствующих дозах в цилиндры с интенсивным перемешиванием воды и реагента в течение 1 мин;
4.9. Ввести пипеткой коагулянт через 1 мин после введения раствора извести и перемешивать в течение 1 мин;
4.10. Осуществлять одновременное медленное и плавное перемешивание во всех цилиндрах с числом оборотов 5-8 об/мин в течение 5мин;
4.11. Прекратить перемешивание и наблюдать за ходом процесса хлопьеобразования и отстаивания воды с записью в журнале табл.1 интенсивности хлопьеобразования и скорости отстаивания, возможной опалесценсии воды, содержания мелкой взвеси в отстоенной воде, изучить влияние температуры воды на скорость хлопьеобразования и отстаивания воды, время отстаивания принять 45 мин;
4.12. Определить объем осадка после отстаивания;
4.13. Отобрать сифоном верхний слой отстоенной воды с каждого цилиндра объемом 150-200мл в конические или круглые колбы и профильтровать воду каждую пробу воды на воронке Бюхнера через беззольный бумажный фильтр для устранения карбонатной взвеси в исследуемой воде;

4.14. Определить общую и карбонатную жесткость и pH декарбонизированной воды;
4.15. Регистрацию опытных данных вести в таблице 1 (см. Приложение);
4.16. Обработать результаты опыта с определением остаточной жесткости, эффекта умягчения и декарбонизации воды.
4.17. Построить графики зависимости эффекта умягчения и декарбонизации воды от дозы вводимого реагента и температуры исходной воды.

5.Выводы

По результатам опытов сделать заключение о влиянии дозы реагентов и температуры воды на процесс умягчения.

Приложение

Таблица 1.

Показатели	**Ед. изм.**	**Номера цилиндров**					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Объем воды в цилиндре W	мл	500	500	500	500	500	500
Температура воды t	оС					40	60
Жесткость общая воды Жо	мг-экв/л	50	100	130	160	100	100
Жесткость карбонатная Жк	мг-экв/л						
Расчетная доза извести по CaO $Д_и^{расч}$	мг/л						
	мг/л						
	%						

Доза извести принимаемая в % от расчетной	мл мг/л						
Доза извести Ди	мл мин						
Объем 1% раствора извести Wи	мин						
Доза коагулянта $FeSO_4$ Дк	мл						
Объем 1% раствора $FeSO_4$ Wк	мг-экв/л						
Время перемешивания Тп	мг-экв/л						
Время отстаивания То	% %						
Ход процесса коагуляции и отстаивания (описание)							
Объем осадка							
Жесткость общая умягч. воды $Жо^{ум}$							
Жесткость карб. умягч. воды $Жк^{ум}$							
Эффект умягчения % от Жо Эо							
Эффект декарбонизации % от Жк Эк							

Лабораторная работа № 4

Известково-содовое умягчение воды

Содержание

Цель и задачи работы
Основы теории
Объекты и средства исследования
Подготовка к работе и программа работы
5. Выводы.

6. Цель и задачи работы

Основной целью лабораторной работы является исследование эффективности процесса известково-содового умягчения тульской воды и определение оптималльных доз реагентов

7. Основы теории

В практике водоподготовки применяются ряд методов обработки воды реагентами с целью связывания содержащихся в воде катионов жесткости - кальция и магния - в малорастворимые соединения, выделяемые из воды затем осаждением и фильтрованием. Реагентное умягчение проводят как с подогревом так и без подогрева воды.

Известкованием воды в той или иной степени устраняется карбонатная и магниевая жесткость воды, но не снижается некарбонатная жесткость воды.

Сущность метода заключается в обработке воды известью $Ca(OH)_2$ и содой Na_2CO_3.

При добавлении $Ca(OH)_2$ в виде известкового молока или раствора в первую очередь происходит связывание растворенной в воде углекислоты с образованием малорастворимого карбоната кальция $CaCO_3$, выпадающего в осадок.

$$CO2 + Ca(OH)_2 = \underline{CaCO_3} + H_2O$$
$$\downarrow$$

При добавлении извести в большем количестве происходит распад гидрокарбонатов в результате чего выпадает из воды $CaCO_3$.

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2\,\underline{CaCO_3} + H_2O$$
$$\downarrow$$

При избытке извести это приводит к гидролизу магниевых солей с образованием малорастворимой гидроокиси магния, которая при pH> 10,3 выпадает в осадок, освобождая воду от магния

$$Mg\,(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = \underline{CaCO_3} + MgCO_3 + 2H_2O$$
$$\downarrow$$

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 = \underline{Mg(OH)_2} + \underline{CaCO_3}$$
$$\downarrow \qquad \downarrow$$

При обработке воды известью происходит также перевод магниевых солей некарбонатной жесткости в малорастворимую гидроокись магния с образованием эквивалентного количества кальциевых солей сильных кислот при pH>10,2

$$MgSO_4 + Ca(OH)_2 = \underline{Mg(OH)_2} + Ca\,SO_4$$
$$\downarrow$$
$$MgCl_2 + Ca(OH)_2 = \underline{Mg(OH)_2} + CaCl_2$$
$$\downarrow$$

Из уравнений видно, что магниевая жесткость устраняется, однако величина некарбонатной жесткости остается постоянной.

Для снижения некарбонатной жесткости добавляют соду Na_2CO_3. При этом кальций переводится в осадок

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 = Na_2SO_4 + \underline{CaCO_3}$$
$$\downarrow$$
$$CaCl_2 + Na_2CO_3 = 2NaCl + \underline{CaCO_3}$$
$$\downarrow$$

Теоретический предел умягчения воды известкованием без подогрева определяется растворимостью карбоната кальция и гидроксида магния, которая при t=0°С соответственно будет равна 0,15 и 0,4 мг-экв/л, а при t=80°С будет равна 0,03 и 0,2 мг-экв/л. Следовательно, теоретический предел умягчения воды известково-содовым методом без избытка ионов CO_3^{2-} и OH^- при 0 °С составляет 0,55мг-эвк/л, а при 80 °С - 0,23 мг-экв/л. Фактически в природных водах растворимость этих соединений зависит от ионного состава воды и избытка ионов CO_3^{2-} и OH^-. Образование коллоидных соединений $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$ происходит мгновенно после введения извести и соды. Однако переход из коллоидного состояния в грубодисперсное, при котором $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$ выпадают в осадок, занимает длительное время, что увеличивает объем сооружений. Поэтому ее выдерживают меньшее время и практически остаточная жесткость после известково-содового умягчения будет находится в пределах 0,6-1,2 мг-экв/л.

7. Объекты и средства исследования

Объектом исследования является водопроводная вода из Тульского горводопровода.

Умягчение воды воды производится с статических условиях в цилиндрах емкостью 0,5-1 л.

Приборы и оборудование

22.пипетки на 100, на 10 и на 5 мл;
23.бюретки на 25 мл;
24.колбы конические на 250 мл;
25.цилиндры мерные емкостью 0,5-1л;
26. колбы конические или круглые емкостью 0,5 л;
27. воронки Бюхнера для фильтрования;
28.фильтровальная бумага;
29.известь гашеная, 1% раствор;
30.сода ,1% раствор;
31.сернокислое железо, 1% раствор;
32.pH-метр;
33.соляная кислота, 0,1 н. раствор;
34.метиловый оранжевый индикатор, 0,1% раствор;
35.фенолфталеин, 0,5% раствор;
36.едкий натр, 0,1% раствор, фиксанал.

Определения производятся в лаборатории очистки воды.

4. Подготовка к работе и программа работ

Перед выполнением лабораторной работы студенты разбиваются на две подгруппы по 10-12 человек. Продолжительность лабораторной работы 4 часа.

4.1. Ознакомиться с методикой проведения опытов, приборами и оборудованием.
4.2. Взять пробу исследуемой воды, определить жесткость карбонатную и жесткость общую, согласно методике (см. лабораторная работа № 2 "Определение жесткости и щелочности воды").
4.3. Определить pH исследуемой воды на pH-метре;
4.4. Налить в первые пять цилиндров исследуемую воду по 500 мл с температурой 20 ^{o}C, в шестой цилиндр налить воду с температурой 60 ^{o}C.
4.5. Согласно полученным данным жесткости и щелочности воды расчетным путем определить дозу извести по CaO по формуле

$$Д_и = 28(CO_2/22{,}01 + Ж_к^- + Mg^{2+}/12 + Д_к/e + 0{,}5) \text{ мг/л},$$

где

$Д_к$ - доза коагулянта $FeSO_4$ в пересчете на безводное вещество в мг/л. Доза коагулянта, согласно СНИП 2.04.02-84*, принимается в пределах 25-35 мг/л;

CO_2-содержание свободной углекислоты в исследуемой воде в мг/л, Определяется по табличным данным в зависимости от щелочности и pH исходной воды по табл. 69, 70 и 71 (В.Ф.Кожинов Очистка питьевой и технической воды.М. стройиздат, 1971). Солесодержание исходной воды принять равным 1000 мг/л;

$Ж_к$ -жесткость карбонатная исходной воды в мг-экв/л;

Mg^{2+}- содержание магния в мг/л в исследуемой воде. Принимается равной 18 мг/л

e = 76 - эквивалентная масса $FeSO_4$;

0,5 - избыток извести, вводимый для полноты реакции.

4.6. Определить дозу соды расчетным путем по полученным данным качества исходной воды по некарбонатной жесткости по формуле

$$Дс = 53(Ж_{н.к.} + Д_к/76 +1)$$

где

$Ж_{н.к}$ - некарбонатная жесткость исследуемой воды в мг-экв/л.

4.7. Определить дозы, вводимой в исходную воду соды, в % от расчетной согласно таблице 1.

4.8. Определить объемы вводимых в цилиндры растворов реагентов (соды, извести и коагулянта);

4.9. Ввести пипеткой растворы извести и соды в соответствующих дозах в цилиндры с интенсивным перемешиванием воды и реагента в течение 1 мин;

4.10. Ввести пипеткой коагулянт через 1 мин после введения растворов реагентов и перемешивать в течение 1 мин;

4.11. Осуществлять одновременное медленное и плавное перемешивание во всех цилиндрах с числом оборотов 5-8 об/мин в течение 15мин;

4.12. Прекратить перемешивание и наблюдать за ходом процесса хлопьеобразования и отстаивания воды с записью в журнале табл.1 интенсивности хлопьеобразования и скорости отстаивания, возможной опалесценсии воды, содержания мелкой взвеси в отстоенной воде, изучить влияние температуры воды на скорость хлопьеобразования и отстаивания воды, время отстаивания принять 45 мин;

4.13. Определить объем осадка после отстаивания;

4.14. Отобрать сифоном верхний слой отстоенной воды с каждого цилиндра объемом 150-200мл в конические или круглые колбы и профильтровать воду каждую пробу воды на воронке Бюхнера через беззольный бумажный фильтр для устранения карбонатной взвеси в исследуемой воде;

4.15. Определить общую и карбонатную жесткость и pH умягченной воды;

4.16. Регистрацию опытных данных вести в таблице 1 (см. Приложение);

4.17. Обработать результаты опыта с определением остаточной жесткости, эффекта умягчения воды.

4.18. Построить графики зависимости эффекта умягчения воды от дозы вводимого реагента и температуры исходной воды.

5.Выводы

По результатам опытов сделать заключение об остаточной жесткости воды, влиянии дозы реагентов и температуры воды на процесс умягчения.

Приложение

Таблица 1.

Показатели	**Ед. изм.**	**Номера цилиндров**					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Объем воды в цилиндре W	Мл	500	500	500	500	500	500
Температура воды t	^{o}C						60
Жесткость общая воды Жо	мг-экв/л						
Жесткость карбонатная Жк	мг-экв/л						
Расчетная доза извести по CaO $Д_{и}^{расч}$	мг/л	5	100	130	160	200	100
Расчтная доза соды $Дс^{расч}$	-/-						
Доза соды, принимаемая в % от расчетной	%						
Доза соды Дс	мг/л						
Объем 1% раствора извести Wи	мл	30	30	30	30	30	30
Объем 1% раствора соды Wc	мл						
Доза коагулянта $FeSO_4$ Дк	мг-экв/л						

Объем 1% раствора $FeSO_4$ Wк Время перемешивания Тп Время отстаивания То Ход процесса коагуляции и отстаивания (описание) Объем осадка Жесткость общая умягч. воды $Жо^{ум}$ Жесткость карб. умягч. воды $Жк^{ум}$ Эффект умягчения % от Жо Эо	мг-экв/л %						

Лабораторная работа № 5

Определение стабильности воды

Содержание

1. Цель и задачи работы
2. Основы теории
3. Объекты и средства исследования
4. Подготовка к работе и программа работы
5. Выводы.

1. Цель и задачи работы

Основной целью и задачей лабораторной работы является экспериментальное определение стабильности воды методом карбонатных испытаний.

2. Основы теории

Под стабильностью воды понимается ее свойства не растворять карбонат кальция и не выделять его из раствора. Под термостабильностью воды понимается ее свойства не растворять карбонат кальция и не выделять карбонат кальция из раствора при многократном нагреве и охлаждении воды, что существует в оборотных системах водоснабжения.

Стабильность является одним из основных показателей качества воды.

Стабильность воды может нарушаться из-за наличия агрессивной углекислоты или кислорода, низким pH воды, перенасыщенностью воды карбонатом кальция или гидроксидом магния, повышенной концентрацией сульфатов или хлоридов.

В основном стабильность обусловлена равновесным состоянием в растворе углекислотных соединений

$$2HCO_3^- \rightleftharpoons CO_3^- + CO_2 + H_2O$$

и характеризуется тем, что концентрация свободной двуокиси углерода (CO_2) соответствует ее равновесной концентрации, необходимой для поддержания в растворе гидрокарбонатных ионов (HCO_3^-).

Если удаляется из воды часть свободной углекислоты, то углекислотное равновесие сдвигается вправо с распадом части гидрокарбонатных ионов на CO_3^- и CO_2, который идет до тех пор пока не наступит новое равновесие между концентрацией CO_2 и гидрокарбонатными ионами. Гидрокарбонатные ионы вступают в реакцию с ионами кальция, находящимися в воде, с образованием малорастворимого карбоната кальция, который выделяется из воды в виде шлама или отложений на стенках теплообменной аппаратуры или трубопроводов.

$$Ca^{2+} + CO_3^- = CaCO_3$$

Такая вода называется нестабильной и способной к отложению карбоната кальция.

Если по каким либо причинам, например, при распаде в оборотной системе органических соединений, произойдет увеличение в воде углекислоты по сравнению с равновесной, то избыточная CO_2 будет вступать в реакцию с бетонами, мрамором, доломитом и т.д., выщелачивая из этих материалов ионы кальция. Такая вода называется агрессивной, а избыточная по сравнению с равновесной углекислота называется "агрессивной" углекислотой.

Определение стабильности производится:

а) для предварительного установления свойств воды в связи с изысканием источника водоснабжения и проектрованием устройств для улучшения качества воды;

б) для контроля свойств воды в процессе ее обработки с целью улучшения ее качества.

Стабильность воды определяется двумя методами:

-карбонатными испытаниями (экспериментальный метод определения показателя стабильности);

-вычислением по данным анализов воды индекса насыщения раствора карбоната кальция (приближенный расчетный метод).

Сущность испытаний заключается в том, что если в воде имеется избыток свободной углекислоты (признак коррозионности воды), то такая вода будет переводить часть соприкосающегося с ней карбоната кальция в растворимый гидрокарбонат кальция $Ca(HCO_3)_2$. Это приводит к повышению общей щелочности и pH воды.

Если же вода представляет собой пересыщенный раствор карбоната кальция, то последний выделяется из воды. При этом общая щелочность воды и ее pH понижается.

Стабильность воды характеризуется показателем стабильности воды С. Существуют два метода определения этого показателя:

-основной;

-вспомогательный.

При определении основным методом показатель стабильности C_o находят по формуле

$$C_o = Щ_{факт}/Щ_{нас} ,$$

где $Щ_{факт}$ - фактическая щелочность исследуемой воды в мг/экв·л;

$Щ_{нас}$ - щелочность воды после встряхивания ее с карбонатом кальция в мг/экв·л.

При определении вспомогательным методом показатель стабильности $C_в$ находят по формуле

$$C_в = pH_{факт}/pH_{нас},$$

где $pH_{факт}$ - фактическое значение pH исследуемой воды;

$pH_{нас}$ - pH воды, соответствующее предельному насыщению ее карбонатом кальция.

При С= 1 вода стабильна.

При С□ 1 вода агрессивна,

При С□ 1 вода не стабильна и способна к отложению карбоната кальция на омываемых водой поверхностях.

1. **Объекты и средства исследования.**

Объектом исследования является исходная водопроводная вода в колбе емкостью 500 мл.

Приборы и оборудование

1.Встряхивающий аппарат с качающейся платформой для встряхивания сосудов с исследуемой водой.

2. Бюретка.

3.pH-метр.

4.Приспособление для отбора воды из сосуда.

5.Весы лабораторные.

6.Карбонат кальция, порошкообразный 250 г.

7.Соляная или серная кислота 0,1 н. раствор.8.Метиловый оранжевый, 0,1 % водный раствор.

4. Подготовка к работе и программа работ

Перед выполнением лабораторной работы студенты разбиваются на две подгруппы по 10-12 человек: первая подгруппа выполняет определения индекса стабильности по основному методу, вторая - по вспомогательному с определением индекса по pH -метру.

4.1 Ознакомиться с методикой проведения опытов, приборами и оборудованием.

4.2 Взять пробу исследуемой воды емкостью 1 л. Если вода содержит взвешенные вещества, пробу отстоять в течение 0,5 - 1 ч.

4.3 Студентам первой подгруппы определить щелочность исследуемой воды $Щ_{факт}$ на установке для титрования. (См.Руководство по химическому и технологическому анализу. М., Стройиздат , 1973 г.)

Студентам второй подгруппы определить $pH_{факт}$ исследуемой воды на лабораторном pH-метре. (Методику определения см. в инструкции к pH-метру).

4.4 В стеклянную коническую колбу емкостью 500 мл всыпать 30 г порошкообразного карбоната кальция, заполнить колбу до пробки исследуемой водой, плотно закрыть резиновой пробкой, установить в горизонтальном положении на платформу встряхивающего аппарата и в течение 0,45 - 1 ч встряхивать при 100-150 качаниях в минуту.

4.5 По окончанию встряхивания снять колобу, заменить пробку приспособлением для отбора пробы и оставить в покое на 15 мин для осаждения порошка карбоната кальция.

4.6 После осветления отобрать сифоном воду через нижний конец воронки со специальным фильтром, сбросить первые 50 мл фильтрованной воды.

4.7 Определить щелочность и pH воды, насыщенной карбонатом кальция.

4.8 Вычислить показатели стабильности воды $C_о$ и $C_в$.по методу карбонатных испытаний.

5. Выводы

По результатам опытов дать характеристику качества воды в отношении ее стабильности и рекомендации по методу ее обработки.

6.Контрольные вопросы

1. В каких случаях определяется стабильность воды.
2. Какими методами определяется стабильность воды.
3. Что такое показатель стабильности воды.
4. Что такое индекс насыщения и как он определяется.
5. Почему анализ воды на стабильность должен производиться у источника не позднее 1 часа после взятия пробы.