

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)**  
**«Химия воды и процессы водоподготовки»**

**основной профессиональной образовательной программы**  
**высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**08.03.01 – "Строительство"**

с профилем  
**"Теплогазоснабжение и вентиляция"**

Форма(ы) обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 080301-06-21

Тула 2021 год

## Разработчик(и) методических указаний

Сальников Б.Ф., доцент, к.т.н., доцент  
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



---

(подпись)

Лабораторные работы проводятся в химической лаборатории "Очистка воды" (ауд. 8/210).

Форма отчетного журнала

1. Наименование дисциплины
2. Наименование лабораторной работы
3. Содержание отчета берется из указаний к конкретной лабораторной работе
4. Фамилия, инициалы студента, № группы (место для подписи).
5. Фамилия, инициалы лаборанта проводящего работу (место для подписи), (дата).
6. Фамилия, инициалы преподавателя принявшего работу (место для подписи), (дата).

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1**

## **Свойства и примеси природных вод (Методы определения физических свойств химического состава 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 лабораторной работы является изучение качества, свойств и примесей природной воды, ознакомление студентов методами определения физических свойств, химического состава воды, приборами и оборудованием лаборатории качества воды, а также технологией отбора, хранения, транспортирования и анализа проб, методами приготовления растворов.

### **2. Основы теории**

Природная вода - это многокомпонентная динамическая система, в состав которой входят газы, минеральные и органические вещества, а также микроорганизмы, находящиеся в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии.

В виде ионов, недиссоциированных молекул, коллоидов и взвесей в природных водах содержится свыше 50 элементов.

Из растворенных газов в природных водах чаще всего присутствуют: кислород, азот, углекислота, реже сероводород, метан. Их содержание во многом зависит от их природы, парциального давления, температуры и других факторов.

Большинство неорганических солей, кислот и гидроксидов растворимо в воде. Наиболее распространены в природных водах гидрокарбонатные, хлоридные и сульфатные соли щелочеземельных и

щелочных металлов, реже - нитраты, нитриты, силикаты, фториды, фосфаты и др.

Основным поставщиком органических веществ является почвенный гумус, продукты жизнедеятельности и распада растительных и животных организмов, сточные воды бытовых и промышленных предприятий.

Наличие взвешенных веществ в воде свидетельствует о ее загрязненности твердыми нерастворимыми примесями минерального и органического происхождения.

### **3. Объекты и средства исследования**

Лабораторная работа состоит из двух частей:

а. техника лабораторных работ при определении физических свойств воды;

б. методы определения химического состава воды;

Определения производятся в лаборатории очистки воды. Лабораторная работа рассчитана на продолжительность исследования студентами в течение четырех 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 знакомится с техникой лабораторных работ по определению физических показателей воды, вторая - знакомится с химическим анализом воды. После двух часов подгруппы меняются местами.

#### **4а. Техника лабораторных работ при определении физических свойств воды;**

##### **А. Определение температуры воды.**

Температуру воды измеряют калиброванными ртутными термометрами со столбчатой шкалой и ценой деления 0,1-0,5 °С. Температуру поверхностного слоя

воды определяют поверхностными термометрами с делениями шкалы 0,2 °С. Температуру воды на глубине измеряют глубинными термометрами, которые вкладываются в металлическую оправу батометра. При отборе проб из крана температуру определяют в струе.

#### Приборы и оборудование

1. Термометр ртутный поверхностный в оправе с делениями 0,2 °С .
2. Термометр глубоководный максимальный с обрывающимся столбиком ртути.
3. Бутыль емкостью 1 литр для отбора проб.

#### **Б. Взвешенные вещества.**

При наличии взвешенных веществ до 100 мг/л их концентрацию определяют фотометрическим методом или весовым методом на мембранных фильтрах, при большей концентрации - весовым методом с бумажными фильтрами.

#### **I. Определение взвешенных веществ при помощи мембранных фильтров.**

#### Приборы и оборудование

1. фильтровальный аппарат Зейца с колбой для отсасывания, предохранительной склянкой и вакуум-насосом;
2. мембранные фильтры (предварительные или №4. Фильтры кипятят 15 мин в дистиллированной воде, затем их просушивают при температуре 105 °С до постоянной массы и взвешивают не менее трех раз. Фильтры нумеруют карандашом, а вес записывают в журнал;
3. сушильный шкаф;
4. бюксы диаметром 40 мм;
5. весы аналитические ВЛА-200;
6. плитка электрическая;
7. колбы конические.

#### Ход определения.

Предварительно взвешенный фильтр закрепляется в аппарате для фильтрования. Пробу объемом 200 мл фильтруют под вакуумом, при этом частички, прилипшие к стенкам аппарата смывают дистиллятом на фильтр.

После фильтрования аппарат разбирают, фильтр подсушивают на воздухе, а затем в сушильном шкафу в открытом бюксе. После сушки бюкс с фильтром закрывают и остужают в эксикаторе в присутствии на дне натронной извести для устранения влаги. Фильтр взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,02 мг. Общее содержание взвеси определяется по формуле

$$X = (m_2 - m_1) \cdot 1000 / V,$$

где  $m_2$  и  $m_1$  - масса фильтра с осадком и чистого в мг;

$V$  - объем пробы в мл.

## II. Определение взвеси при помощи бумажных фильтров

### Приборы и оборудование

1. сушильный шкаф;
2. бюксы диаметром 40 мм;
3. весы аналитические ВЛА-200;
4. бумажные фильтры ( синяя лента);
5. колбы конические 1,5-2 л;
6. стаканы мерные 0,5 л..

### Ход определения.

Объем пробы для фильтрования берется в зависимости от содержания взвеси в исходной воде. При содержании взвеси 100-500 мг/л объем пробы 0,25 л, при 50-100 мг/л - 0.5 л.

Воду фильтруют через предварительно высушенные бумажные фильтры, заправленные в воронку Бюхнера. Высушенный фильтр с бюксом охлаждают в эксикаторе и

взвешиваются в бюксе до постоянного веса. Содержание взвеси определяется также как и в предыдущем случае.

### III. Определение взвеси фотометрическим методом.

#### Приборы и оборудование

1. Фотоэлектрокалориметр КФК-2МП
2. колба коническая 0,5 л;
3. вода дистиллированная

#### Ход определения.

Метод основан на измерении коэффициента оптической плотности при измерении пробы воды и установлении концентрации по калибровочной кривой.

В правый и левый пучки света КФК с длиной волны 540 мк. устанавливаются кюветы длиной 5 см с исследуемой водой из которой предварительно фильтрованием удалены взвешенные вещества. Затем,

заменяв правую кювету с водой без взвеси на исследуемую воду, находят коэффициент оптической плотности и с помощью калибровочной кривой определяют содержание взвеси в исследуемой воде.

### **В. Цветность**

Цветность природных вод зависит от наличия в них гумусовых веществ, коллоидных соединений железа, водорослей, бытовых и промышленных сточных вод. Цветность выражается в градусах платиново-кобальтовой шкалы.



Цветность определяется качественно и количественно. При качественном определении цветности профильтрованную воду наливают в высокий цилиндр и ставят на белую бумагу рядом с цилиндром с дистиллированной водой. Цвет исследуемой и дистиллированной воды сравнивают, рассматривая воду при рассеянном дневном освещении. Результат определения описывают словесно с указанием оттенка: бесцветная, слабо-желтая, зеленоватая, буроватая.

Количественно цветность воды устанавливают путем сравнения с эталонной шкалой визуально или на фотоэлектрокалориметре.

Приготовление платиново-кобальтовой шкалы.

в дистилляте растворяют 1,245 г хлорплатината калия и 1,01 г кристаллического хлорида кобальта, приливают 100 мл концентрированной соляной кислоты и доводят дистиллятом до 1 л. Цветность полученного раствора равняется 500 градусов. Из него готовят шкалу цветности, разбавляя раствор в определенной пропорции дистиллятом. Шкалу цветности хранят в закрытых пробками цилиндрах Неслера в темном месте.

Для определения цветности визуальным сравнением находят цилиндр шкалы совпадающий с окраской исследуемой воды.

Фотокалориметрический метод анализа цветности основан на измерении оптической плотности растворов с интенсивной окраской. Измерение производят на КФК- 2МП, для чего предварительно готовят калибровочную кривую цветности. Методика измерения такая же как и при измерении мутности воды.

#### **46. Методы определения химического состава воды;**

В зависимости от количества исследуемых компонентов и точности их определения химический анализ бывает трех типов: полный, сокращенный и полевой.

Результаты химических анализов выражают

1. в массовых количествах растворенных веществ в литре воды мг/л или мг/ кг;
2. в эквивалентных количествах растворенных веществ в литре воды (мг-экв/л). В этом случае число найденных миллиграммов данного иона делят на эквивалентную массу;
3. в процент-эквивалентах (%-экв/л.

Результаты химического анализа, выраженные в мг-экв/л , дают наглядное представление о количественном составе исследуемой воды и возможность контролировать точность проведения анализа. для чего проводится общий контроль анализа по эквивалентному содержанию ионов. Сумма анионов в мг-экв/л и сумма катионов примерно равны. Расхождение не должно превышать 5%.

В данной работе студент должен ознакомиться с некоторыми приборами и оборудованием, применяемым для определения химанализа.

### **А. Определение сухого остатка.**

Приборы и оборудование

1. сушильный шкаф;
2. баня водяная;
3. весы аналитические ВЛА-200;
4. бумажные фильтры ( синяя лента);
5. воронка;
6. цилиндр 0,25 л.
7. чашка фарфоровая.
8. карбонат натрия 1% раствор

Ход определения.

Исследуемую воду 500 мл профильтровывают через беззольный фильтр (синяя лента) и выпаривают в фарфоровой чашке в водяной бане. При выпаривании вносят в воду 25 мл 1% раствора соды. Выпаренный с содой сухой остаток высушивается до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 150 °С.

Величина сухого остатка  $X_{с.о.}$  рассчитывается по формуле

$$X_{с.о.} = (n - n_1 - n_2) \cdot 10^6 / V$$

где  $n$  - масса чашки с осадком;

$n_1$  - масса пустой чашки, г;

$n_2$  - масса сухого остатка в растворе соды, г;

$V$ - объем пробы в л.

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №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.

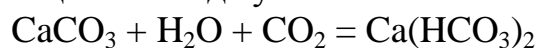
### **2. Цель и задачи работы**

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  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Эти элементы в природных условиях попадают в воду вследствие воздействия углекислого газа на карбонатные минералы или за счет продуктов микробиального распада, происходящего в увлажненных слоях почвы.

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



Основным источником ионов  $\text{Mg}^{2+}$  являются доломиты, растворяемые водой также при наличии угольной кислоты:



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 которой необходимо 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  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$  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 рН более 8,3 при титровании пробы исследуемой воды кислотой в присутствии индикатора фенолфталеина, дающего переход окраски от красного к бесцветному, протекают реакции между сильной кислотой, гидроксильными и карбонатными ионами, а в интервале рН 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. Метилоранжевый 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;

к - поправка молярности раствора комплексона Ш;

V - количество взятой для титрования пробы в мл.



## **Г. Расчет карбонатной и некарбонатной жесткости воды**

Для вычисления карбонатной жесткости  $J_k$  используют результат определения общей щелочности воды  $M$ .

$$J_k = M$$

Некарбонатная жесткость равна разнице между общей жесткостью и карбонатной жесткостью.

$$J_{нк} = J_o - J_k$$

## **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.

| Соотноше<br>ние<br><br>между М и<br><br>Ф | Вода содержит  | Формула для расчета компонентов общей<br><br>Щелочности воды |   |   |
|---|--|--|---|---|
|   |  | Гидрокарбонат<br>ионы $\text{HCO}_3^-$                       | Карбонат ионы<br><br>$\text{CO}_3^{2-}$ | Гидроксильные<br><br>ионы $\text{OH}^-$ |
| Ф = 0                                     | Гидрокарбона   | М  | 0                                       | 0                                       |
| 2Ф < М                                    | ты.  | М - 2Ф   | 2Ф                                      | 0                                       |
| 2Ф = М                                    | Гидрокарбона   | 0  | 2Ф                                      | 0                                       |
| 2Ф > М                                    | ты<br>и карбонаты.                                       | 0  | 2(М - Ф)                                | 2Ф - М                                  |
| Ф = М                                     | Карбонаты<br><br>Карбонаты и<br>гидраты.<br><br>Гидраты. | 0  | 0                                       | М                                       |

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №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.

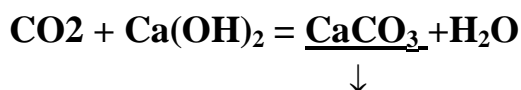
#### **5. Основы теории**

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.

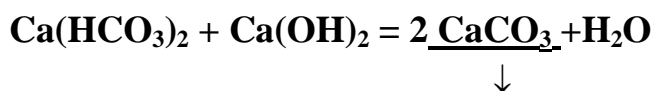
Декарбонизация воды известкованием может применяться в тех случаях, когда требуется одновременное снижение жесткости и щелочности воды, при этом главной задачей является снижение щелочности воды.

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

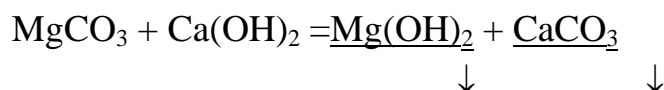
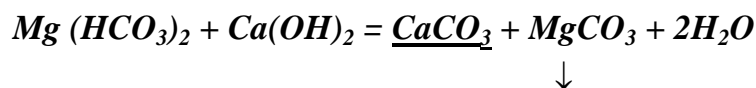
образованием малорастворимого карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$ , выпадающего в осадок.



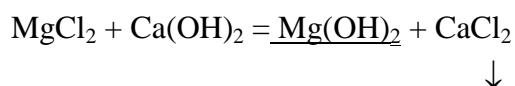
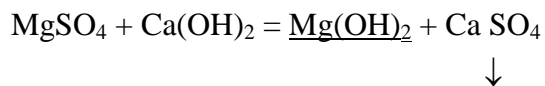
При добавлении извести в большем количестве происходит распад гидрокарбонатов в результате чего выпадает из воды  $\text{CaCO}_3$ .



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



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



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  $t=0^{\circ}\text{C}$  соответственно будет равна 0,15 и 0,4 мг-экв/л, а при  $t=80^{\circ}\text{C}$  будет равна 0,03 и 0,2 мг-экв/л. Практически остаточная карбонатная жесткость будет находиться 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. рН-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, фиксаж.

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 рН исследуемой воды на рН-метре;
- 4.4. Налить в первые четыре цилиндра исследуемую воду по 500 мл с температурой 20 °С, в пятый цилиндр налить воду с температурой 40 °С и в шестой цилиндр - с температурой 60 °С.
- 4.5. Согласно полученным данным жесткости и щелочности воды расчетным путем определить дозу извести по СаО по формуле

$$D_{\text{и}} = 28( \text{CO}_2/22,01 + Ж_{\text{к}} + D_{\text{к}}/e + 0,3) \text{ мг/л,}$$

где

$D_{\text{к}}$  - доза коагулянта  $\text{FeSO}_4$  в пересчете на безводное вещество в мг/л.

Доза коагулянта, согласно СНИП 2.04.02-84\*, принимается в пределах 25-35 мг/л;

$\text{CO}_2$ -содержание свободной углекислоты в исследуемой воде в мг/л,

Определяется по табличным данным в зависимости от щелочности и рН исходной воды по табл. 69, 70 и 71 (В.Ф.Кожин Очистка питьевой и технической воды. М. стройиздат, 1971). Солеосодержание исходной воды принять равным 1000 мг/л;

$Ж_{\text{к}}$  - жесткость карбонатная исходной воды в мг-экв/л;

$e = 67$  - эквивалентная масса  $\text{FeSO}_4$ ;

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 5 мин;

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 опалесценции 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 рН 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.<br>изм. | Номера цилиндров |     |     |     |     |     |
|-----------------------|-------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                       |             | 1                | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
| Объем воды в цилиндре | мл          | 500              | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |

|  |       |    |     |     |     |     |     |
|--|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| W  | оС    |    |     |     |     | 40  | 60  |
| Температура воды                                 | мг-   |    |     |     |     |     |     |
| t  | экв/л |    |     |     |     |     |     |
| Жесткость общая воды                             | мг-   |    |     |     |     |     |     |
| Жо   | экв/л | 50 | 100 | 130 | 160 | 100 | 100 |
| Жесткость карбонатная                            | мг/л  |    |     |     |     |     |     |
| Жк   | %     |    |     |     |     |     |     |
| Расчетная доза извести по СаО                    |       |    |     |     |     |     |     |
| Д <sub>и</sub> <sup>расч</sup>                   | мг/л  |    |     |     |     |     |     |
| Доза извести принимаемая в %                     | мл    |    |     |     |     |     |     |
| от расчетной                                     | мг/л  |    |     |     |     |     |     |
| Доза извести                                     | мл    |    |     |     |     |     |     |
| Ди   | мин   |    |     |     |     |     |     |
| Объем 1% раствора извести                        | мин   |    |     |     |     |     |     |
| Wи   |       |    |     |     |     |     |     |
| Доза коагулянта FeSO <sub>4</sub>                |       |    |     |     |     |     |     |
| Дк   | мл    |    |     |     |     |     |     |
| Объем 1% раствора FeSO <sub>4</sub>              | мг-   |    |     |     |     |     |     |
| Wк   | экв/л |    |     |     |     |     |     |
| Время перемешивания                              | мг-   |    |     |     |     |     |     |
| Тп   | экв/л |    |     |     |     |     |     |
| Время отстаивания                                | %     |    |     |     |     |     |     |
| То   | %     |    |     |     |     |     |     |
| Ход процесса коагуляции и отстаивания (описание) |       |    |     |     |     |     |     |
| Объем осадка                                     |       |    |     |     |     |     |     |
| Жесткость общая умягч. воды                      |       |    |     |     |     |     |     |
| Жо <sup>ум</sup>                                 |       |    |     |     |     |     |     |
| Жесткость карб. умягч. воды                      |       |    |     |     |     |     |     |
| Жк <sup>ум</sup>                                 |       |    |     |     |     |     |     |
| Эффект умягчения % от Жо                         |       |    |     |     |     |     |     |
| Эо   |       |    |     |     |     |     |     |
| Эффект декарбонизации % от Жк Эк                 |       |    |     |     |     |     |     |

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 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 оптимальных 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.

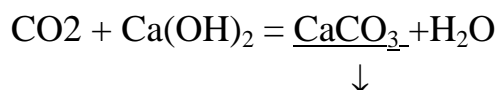
Известкованием воды в той или иной степени устраняется карбонатная и магниевая жесткость воды, но не снижается некарбонатная жесткость воды.

Сущность метода заключается в обработке воды известью  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и содой  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

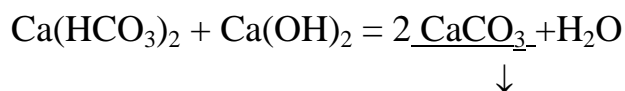
При добавлении  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в виде известкового молока или раствора в первую очередь происходит связывание растворенной в воде углекислоты с



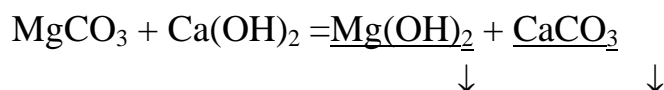
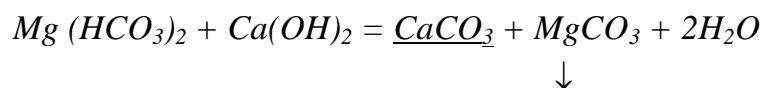
образованием малорастворимого карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$ , выпадающего в осадок.



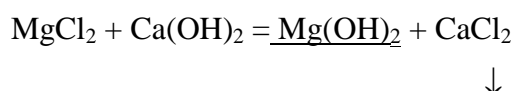
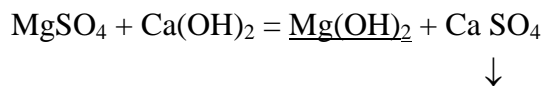
При добавлении извести в большем количестве происходит распад гидрокарбонатов в результате чего выпадает из воды  $\text{CaCO}_3$ .



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

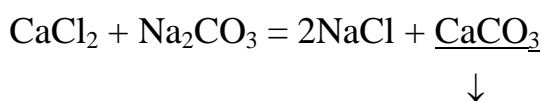
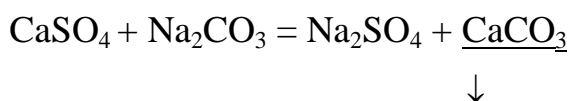


При обработке воды известью происходит также перевод магниевых солей некарбонатной жесткости в малорастворимую гидроокись магния с образованием эквивалентного количества кальциевых солей сильных кислот при  $\text{pH} > 10,2$



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

Для снижения некарбонатной жесткости добавляют соду  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . При этом кальций переводится в осадок



Теоретический предел умягчения воды известкованием без подогрева определяется растворимостью карбоната кальция и гидроксида магния,

которая при  $t=0^{\circ}\text{C}$  соответственно будет равна 0,15 и 0,4 мг-экв/л, а при  $t=80^{\circ}\text{C}$  будет равна 0,03 и 0,2 мг-экв/л. Следовательно, теоретический предел умягчения воды известково-содовым методом без избытка ионов  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{OH}^-$  при  $0^{\circ}\text{C}$  составляет 0,55 мг-экв/л, а при  $80^{\circ}\text{C}$  - 0,23 мг-экв/л. Фактически в природных водах растворимость этих соединений зависит от ионного состава воды и избытка ионов  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{OH}^-$ . Образование коллоидных соединений  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  происходит мгновенно после введения извести и соды. Однако переход из коллоидного состояния в грубодисперсное, при котором  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  выпадают в осадок, занимает длительное время, что увеличивает объем сооружений. Поэтому ее выдерживают меньшее время и практически остаточная жесткость после известково-содового умягчения будет находиться в пределах 0,6-1,2 мг-экв/л.

## **7. Объекты и средства исследования**

Объектом исследования является водопроводная вода из Тульского горводопровода.

Умягчение 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. рН-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, фиксаж.

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 °С, в шестой цилиндр налить воду с температурой 60 °С.

4.5. Согласно полученным данным жесткости и щелочности воды расчетным путем определить дозу извести по CaO по формуле

$$D_{\text{и}} = 28( \text{CO}_2/22,01 + Ж_{\text{к}} + \text{Mg}^{2+}/12 + D_{\text{к}}/e + 0,5) \text{ мг/л,}$$

где

$D_{\text{к}}$  - доза коагулянта  $\text{FeSO}_4$  в пересчете на безводное вещество в мг/л.

Доза коагулянта, согласно СНиП 2.04.02-84\*, принимается в пределах 25-35 мг/л;

$\text{CO}_2$ -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.Кожин Очистка питьевой и технической воды. М. стройиздат, 1971). Солеисодержание исходной воды принять равным 1000 мг/л;

$Ж_{\text{к}}$  - жесткость карбонатная исходной воды в мг-экв/л;

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

$e = 76$  - эквивалентная масса  $\text{FeSO}_4$ ;

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

$$D_{\text{с}} = 53( Ж_{\text{н.к.}} + D_{\text{к}}/76 + 1)$$

где

$Ж_{\text{н.к.}}$  - 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 15 мин;

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 опалесценции воды, содержания мелкой взвеси в отстоянной 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 отстоянной 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 рН 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.<br>изм.  | Номера цилиндров |     |     |     |     |     |
|-------------------------------|--------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                               |              | 1                | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
| Объем воды в цилиндре         | Мл           | 500              | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| W                             | °С           |                  |     |     |     |     | 60  |
| Температура воды              | мг-<br>экв/л |                  |     |     |     |     |     |
| t                             | мг-<br>экв/л |                  |     |     |     |     |     |
| Жесткость общая воды          | мг-<br>экв/л |                  |     |     |     |     |     |
| Жо                            | мг/л         | 5                | 100 | 130 | 160 | 200 | 100 |
| Жесткость карбонатная         | мг/л         |                  |     |     |     |     |     |
| Жк                            | -/-          |                  |     |     |     |     |     |
| Расчетная доза извести по СаО | %            |                  |     |     |     |     |     |
| $D_{и}^{расч}$                | мг/л         |                  |     |     |     |     |     |
| Расчтная доза соды            | мг/л         |                  |     |     |     |     |     |
| $D_c^{расч}$                  | мл           | 30               | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  |
| Доза соды, принимаемая в % от | мл           |                  |     |     |     |     |     |

|  |       |  |  |  |  |  |  |
|--|-------|--|--|--|--|--|--|
| расчетной  | мг/л  |  |  |  |  |  |  |
| Доза соды  | мл    |  |  |  |  |  |  |
| Дс   | мин   |  |  |  |  |  |  |
| Объем 1% раствора извести                        | мин   |  |  |  |  |  |  |
| Wи   |       |  |  |  |  |  |  |
| Объем 1% раствора соды                           |       |  |  |  |  |  |  |
| Wс   | мл    |  |  |  |  |  |  |
| Доза коагулянта FeSO <sub>4</sub>                | мг-   |  |  |  |  |  |  |
| Дк   | экв/л |  |  |  |  |  |  |
| Объем 1% раствора FeSO <sub>4</sub>              | мг-   |  |  |  |  |  |  |
| Wк   | экв/л |  |  |  |  |  |  |
| Время перемешивания                              | %     |  |  |  |  |  |  |
| Тп   |       |  |  |  |  |  |  |
| Время отстаивания                                |       |  |  |  |  |  |  |
| То   |       |  |  |  |  |  |  |
| Ход процесса коагуляции и отстаивания (описание) |       |  |  |  |  |  |  |
| Объем осадка                                     |       |  |  |  |  |  |  |
| Жесткость общая умягч. воды                      |       |  |  |  |  |  |  |
| Жо <sup>ум</sup>                                 |       |  |  |  |  |  |  |
| Жесткость карб. умягч. воды                      |       |  |  |  |  |  |  |
| Жк <sup>ум</sup>                                 |       |  |  |  |  |  |  |
| Эффект умягчения % от Жо                         |       |  |  |  |  |  |  |
| Эо   |       |  |  |  |  |  |  |

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 5

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ВОДЫ

### *Содержание*

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

### **8. Цель и задачи работы**

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

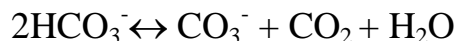
### **2. Основы теории**

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.

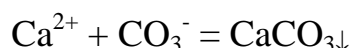
Стабильность воды может нарушаться из-за наличия агрессивной углекислоты или кислорода, низким рН воды, перенасыщенностью воды карбонатом кальция или гидроксидом магния, повышенной концентрацией сульфатов или хлоридов.

В основном стабильность обусловлена равновесным состоянием в растворе углекислотных соединений



и характеризуется тем, что концентрация свободной двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ) соответствует ее равновесной концентрации, необходимой для поддержания в растворе гидрокарбонатных ионов ( $\text{HCO}_3^-$ ).

Если удаляется из воды часть свободной углекислоты, то углекислотное равновесие сдвигается вправо с распадом части гидрокарбонатных ионов на  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{CO}_2$ , который идет до тех пор пока не наступит новое равновесие между концентрацией  $\text{CO}_2$  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.



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  $\text{CO}_2$  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 проектированием 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 соприкасающегося с ней карбоната кальция в растворимый гидрокарбонат кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . 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

$$C_o = \frac{\text{Щ}_{\text{факт}}}{\text{Щ}_{\text{нас}}},$$

где  $\text{Щ}_{\text{факт}}$  - фактическая щелочность исследуемой воды в мг/экв.л;

$\text{Щ}_{\text{нас}}$  - щелочность воды после встряхивания ее с карбонатом кальция в мг/экв.л.

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

$$C_v = \frac{\text{pH}_{\text{факт}}}{\text{pH}_{\text{нас}}},$$

где  $\text{pH}_{\text{факт}}$  - фактическое значение pH исследуемой воды;

$\text{pH}_{\text{нас}}$  - pH воды, соответствующее предельному насыщению ее карбонатом кальция.

При  $C = 1$  вода стабильна.

При  $C < 1$  вода агрессивна,

При  $C > 1$  вода не стабильна и способна к отложению карбоната кальция на омываемых водой поверхностях.

### **3. 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  $\text{Щ}_{\text{факт}}$  на установке для титрования. (См.Руководство по химическому и технологическому анализу. М., Стройиздат , 1973 г.)

Студентам второй подгруппы определить  $\text{pH}_{\text{факт}}$  исследуемой воды на лабораторном рН-метре. (Методику определения см. в инструкции к рН-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 окончании встряхивания снять колбу, 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 рН воды, насыщенной карбонатом кальция.

4.8 Вычислить показатели стабильности воды  $C_o$  и  $C_v$ . 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.
6. Почему изменяется стабильность воды после нагревания.

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 6

## Определение оптимальной дозы коагулянта, необходимой для осветления и обесцвечивания воды.

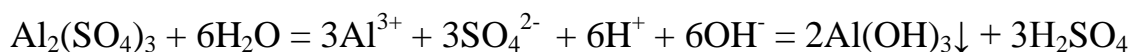
Цель работы: Определение оптимальной дозы коагулянта, необходимой для удаления из исследуемой воды взвешенных и коллоидных загрязнений.

### Основы теории.

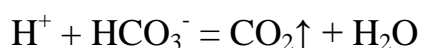
Коагуляция примесей воды – процесс укрупнения коллоидных и взвешенных частиц за счет их взаимодействия и объединения в агрегаты. Завершается процесс отделением агрегата слипшихся частиц и их осаждением.

Коллоидные и взвешенные частицы несут одинаковый заряд, что обуславливает возникновение межмолекулярных сил отталкивания и агрегативную устойчивость.

В технологии очистки воды предусматривается частичное или полное удаление примесей. Поэтому заряд частиц стремятся снизить до нуля или близких к нему величин. Для этого в воду добавляют коагулянт: сульфат алюминия, сульфат железа (I и II), хлорид алюминия, хлорид железа, оксихлорид алюминия и другие вещества, которые образуют хлопья, сорбирующие на своей поверхности частицы примесей. Например, при введении в воду  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  происходит диссоциация и гидролиз его молекул:



Завершается этот процесс нейтрализацией кислоты естественной щелочностью воды:



Если щелочность воды недостаточна, то в воду добавляют известь или соду, т.е. воду подщелачивают.

Требуемое количество реагентов выражают величиной наименьшей дозы безводного сульфата Al для снижения мутности воды до 10 мг/л.

### Методика определения.

В мерные цилиндры  $V=0,5$ л наливают исследуемую воду до метки, затем добавляют различное количество мл раствора  $Al_2(SO_4)_3$  или полиоксихлорида Al из расчета получения его доз в диапазоне, охватывающим оптимальную дозу, которая определяется по Таблице 16 СНиП 2.04.02-84. Содержимое этих цилиндров перемешивают течение 15-20 секунд быстрыми вращательными движениями, затем 3-5 мин. перебивают медленно, имитируя процесс хлопьеобразования и укрупнения взвеси без разрушения хлопьев.

После этого вода отстаивается в течение 30 мин. с наблюдением за хлопьеобразованием и отстаиванием. Отмечают, как влияет температура воды на процесс хлопьеобразования и осаждения. Затем первая подгруппа отбирают сифоном верхний слой воды объемом 100 мл и определяют остаточную мутность на фотоэлектрокалориметре КФК. Вторая подгруппа отбирают сифоном верхний слой воды объемом 200 мл и определяют остаточную мутность путем фильтрования через беззольный бумажный фильтр. Результат считается приемлемым, если содержание взвеси в отстоенной воде будет не более 10 мг/л при минимальной дозе коагулянта.

Результаты исследований записываются в форме в таблице 1 и оформляются графиком в координатах Мутность-Доза коагулянта с определением оптимальной дозы коагулянта

#### Результаты исследования.

Табл.1

| №<br>п/п | Показатели                                 | Ед.<br>изм  | Номера цилиндров |     |     |     |     |     |
|----------|--|-------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|          |  |             | 1                | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
| 1        | Объем воды в цилиндре                      | мл          | 500              | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| 2        | Мутность исследуемой воды                  | мг/л        |                  |     |     |     |     |     |
| 3        | Температура воды                           | $^{\circ}C$ |                  |     |     |     |     | 50  |
| 4        | Доза коагулянта по СНиП                    | мг/л        |                  |     |     |     |     |     |
| 5        | Иссл. доза $Al_2(SO_4)_3$                  | мг/л        |                  |     |     |     |     |     |
| 6        | Объем 1% р-ра $Al_2(SO_4)_3$               | мл          |                  |     |     |     |     |     |
| 7        | Время перемешивания                        | мин         | 5                | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   |
| 8        | Время отстаивания                          | мин         | 30               | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  |
| 9        | Описание процесса коагуляции и отстаивания |             |                  |     |     |     |     |     |
| 10       | Объем отфильтрованной воды                 | мл          |                  |     |     |     |     |     |
| 11       | вес чистого фильтра                        | мг          |                  |     |     |     |     |     |
| 12       | Вес фильтра с осадком                      | мг          |                  |     |     |     |     |     |
| 13       | Вес осадка                                 | мг          |                  |     |     |     |     |     |
| 14       | Остаточная мутность                        | мг/л        |                  |     |     |     |     |     |



---

Вывод: Оптимальная доза коагулянта, необходимая для удаления из исследуемой воды взвешенных и коллоидных загрязнений составляет .....

Выполнил: \_\_\_\_\_

Проверил: \_\_\_\_\_

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 7

## Общие испытания ионообменных материалов (ионитов)

### *Содержание*

- 9. Цель и задачи работы
- 10. Основы теории
- 11. Объекты и средства исследования
- 12. Подготовка к работе и программа работы
- 5. Выводы.

### 9. 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  $P = 8 - 10$  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.

## **8. 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 рассчитана на продолжительность исследования студентами в течение шести академических часов. Средства исследования приведены в разделе 4.

## **9. 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

4. Фильтрующий материал (катионит и анионит).
5. Весы технические с разновесами.
6. Набор сит калибром от 0,16 до 2 мм.
7. 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

| №<br>№<br>п/<br>п | Калибр<br>сита,<br>Мм | Остаток на |   | Прошло через |   |
|-------------------|-----------------------|------------|---|--------------|---|
|                   |                       | сите       |   | 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 рассчитывают коэффициент неоднородности  $K_n$  и эквивалентный диаметр ионита  $d_{\text{экв.}}$ .

$$K_n = d_{80}/d_{10}; \quad d_{\text{экв.}} = \frac{100}{\frac{m_1}{d_1} + \frac{m_2}{d_2} + \frac{m_3}{d_3} + \dots + \frac{m_i}{d_i}};$$

## **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  $100^{\circ}\text{C}$  и после охлаждения в эксикаторе взвешивают.

Содержание влаги  $X_v$  в % определяется по формуле

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

## **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 измеряют объем ионита.

Насыпная масса ионита определяется по формуле

$$G_{\text{н}} = m/V_1,$$

где

$G_{\text{н}}$  – насыпная масса ионита;

$V_1$  – объем навески в мл;

$m$  – масса ионита равная 50 г.

## Г. Масса набухшего ионита, занимающего объем 1 м<sup>3</sup>

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<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> )

Методика выполнения работы

**Первая подгруппа.** 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 V<sub>2</sub> определяется как

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

где

V<sub>1</sub><sup>i</sup> и V<sub>2</sub><sup>i</sup> – объем набухшего ионита в первом и во втором замерах.

Масса набухшего ионита  $G_v$ , занимающая объем  $1 \text{ м}^3$ , определяется как

$$G_v = m / V_2,$$

где

$m$  – масса навески 50 г.

**Вторая подгруппа.** Порядок работы второй подгруппы такой же как и первой, но вместо дистиллированной воды добавляется 10% раствор  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , который наливают в стакан емкостью 500 мл и заливают затем 300 мл 10% раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Через 24 часа пробу отмывают дистиллированной водой до отрицательной реакции на щелочь 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.

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №8

## Определение осаждаемости взвеси на торсионных весах

### *Содержание*

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

### **1. Цель и задачи работы**

Основной целью лабораторной работы является изучение осаждаемости взвеси на торсионных весах, определение гидравлической крупности взвеси исходной воды, ее процентное содержание фракций и на основании этих данных определить параметры натурального отстойника.

### **2. Основы теории**

Основная масса взвешенных в воде веществ и скоагулированных хлопьев удаляется их отстаиванием. Осаждение взвеси происходит под действием сил тяжести. Скорость осаждения частиц зависит от формы, размера и разности плотностей частиц и воды.

Взвешенные вещества природных вод и скоагулированные хлопья состоят из частиц неодинакового размера и плотности. Поэтому характер процесса осаждения определяется опытным путем. По результатам опытов строят кривую осаждения взвеси, с помощью которой определяется расчетная скорость выпадения взвеси.

Данные для построения кривой осаждаемости взвеси определяют с помощью торсионных весов. Для этого в исследуемую воду, содержащую взвесь, помещают в стеклянный цилиндр емкостью 1 л, устанавливаемый под коромыслом торсионных весов. Затем в цилиндр на определенную высоту опускают чашечку, подвешенную на нити к коромыслу весов и включают секундомер.

Через определенные промежутки времени (первое время через 3-5 мин, а затем через 10-15 мин) записывают показания весов. Когда приращение веса осадка в чашке составит менее 1 деления шкалы, опыты прекращают, чашку с осадком извлекают, осадок отмывают дистиллированной водой, фильтруют через заранее взвешенный беззольный фильтр, сушат до постоянного веса и взвешивают. Строят график осаждения взвеси по времени.

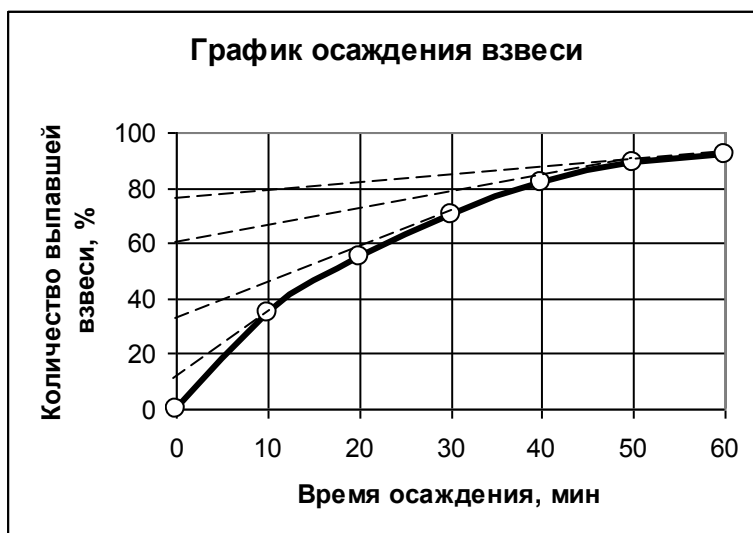


Рис. 1

График осаждения взвеси показан на Рис. 1. Крутой участок характеризует осаждение более крупных частиц взвеси с большей скоростью, пологий - более однородных частиц с меньшей скоростью. Для взвеси одинаковой крупности кривая обращается в прямую линию. Общая масса осевшей взвеси определяется высотой перпендикуляра, опущенного на ось времени.

Для определения массы осевших хлопьев за время  $t$  проводят касательные к соответствующей точке  $t$  кривой до пересечения с осью ординат.

Время выпадения взвеси  $t$  зависит от высоты слоя воды  $h$  в цилиндре. Частное от деления высоты на время характеризует "процентные" скорости выпадения взвеси  $u$  или гидравлическую крупность.

Гидравлическая крупность – скорость осаждения взвеси в воде при  $t = 20^{\circ}\text{C}$ , мм/с.

$$u = \frac{h}{t}$$

$t$  – время отстаивания, сек.

Строят кривую осаждаемости взвеси в координатах "выпадение взвеси в процентах от ее содержания в воде - скорость осаждения взвеси в мм/сек".

**10. Экспериментальная установка.** В состав установки входят торсионные весы, стеклянный мерный цилиндр емкостью 500 мл, секундомер и ручная мешалка.

**11. Ход работы.** Вначале в дистиллированной воде, температура которой соответствует температуре исходной воды, определяют массу чашки весов, для чего под коромыслом весов устанавливается цилиндр с налитой водой. В цилиндр опускают чашку весов и взвешивают. Затем наливают исследуемую воду и перемешивают мешалкой.

Затем осторожно погружают в цилиндр чашку весов и включают секундомер. Через определенные промежутки времени записывают в таблицу показания весов. Когда практически вся взвесь в слое воды  $h$  осядет, замеры заканчивают. Осадок переносят в бюкс, высушивают в сушильном шкафу и взвешивают. Массу осадка вычисляют для всех проведенных отсчетов и заносят в таблицу.

Процентное выпадение взвеси  $P$  определяется по формуле

$$P = K \frac{(M_t - M_o)}{M} 100\%, \text{ где}$$

$M$  - концентрация взвеси в исходной воде, г/л;

$M_t$  и  $M_o$  - отсчеты по весам через  $t$  времени;

$K$  - коэффициент, равный  $K = \frac{F_{ц} \cdot H_{ц}}{F_{ч} \cdot H_{ч}}$

$H_{ч}$  - слой воды в цилиндре над чашечкой, см;

$F_{ч}$  - площадь чашечки, см<sup>2</sup>;

$H_{ц}$  - высота слоя воды в цилиндре, см;

$F_{ц}$  - площадь цилиндра, см<sup>2</sup>;

По результатам опытов определяют процентную скорость выпадения взвеси (гидравлическую крупность)  $u$  и строят кривую выпадения взвеси при высоте столба воды  $h$ .

Задаваясь предельным содержанием взвеси в отстоянной воде  $M_o$  (для некоагулированной взвеси эта величина может быть в пределах 100-200 мг/л), определяют требуемый эффект очистки  $\mathcal{E}$

$$\mathcal{E} = (M - M_o) 100 / M$$

и реальные параметры отстойника, принимая высоту зоны осаждения  $h_p = 2,5-3$  м, горизонтальную скорость движения воды  $V = 10$  мм/с. Для этого с помощью кривой выпадения взвеси находится продолжительность осаждения  $t$ , а затем определяется расчетная продолжительность пребывания воды в отстойнике из соотношения

$$t_p / t = h_p / h ,$$

где

$t_p$  и  $h_p$  -соответственно расчетная высота зоны осаждения и продолжительность пребывания воды в проектируемом отстойнике.

Исходя из полученных данных и горизонтальной скорости движения воды  $V$ , определяют длину отстойника  $L$ , равную

$$L = h_p V_p / u ,$$

предполагая, что траектория движения частицы взвеси с заданной гидравлической крупностью должна обязательно пересекаться с дном отстойника.

Таблица №1

| Время с<br>начала<br>отсчета | Начал.<br>отсчет<br>$M_0$ | Отсчет<br>$M_t$ | Содержание<br>взвеси в<br>чашке<br>$M_t - M_0$ | Высота<br>столба<br>воды, $h$ ,<br>см | Процентное<br>выпадение<br>взвеси, $P$ | Осаждаемость<br>взвеси,<br>$u$ , мм/с |
|------------------------------|---------------------------|-----------------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
|                              |                           |                 |  |                                       |  |                                       |
|                              |                           |                 |  |                                       |  |                                       |
|                              |                           |                 |  |                                       |  |                                       |
|                              |                           |                 |  |                                       |  |                                       |
|                              |                           |                 |  |                                       |  |                                       |

Параметры отстойника при принятой эффективности отстаивания  $\Xi =$

$t_p =$

$h_p =$

$L =$