

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к проведению лабораторных работ по дисциплине
«Урбоэкология»

Донецк
2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Прикладная экология и охрана окружающей среды»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «УРБОЭКОЛОГИЯ»**
для обучающихся по направлению подготовки
05.03.06 «Экология и природопользование»,
профиль «Экологическая безопасность»
всех форм обучения

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры
прикладной экологии и охраны
окружающей среды
Протокол № 7 от 18.02.2021 г.

УТВЕРЖДЕНО
на заседании учебно-издательского
совета ДОННТУ
Протокол № 3 от 10.03.2021 г.

Донецк
2021

УДК 504.058(076)

М54

Составители:

Трошина Елена Анатольевна - кандидат химических наук, доцент кафедры «Прикладная экология и охрана окружающей среды» ГОУВПО «ДОННТУ»;
Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная экология и охрана окружающей среды» ГОУВПО «ДОННТУ»

М54 Методические рекомендации к проведению лабораторных работ по дисциплине «Урбоэкология» : для обучающихся по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование», профиль «Экологическая безопасность» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. прикладной экологии и охраны окружающей среды ; сост.: Е. А. Трошина, С.В. Горбатко. – Донецк : ДОННТУ, 2021. – Систем. требования: Acrobat Reader. – Загл. с титул. экрана.

В методических рекомендациях приведены лабораторные работы, которые должны выполнить студенты, изучающие дисциплину «Урбоэкология». Для каждой лабораторной работы описаны физико-химические основы изучаемого процесса, приведена последовательность выполнения лабораторных работ и методики контроля показателей качества воды.

УДК 504.058(076)

СОДЕРЖАНИЕ

	С.
Введение	5
Лабораторная работа № 1. Умягчение воды известкованием	6
Лабораторная работа № 2. Дезодорация воды углеванием	12
Лабораторная работа № 3. Определение гранулометрического состава загрузки фильтра	18
Лабораторная работа № 4. Обеззараживание воды хлорированием	25
Список рекомендованной литературы	31

ВВЕДЕНИЕ

Одна из основных проблем, которая стоит перед предприятиями коммунального хозяйства – это повышение качества питьевой воды. Качество питьевой воды зависит, с одной стороны, от качества воды источника водоснабжения, а с другой – от способа очистки воды. Основными источниками водоснабжения в нашем регионе являются поверхностные источники, воды которых в значительной степени загрязнены различными веществами. Для достижения требуемых нормативными документами показателей качества питьевой воды природные воды необходимо очищать отстаиванием, фильтрованием, применять сорбционные методы, а также выполнять обеззараживание.

Цель лабораторных работ по курсу «Урбоэкология» – закрепление теоретических знаний, полученных при изучении основ подготовки воды для питьевого водоснабжения [1], приобретение студентами практических навыков по контролю качества воды после различных стадий очистки.

Во время выполнения лабораторных работ студенты составляют, а затем защищают отчет, в котором должно быть приведено:

- название работы;
- цель работы;
- теоретические основы изучаемого процесса;
- краткое описание применяемых методик выполнения работ;
- условия проведения эксперимента, схематическое изображение лабораторных установок;
- результаты исследований и необходимых расчетов, которые оформлены в виде таблиц, графиков и пр.;
- анализ результатов работы и выводы.

Отчет оформляется на стандартных листах формата А4 в соответствии с требованиями, предъявляемыми к оформлению студенческих работ.

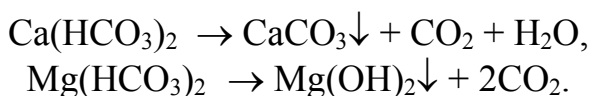
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ ИЗВЕСТКОВАНИЕМ

1.1 Теоретическая часть

Умягчение воды – процесс уменьшения жесткости воды, которая обусловлена содержанием ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} . Жесткость воды измеряют количество миллимолей эквивалентов ионов кальция и магния, содержащихся в 1 дм³ воды. Выделяют временную (карбонатную), постоянную (некарбонатную) и общую жесткость воды, которая равна сумме временной и постоянной. В большинстве случаев жесткость воды в источниках питьевого водоснабжения не выше, чем приведенные в нормативных документах значения [2]. Но при использовании воды в промышленном водопользовании, например, в паросиловом хозяйстве, как правило, требуется уменьшение жесткости воды по сравнению с показателями источника водоснабжения.

Временная (карбонатная) жесткость обусловлена присутствием в воде растворимых гидрокарбонатов кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, постоянная – сульфатов и хлоридов кальция и магния (CaSO_4 , MgSO_4 и CaCl_2 , MgCl_2).

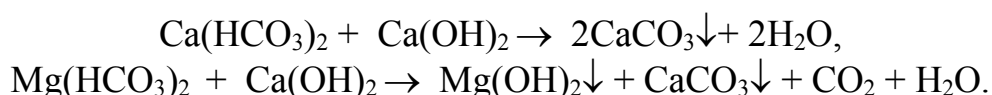
Соли, обуславливающие временную жесткость воды, при нагревании разлагаются согласно следующим уравнениям реакций:



Продукты реакций могут образовывать отложения, называемые карбонатными, на теплопередающих поверхностях, что приводит к снижению эффективности процессов.

В практике водоподготовки наиболее распространены такие методы умягчения, как реагентный и ионообменный. Их используют самостоятельно или комбинируют различные методы. Выбор метода умягчения воды зависит от качества исходной воды, эффекта умягчения и технико-экономических показателей. Среди реагентных методов широко используют умягчение воды с помощью извести (известкование), которое основано на связывании катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в малорастворимые соединения CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ с дальнейшим их выделением.

При добавлении извести в воду, содержащую соли, обуславливающие временную жесткость, протекает взаимодействие согласно реакциям:



Выделение CaCO_3 в осадок возможно при условии, что произведение концентрации ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} выше, чем произведение растворимости карбоната кальция CaCO_3 ($\text{ПР}_{\text{CaCO}_3} = 4,8 \cdot 10^{-9}$, $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$). Осаждение ведут при $\text{pH} = 8,5-9,0$.

Карбонат магния имеет достаточно высокую растворимость, поэтому магний выделяется как $Mg(OH)_2$ при $pH = 10,3-10,5$, что требует увеличения дозы извести. Произведение растворимости $Mg(OH)_2$ равняется $5,5 \cdot 10^{-12}$, гидроксид магния образуется, если произведение концентрации ионов Mg^{2+} и OH^- больше, чем $PR_{Mg(OH)_2}$. Для того, чтобы улучшить условия осаждения полученной взвеси, в воду вместе с известью вводят коагулянт (соединения алюминия или железа).

Однако при добавлении извести не происходит связывание солей постоянной жесткости.

Метод умягчения воды известкованием используют для частичного снижения жесткости (остаточная жесткость $1,4-1,8$ ммоль-экв/дм³). Эффект умягчения воды улучшается с повышением температуры.

Для определения жесткости воды используют титриметрический метод анализа, который основан на точном измерении объема стандартного раствора реагента (титранта), израсходованного на реакцию с анализируемым веществом.

Титрование – это процесс постепенного прибавления раствора титранта (V_T) к точно отмеренному объему анализируемого раствора вещества (V_A) до момента, когда оба вещества полностью прореагируют друг с другом, то есть до момента достижения точки эквивалентности. В точке эквивалентности количество прибавленного титранта эквивалентно количеству анализируемого вещества. При титровании необходимо точно установить момент наступления эквивалентности, т.е. зафиксировать точку эквивалентности. Практически момент эквивалентности устанавливают индикаторным методом по изменению окраски индикатора, 1-2 капли раствора которого добавляют в титруемый раствор.

Расчеты результатов титрования основаны на законе эквивалентов, согласно которому объемы растворов титранта и анализируемого вещества, количественно реагирующих между собой, обратно пропорциональны их концентрациям:

$$V_T/C_A = V_A/C_T,$$

где V_T и V_A – объем раствора титранта и раствора анализируемого вещества соответственно, см³;

C_T и C_A – концентрация раствора титранта и раствора анализируемого вещества соответственно, моль/дм³.

После определения жесткости и других показателей качества воды титриметрическим методом рассчитывают дозу извести.

Дозу извести в перерасчете на CaO , $D_{изв}$, мг/дм³, вычисляют в зависимости от соотношения между концентрацией ионов кальция в воде и карбонатной жесткостью J_K .

Если $[Ca^{2+}] / 20 > J_K$, то

$$D_{изв} = 28 ([CO_2]_{св}/22 + J_K + D_K / Э_K + 0,5). \quad (1.1)$$

Если $[Ca^{2+}] / 20 < J_K$, то

$$D_{\text{изв}} = 28 ([\text{CO}_2]_{\text{св}}/22 + 2J_{\text{к}} - [\text{Ca}^{2+}]/20 + D_{\text{к}}/Э_{\text{к}} + 1). \quad (1.2)$$

В формулах (1.1) – (1.2):

$[\text{CO}_2]_{\text{св}}$ – содержание в воде свободной углекислоты, мг/дм³;

$[\text{Ca}^{2+}]$ – содержание в воде ионов кальция, мг/дм³;

$J_{\text{к}}$ – карбонатная жесткость воды, ммоль-экв/дм³;

$D_{\text{к}}$ – доза коагулянта (на безводное вещество), мг/дм³, для ориентировочных расчетов определяют согласно [3];

$Э_{\text{к}}$ – молярная масса эквивалента активного вещества коагулянта, мг/ммоль;

20 и 22 – масса моля эквивалентов ионов кальция Ca^{2+} и диоксида углерода CO_2 соответственно, мг/ммоль.

Целью работы является изучение процесса умягчения воды известкованием и определение оптимальной дозы извести на основании найденных исходных и конечных показателей качества воды.

1.2 Практическая часть

Аппаратура, посуда, материалы и реактивы:

- магнитная мешалка;
- химические цилиндры емкостью 750 см³ (5 шт.);
- бумага фильтровальная;
- раствор коагулянта (сульфата алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, сульфата железа (II) FeSO_4 или хлорида железа (III) FeCl_3);
- известковая вода с известным содержанием CaO ;
- гидроксид натрия NaOH , 0,02 н раствор;
- соляная кислота 0,1 н раствор;
- Трилон Б 0,1 н раствор.

1.2.1 Определение исходных показателей качества воды

1.2.1.1 Определение содержания CO_2

В коническую колбу емкостью 250 см³ отмеряют пипеткой 100 см³ воды, добавляют 2-3 капли фенолфталеина, закрывают колбу и перемешивают содержимое. Если вода в колбе приобрела розовое окрашивание, то свободная углекислота в пробе отсутствует. Если окрашивание не появилось, то проводят титрование 0,02 н раствором NaOH или Na_2CO_3 до появления розовой окраски, которая не исчезает в течение 5 мин.

Выполняют не менее двух параллельных титрований, расхождение между результатами, которых не должно быть больше, чем 0,2 см³, в противном случае проводят повторное титрование. Результаты титрования заносят в лабораторный журнал, находят среднюю величину.

Содержание свободной углекислоты $[\text{CO}_2]_{\text{св}}$, мг/дм³, рассчитывают по формуле:

$$[\text{CO}_2]_{\text{св}} = 4,4 \cdot V, \quad (1.3)$$

где V – объём 0,02 н раствора NaOH или Na₂CO₃, который пошел на титрование.

1.2.1.2 Определение содержания ионов кальция

В коническую колбу отмеряют пипеткой 100 см³ исследуемой воды, добавляют 5 см³ 10 %-го раствора NaOH и несколько крупинок мурексиды с NaCl. После того, как индикатор растворится, раствор приобретает розовое окрашивание. Пробу титруют 0,1 н раствором Трилона Б, тщательно перемешивая во время титрования, до появления лиловой окраски, которая не изменяется при последующем добавлении Трилона Б. Выполняют не менее двух параллельных титрований, расхождение между результатами которых не должно превышать 0,2 см³, в противном случае проводят повторное титрование. Результаты титрования заносят в лабораторный журнал, находят среднюю величину.

Содержание ионов кальция $[\text{Ca}^{2+}]$, мг/дм³, рассчитывают согласно формуле:

$$[\text{Ca}^{2+}] = V_1 \cdot N_1 \cdot \text{Э}_{\text{Ca}} \cdot 1000/V_2, \quad (1.4)$$

где V_1 - объём раствора Трилона Б, который пошел на титрование, см³;

N_1 - нормальность раствора Трилона Б, моль-экв/дм³;

Э_{Ca} – масса моля эквивалента кальция, $\text{Э}_{\text{Ca}} = 20,04$ г/моль;

V_2 - объём исследуемой воды, см³.

1.2.1.3 Определение общей жесткости воды

В коническую колбу пипеткой отмеряют 100 см³ воды для исследования, добавляют 5-7 см³ аммиачного буферного раствора, 2-3 капли индикатора (хромоген черный или кислотный хром темно-синий) и медленно титруют 0,1 н раствором Трилона Б, тщательно перемешивая, до изменения сиреневой окраски на синюю.

Выполняют не менее двух параллельных титрований, расхождение между результатами которых не должны быть больше, чем 0,2 см³, в противном случае проводят повторное титрование. Результаты титрования заносят в лабораторный журнал, находят среднюю величину.

Общую жесткость воды J_0 , ммоль-экв/дм³, вычисляют согласно формуле:

$$J_0 = V_3 \cdot N_2 \cdot 1000/V_4, \quad (1.5)$$

где V_3 – объём раствора Трилона Б, который использовали на титрование, см³;

N_2 - нормальность раствора Трилона Б, моль-экв/дм³;

V_4 - объем воды для исследования, см^3 .

1.2.1.4 Определение карбонатной жесткости воды

В коническую колбу отмеряют 100 см^3 исследуемой воды, добавляют 2-3 капли метилоранжа и титруют $0,1 \text{ н}$ раствором соляной кислоты до тех пор, пока желтая окраска перейдет в оранжевую. Выполняют не менее двух параллельных титрований, расхождение между результатами которых не должны быть больше, чем $0,2 \text{ см}^3$, в противном случае проводят повторное титрование. Результаты титрования заносят в лабораторный журнал, находят среднюю величину.

Карбонатную жесткость $J_{\text{к}}$, ммоль-экв/ дм^3 , вычисляют по формуле:

$$J_{\text{к}} = V_5 \cdot N_3 \cdot 1000 / V_6, \quad (1.6)$$

где V_5 – объем раствора HCl , который пошел на титрование, см^3 ;

N_3 – нормальность раствора HCl , моль-экв/ дм^3 ;

V_6 – объем воды для исследования, см^3 .

1.2.2 Проведение исследования

В воде, предложенной для анализа, определяют содержание свободной углекислоты (пункт 1.2.1.1), содержание ионов Ca^{2+} (пункт 1.2.1.2), общую и карбонатную жесткость (пункты 1.2.1.3-1.2.1.4) и рН (универсальной индикаторной бумагой или рН-метром).

Согласно формулам (1.1)-(1.2) на основании найденных показателей качества исходной воды рассчитывают дозу извести, предварительно согласовав дозу коагулянта с преподавателем.

Определение влияния величины дозы извести на процессе умягчения воды выполняют следующим образом.

В пять цилиндров емкостью 500 см^3 наливают по 300 см^3 исследуемой воды и добавляют к каждому из цилиндров такие количества известковой воды, которые соответствуют приведенным ниже дозам:

- к первому цилиндру – на 10 мг/дм^3 меньше, чем доза извести, которую подсчитали согласно формулам (1.1) или (1.2);

- ко второму цилиндру – согласно рассчитанной дозе извести;

- к третьему, четвертому и пятому цилиндрам – соответственно на $20, 40$ и 60 мг/дм^3 больше рассчитанной дозы.

Известь прибавляют к исследуемой воде в виде известкового молока (известковой воды) с известным содержанием CaO , предварительно рассчитав необходимый объем реагента. Результаты предварительных расчетов заносят в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Исследование процесса умягчения воды известковой водой

Вода для опыта в колбе №	Доза извести, мг/дм ³	Объем известковой воды, см ³	Жесткость воды, ммоль-экв/дм ³		Содержание СО ₂ , мг/дм ³	рН
			Общая	карбонатная		
Исходная	-	-				
1					-	
2					-	
3					-	
4					-	
5					-	

Жидкость в стаканах тщательно перемешивают, затем добавляют для ускорения процесса осаждения образовавшейся взвеси необходимое количество коагулянта и отстаивают в течение 30 мин. После того, как осадок в стаканах отстоялся, воду фильтруют через бумажный фильтр и определяют жесткость воды (карбонатную и общую) и ее рН (с помощью универсального индикатора или рН-метра). Результаты исследований заносят в таблицу 1.1.

Используя полученные результаты, строят график зависимости значений общей и карбонатной жесткости от дозы извести. Делают выводы.

1.3 Вопросы для самоподготовки

1. Что такое жесткость воды? Какие различают виды жесткости воды? В каких единицах ее измеряют?
2. Какие соли обуславливают временную и постоянную жесткость?
3. Какие вам известны способы умягчения воды? Когда и какой способ необходимо использовать? Почему?
4. Напишите уравнения реакций, протекающих при умягчении воды известью.
5. Какую роль выполняет коагулянт в процессе умягчения воды известью?
6. Каким образом количественно определяют временную и постоянную жесткость воды? В чем суть титриметрического анализа?
7. Что такое нормальная концентрация? Как рассчитать массу моля эквивалента вещества?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ДЕЗОДОРАЦИЯ ВОДЫ УГЛЕВАНИЕМ

2.1 Теоретическая часть

Вода, которую используют для питья, должна иметь высокие органолептические показатели: должна быть бесцветной и прозрачной, не иметь привкусов и запахов, а также не должна содержать вредных минеральных и органических примесей [2]. Для того, чтобы гарантировать необходимые показатели качества воды, используют различные методы. Выбор метода водоподготовки обуславливается природой веществ, которые необходимо удалить [4].

Одним из методов, который используют для улучшения качества воды, является углевание, заключающееся в добавлении к воде активного угля. В результате протекания адсорбции загрязняющих воду веществ на углях (адсорбенте) происходит устранение посторонних привкусов, запахов и органических веществ.

Адсорбция – это самопроизвольный диффузионный процесс, который состоит из трёх стадий:

- а) перенос вещества из воды на поверхность зёрен адсорбента;
- б) непосредственно процесс адсорбции;
- в) перенос вещества внутри зёрен адсорбента.

Обычно лимитирующими стадиями процесса является первая или вторая, но иногда процесс может лимитироваться сразу двумя стадиями (а) и (б).

В зависимости от характера сорбционного взаимодействия адсорбата (поглощаемого вещества) и адсорбента различают физическую и активированную адсорбцию и хемосорбцию. Адсорбирующие свойства сорбента можно охарактеризовать изотермой адсорбции, которая определяет зависимость активности адсорбента (А) от концентрации адсорбата в условиях равновесия и $T = \text{const}$:

$$A = f(C),$$

где С – концентрация адсорбата.

Изотерма адсорбции может быть описана уравнением Фрейндлиха:

$$\Gamma = \alpha \cdot C^{\frac{1}{n}}, \quad (2.1)$$

где Γ – емкость адсорбента (угля), ммоль/г;

С – равновесная концентрация извлекаемого вещества, ммоль/дм³;

α и n – адсорбционные константы.

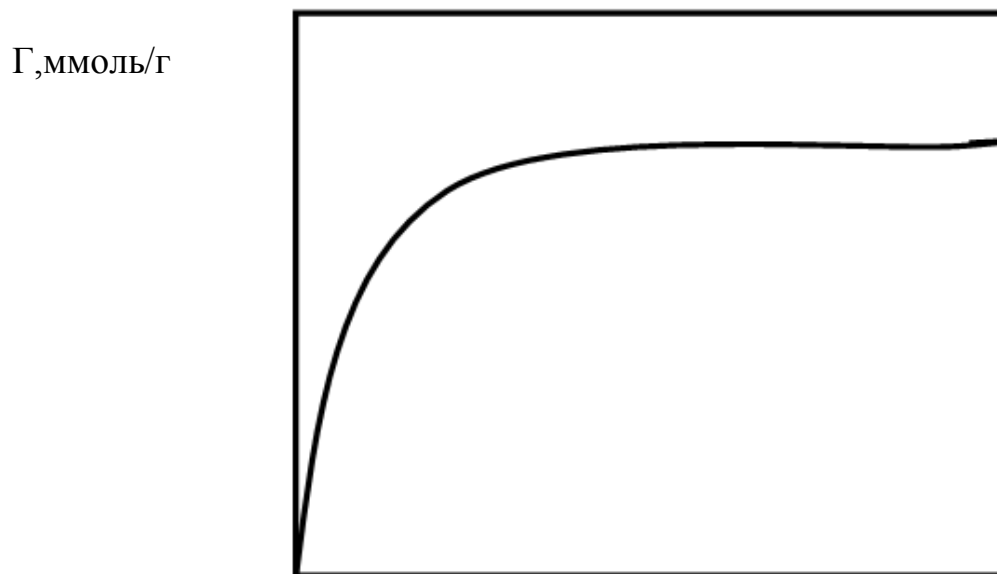
Ёмкость адсорбента Γ можно найти по уравнению:

$$\Gamma = m_{\text{в-ва}} / m_{\text{адс}}, \quad (2.2)$$

где $m_{\text{в-ва}}$ – количество адсорбированного вещества, ммоль;

$m_{\text{адс}}$ – масса адсорбента, г.

Графическое изображение изотермы адсорбции приведено на рисунке 2.1.



$C, \text{моль/дм}^3$

Рисунок 2.1 – Изотерма адсорбции

Если прологарифмировать уравнение (2.1), то получим выражение:

$$\lg \Gamma = \lg \alpha + 1/n \lg C. \quad (2.3)$$

Графически уравнение (2.3) имеет вид прямой (рисунок 2.2).

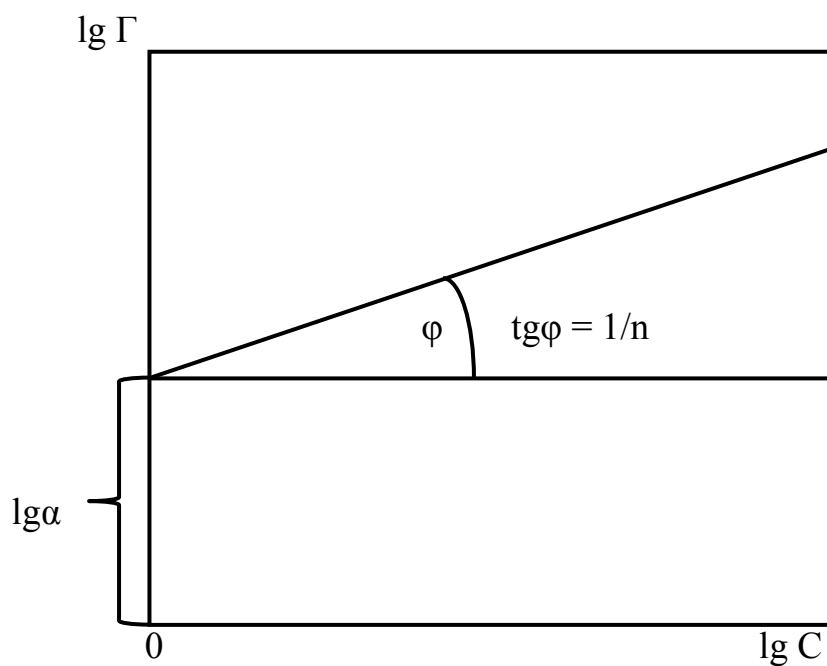


Рисунок 2.2 – Изотерма адсорбции в логарифмических координатах

По этому графику легко найти адсорбционные константы:

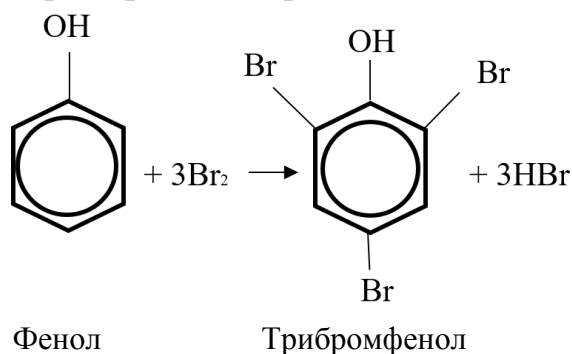
$l g \alpha$ – это отрезок, который отсекает логарифмическая прямая на оси ординат от нуля до точки пересечения с осью абсцисс; зная значение $l g \alpha$, находят величину α ;

$1/n$ – равен тангенсу угла наклона логарифмической прямой к оси абсцисс ($1/n = \operatorname{tg} \varphi$).

Адсорбционные константы позволяют количественно охарактеризовать процесс адсорбции. Величина α характеризует сорбционную емкость вещества при условии, что $C = 1$; коэффициент $1/n$ указывает на вид адсорбционной кривой, что, в свою очередь, характеризует тип взаимодействия в теле адсорбента.

Адсорбционную очистку активными углями используют для удаления из воды молекулярно-дисперсных органических веществ, которые попадают в водоёмы в основном со сточными промышленными водами, в частности, фенола C_6H_5OH [4]. В водоёмы фенол поступает со сточными водами коксохимических, анилино-красочных и других химических предприятий. Это вещество с резким запахом, предельно допустимая концентрация которого в питьевой воде составляет $0,001 \text{ мг/дм}^3$.

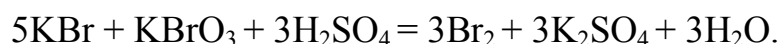
Для определения концентрации фенола в воде используют бромид-броматный метод, который заключается в бромировании фенола с образованием трибромфенола и последующим определением избытка брома после бромирования. Процесс бромирования происходит согласно реакции:



Трибромфенол, который образуется в результате реакции, представляет собой осадок белого цвета.

Бромирование выполняют бромид-броматным раствором, в состав которого входят бромид калия KBr и бромат калия $KBrO_3$.

В кислой среде эти соли взаимодействуют с образованием брома:



Выделившийся бром вступает в реакцию с фенолом в эквивалентных количествах, избыток брома определяют йодометрическим методом, который заключается в титровании исследуемого раствора тиосульфатом натрия $Na_2S_2O_3$ в присутствии иодида калия KI и крахмала.

Целью данной работы является изучение процесса дезодорации воды с помощью углевания, определение адсорбционной емкости активного угля относительно фенола и адсорбционных констант в уравнении Фрейндлиха..

2.2 Практическая часть

2.2.1 Определение сорбционных характеристик активного угля

Реактивы:

- активный уголь;
- фенол, раствор концентрации 10 г/дм³;
- бромид-броматный раствор (см. пункт 2.2.3);
- серная кислота H₂SO₄ (1:3);
- йодид калия KI, крист.;
- тиосульфат натрия Na₂S₂O₃ 0,1 н раствор;
- крахмал, 1 %-ый раствор.

В шесть колб емкостью 250 см³ помещают активный уголь массой 0,5 г. Предварительно готовят растворы фенола.

Для этого в мерные колбы емкостью 200 см³ вносят рабочий раствор фенола концентрацией 10 г/дм³ в количествах, приведённых в таблице 2.1, и доводят водой до метки. Полученные растворы переносят в колбы с навесками активного угля.

Рассчитывают концентрацию приготовленных растворов фенола (мг/дм³, ммоль/дм³), полученные величины заносят в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристика исходных растворов фенола

Номер колбы	1	2	3	4	5	6
Количество раствора фенола, см ³	2	4	8	12	16	20
Количество воды, см ³	198	196	192	188	184	180
Концентрация фенола, мг/дм ³						
Концентрация фенола, ммоль/дм ³						

Колбы с навесками угля и растворами фенола закрывают пробками и взбалтывают в течение 10 мин. Потом уголь отфильтровывают и определяют равновесные (остаточные) концентрации фенола согласно пункту 2.2.2.

Для этого предварительно в конические колбы отбирают объемы фильтратов, приведённые в таблице 2.2.

Результаты определения равновесной концентрации по п. 2.2.2 заносят в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты определения равновесной концентрации фенола

Номер колбы	1	2	3	4	5	6
Количество фильтрата, см ³	100	50	25	25	10	10
Объем бромид-броматного раствора, см ³						
Объем раствора Na ₂ S ₂ O ₃ , см ³						
Равновесная концентрация фенола, C _p , ммоль/дм ³						

Количество фенола Γ , ммоль/г, которое сорбирует 1г активного угля (адсорбционная емкость), вычисляют по формуле:

$$\Gamma = \frac{[C - C_p] \cdot 200}{1000 \cdot 0.5},$$

где C – исходная концентрация фенола, ммоль/дм³ (согласно таблице 2.1);

C_p – равновесная (остаточная) концентрация фенола, ммоль/дм³;

200 – объем раствора фенола, добавленного к навеске угля, см³;

0,5 – масса угля, г.

Полученные значения адсорбционной емкости для каждого опыта заносят в таблицу 2.3.

После того, как была рассчитана адсорбционная емкость активного угля при различных равновесных концентрациях, строят изотерму адсорбции в обычных и логарифмических координатах и рассчитывают адсорбционные константы. Результаты исследований и расчетов заносят в таблицу 2.3. Делают выводы, приводят уравнения Фрейндлиха с полученными значениями адсорбционных констант.

2.2.2 Определение остаточной концентрации фенола

К колбам, в которые отобраны определенные количества фильтратов, добавляют пипеткой 10 см³ 0,1 н бромид-броматного раствора (пункт 2.2.3),

Таблица 2.3 – Результаты исследований процесса углевания

Номер колбы	1	2	3	4	5	6
Навеска угля, г						
Исходная концентрация фенола, ммоль/дм ³						
Равновесная концентрация фенола, С _р , ммоль/дм ³						
Адсорбционная емкость, Г, ммоль/г						
1г Г, ммоль/г						
1г С _р						
α						
1/n						

10 см³ раствора серной кислоты H₂SO₄ (1:3), закрывают пробками и оставляют отстаиваться 10 мин.

За это время происходит бромирование фенола, а образующийся трибромфенол выпадает в виде белого осадка.

Для определения количества не прореагировавшего в реакции брома в колбу добавляют 1 г йодида калия, закрывают пробкой и оставляют на 3-5 мин.

Бром вытесняет из йодида калия йод, который оттитровывают 0,1 н раствором тиосульфата натрия в присутствии крахмала.

Равновесную концентрацию фенола С_р, ммоль/дм³, вычисляют по формуле:

$$C_p = \frac{(V - V_1) \cdot N \cdot 1000}{V_2 \cdot 6},$$

где V – объем бромид-броматного раствора, см³;

V₁ – объем раствора тиосульфата натрия, который пошел на титрование, см³;

N – нормальность раствора тиосульфата натрия, моль-экв/дм³;

V₂ – объём анализируемого раствора фенола, см³;

6 – коэффициент, который учитывает переход от нормальной концентрации фенола к молярной.

2.2.3 Приготовление бромид-броматного раствора

Реактивы:

- бромид калия KBr крист.;
- бромат калия $KBrO_3$ крист.;

Предварительно реактивы высушиваются в сушильном шкафу при температуре $110\text{ }^{\circ}C$. Берут навеску $KBrO_3$, равную $2,7840\text{ г}$ (на аналитических весах) и количественно переносят в мерную колбу емкостью 1 дм^3 , добавляют 10 г бромида калия, смесь разбавляют и доводят до метки. Концентрация полученного раствора $0,1\text{ моль-экв/дм}^3$.

2.3 Вопросы для самоподготовки

1. В каких случаях применяют углевание? В чем суть этого метода? Какие показатели качества воды можно улучшить углеванием?
2. Как можно охарактеризовать сорбционные свойства вещества? Какие эмпирические уравнения описывают сорбционные процессы?
3. Приведите уравнение Фрейндлиха. Каков физический смысл коэффициентов в уравнении Фрейндлиха?
4. Приведите вид адсорбционной кривой в явных и логарифмических координатах. Как зависит сорбционная емкость вещества от равновесной концентрации? Как найти коэффициенты в уравнении Фрейндлиха?
5. Какие факторы влияют на сорбционные свойства вещества?
6. Как определяют содержание фенола в воде? Привести уравнения протекающих реакций.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗАГРУЗКИ ФИЛЬТРА

3.1 Теоретическая часть

Завершающей стадией удаления из воды взвешенных веществ различного происхождения (природных и образовавшихся в процессах реагентной обработки) в процессах водоподготовки является фильтрование. Фильтрование осуществляется в большинстве случаев при прохождении воды через слой фильтрующих материалов, которые загружены в специальные сооружения – фильтры. Эффект фильтрования зависит от количества и размеров взвешенных примесей в воде, скорости фильтрования и размеров зерен загрузки.

Фильтры с зернистой загрузкой, широко используемые для осветления природных вод, применяют также для доочистки сточных вод, прошедших сооружения биологической очистки, для выделения нефтепродуктов и смол из

сточных вод и т. д.

При фильтровании очищаемых вод через слои песка или другого зернистого материала могут протекать следующие процессы:

- отложение взвешенных веществ в виде тонкого слоя на поверхности фильтрующего слоя («пленочное» фильтрование);
- отложение взвешенных веществ в порах фильтрующего слоя;
- отложение части взвешенных веществ в пленке и части – в порах фильтрующего слоя.

Извлечение взвешенных частиц из воды и их закрепление на зернах фильтрующей загрузки происходит под действием сил прилипания (контактная коагуляция). Явления контактной коагуляции и отрыва частиц определяют ход процесса осветления воды.

В процессах водоподготовки и осветления сточных вод применяют различные конструкции зернистых фильтров и различные виды фильтрующих материалов [3].

По скорости фильтрования зернистые фильтры подразделяют на медленные (менее 0,5 м/ч), скорые (2-15 м/ч) и сверхскорые (более 25 м/с). Фильтры бывают открытые и закрытые, мелкозернистые (с размером частиц верхнего слоя загрузки менее 0,4 мм), среднезернистые (0,4-0,8 мм) и крупнозернистые (более 0,8 мм).

К фильтрующим материалам предъявляется ряд требований. Они должны обладать определенным фракционным составом, механической прочностью (на истирание и измельчение), химической стойкостью к воде и ее примесям, должны быть доступными и иметь невысокую стоимость.

Фракционный состав зерен фильтрующей загрузки определяет производительность фильтров. Использование очень крупного фильтрующего материала приводит к увеличению пропускной способности фильтра и снижению качества фильтрата. И наоборот, мелкий фильтрующий материал вызывает уменьшение продолжительности фильтрования и перерасход промывной воды. Увеличение степени неоднородности зерен загрузки ухудшает условия промывки фильтрующего материала, а также обуславливает концентрирование мелких частиц на поверхности загрузки вследствие гидравлической классификации частиц при промывке. Последнее приводит к образованию на поверхности фильтрующего слоя пленки, состоящей из взвешенных частиц и препятствующей фильтрованию воды.

Недостаточная механическая прочность фильтрующего материала способствует увеличению гидравлического сопротивления загрузки и уносу материала промывной водой.

Химическая стойкость материала загрузки – одно из основных требований, предотвращающих загрязнение очищаемой воды и изменение свойств фильтрующего материала в процессе эксплуатации фильтров.

Наиболее широко применяются следующие фильтрующие материалы: кварцевый песок, дробленый антрацит, кварц, мрамор, керамическая крошка, доломит, магнезит и др. В последнее время получили распространение керамзит,

пористые пластмассы (полистирол, полиуретан), горелые породы и др. Для загрузки фильтров применяют среднезернистый (размеры зерен 0,35-1,5 мм) и крупнозернистый песок (0,5-2,0 мм). Загрузка фильтров может быть однослойной или многослойной.

Отклонения фракционного состава и однородности загрузки может привести к нарушениям в работе фильтра. Когда размер зерен фильтра больше, чем нужен по проекту, возможно снижение качества осветляемой воды. Использование более мелких фракций приводит к уменьшению периода эксплуатации фильтра и подорожанию процесса очистки воды. Кроме этого, использование загрузки, для которой степень неоднородности по размеру зерен больше допустимой, ухудшает условия эксплуатации и промывки фильтров.

Возможность применения зернистого материала оценивают коэффициентом неоднородности [3]:

$$K_{\text{неод}} = \frac{d(80)}{d(10)},$$

где $d(80)$ – диаметр частиц загрузки, масса которых составляет 80 % массы от общей массы загрузки, мм;

$d(10)$ - диаметр частиц загрузки, масса которых составляет 10 % массы от общей массы загрузки, мм.

Условием применения зернистого материала является $K_n \leq 2,2$.

Некоторые характеристики зернистых фильтров приведены в таблице 3.1.

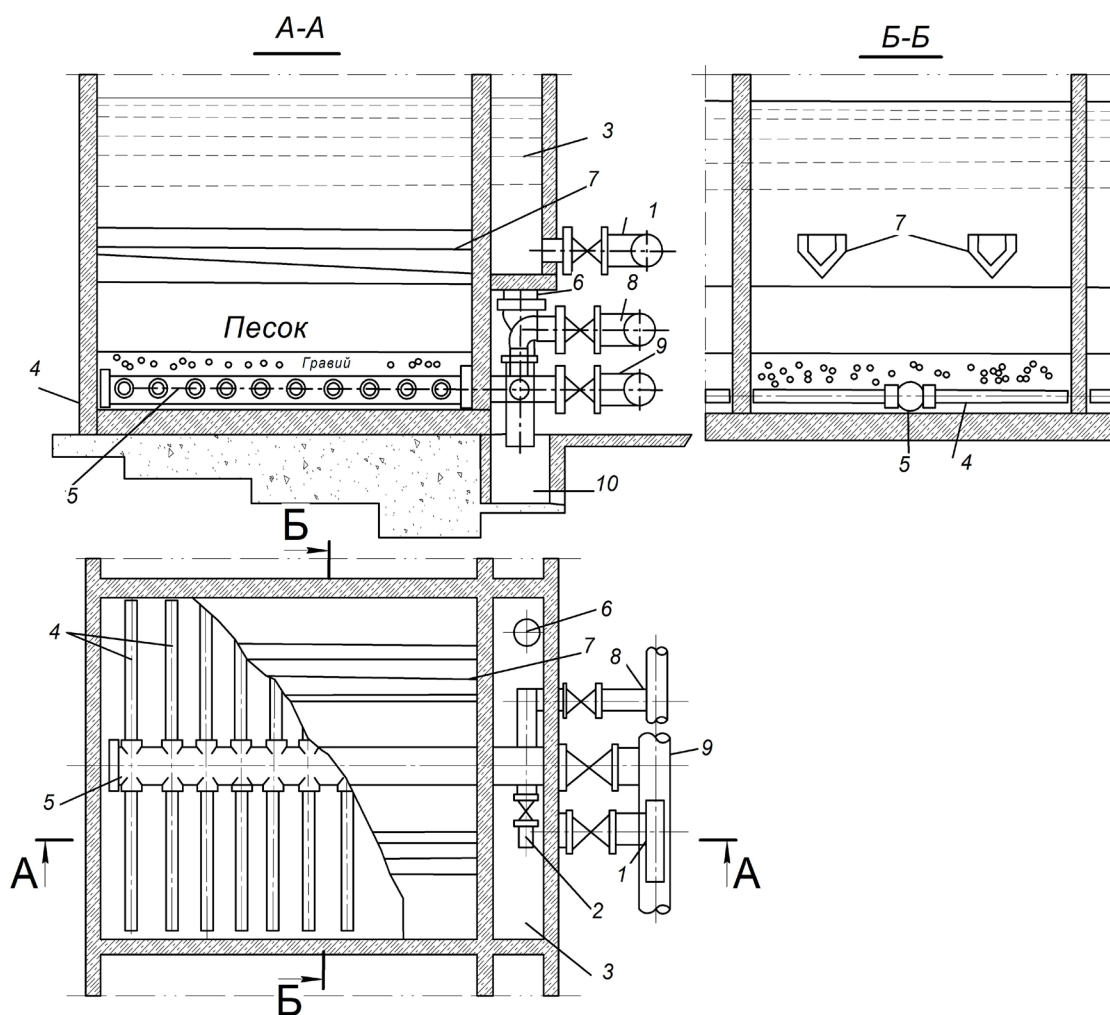
Таблица 3.1 - Характеристика зернистых фильтров

Материал	Размер частиц, мм	Высота слоя, м	Скорость фильтрования, м/ч
Кварцевый песок	0,5-1,2	0,7-0,8	5-6
	0,7-1,6	1,3-1,5	6-8
	0,8-2,0	1,8-2,0	8-10
Дробленный керамзит	0,5-1,2	0,7-0,8	6-7
	0,7-1,6	1,3-1,5	7-9,5
	0,8-2,0	1,8-2,0	9,5-12

В процессах водоподготовки и очистки сточных вод широко применяют открытые фильтры.

Открытый фильтр (рис. 3.1) обычно представляет собой прямоугольный в плане резервуар, загруженный фильтрующим слоем зернистого материала и поддерживающими слоями, под которыми размещена дренажная система, предназначенная для отвода фильтрованной воды и равномерного распределения промывной воды.

В верхней части фильтра укреплены желоба для подачи исходной воды и отвода грязной промывной воды. Вдоль фильтра размещена аппаратура для управления работой фильтра, в том числе регуляторы скорости фильтрования или расходомер с регулятором для фильтрата. Высота слоя воды над загрузкой фильтра принимается обычно не менее 2 м.



1 – трубопровод для исходной воды; 2 – трубопровод для сброса первого фильтрата; 3 – карман; 4 – ответвления трубчатого дренажа; 5 – коллектор дренажа; 6 – трубопровод для сброса промывных вод из кармана фильтра в канал; 7 – промывные желоба; 8 – трубопровод для отвода фильтрованной воды; 9 – трубопровод для промывной воды; 10 – канал для сброса промывных вод

Рисунок 3.1 – Скорый открытый фильтр

По мере работы фильтра увеличивается толщина пленки загрязнений на поверхности и в толще фильтрующей загрузки, возрастает глубина проникновения частиц в загрузку, увеличивается сопротивление фильтра и снижается скорость фильтрования. При правильном подборе материала и крупности зерен загрузки, а также толщины фильтрующего слоя предельно

допустимое снижение скорости фильтрования совпадает по времени с ухудшением качества фильтрата.

Высоту слоя фильтрующей загрузки выбирают в зависимости от гранулометрического состава зерен загрузки, характера загрязняющих гетерофазных примесей, требуемой эффективности очистки воды, принятой скорости фильтрования и т. д.

Для осветления вод, как правило, применяют скорые открытые фильтры. Скорость фильтрования обычно составляет 5-10 м/ч.

Грязеемкость фильтра характеризуется количеством загрязнений в килограммах, удаляемых с 1 м² поверхности фильтра в единицу времени. По мере исчерпания грязеемкости наблюдается «проскок» взвешенных веществ в фильтрат и фильтр включают на промывку. Промывные воды подаются снизу-вверх через слой загрузки, вымывая удержанные загрязнения. Время от начала предыдущего фильтрования до начала последующего фильтрования после промывки составляет фильтроцикл зернистого фильтра.

Продолжительность фильтроцикла зависит от многих факторов: содержания и свойств примесей, скорости фильтрования, высоты слоя загрузки, гранулометрического состава материала загрузки и др.

Гранулометрический состав фильтрующих материалов в процессах очистки воды определяют ситовым анализом: измельченный материал просеивают через сита с разными размерами отверстий в каждом и вычисляют содержание каждой фракции.

Целью работы является определение гранулометрического состава загрузки фильтра и коэффициента неоднородности $K_{неод}$ зерен фильтрующего материала весовым и графическим методами.

3.2 Практическая часть

Аппаратура и материалы:

- весы технические;
- сушильный шкаф;
- набор сит;
- фильтрующий материал (песок или антрацит).

Согласно заданию преподавателя отбирают несколько сит таким образом, чтобы разница в смежных калибрах сит была не более 0,25 мм и ставят сита одно на другое, последовательно увеличивая калибр сита.

Пробу фильтрующего материала высушивают в сушильном шкафу при температуре 105-110 °С до постоянной массы. Потом на технических весах взвешивают 100-200 г материала и переносят на верхнее сито с наибольшими отверстиями и тщательно просеивают в течение 15 мин. Остатки на ситах взвешивают и их массы заносят в таблицу 3.2.

Согласно данным ситового анализа вычисляют:

- а) диаметр зернистого материала, масса которого составляет 10 % от общей массы загрузки, мм, и который находят по формуле:

Таблица 3.2 – Результаты отсева зернистого материала

Калибр сита, мм*	Осталось на сите,		Прошло через сито,	
	г	%	г	%
0,25				
0,5				
1,0				
2,0				

*Калибр сита согласуется с преподавателем

$$d(10) = \frac{[d(s+1) - d(s)] \cdot [10 - m(s)]}{m(s+1) - m(s)} + d(s), \quad (3.1)$$

где $d(s+1)$ – калибр ближайшего сита, через которое прошло больше 10 % массы всего материала, мм;

$d(s)$ – калибр ближайшего сита, через которое прошло меньше 10 % массы всего материала, мм;

$m(s)$ – количество материала, которое прошло через сито калибра $d(s)$, %;

$m(s+1)$ – количество материала, который прошел сквозь сито калибра $d(s+1)$, %;

б) диаметр зернистого материала, масса которого составляет 50 % от общей массы загрузки, мм:

$$d(50) = \frac{[d(n+1) - d(n)] \cdot [50 - m(n)]}{m(n+1) - m(n)} + d(n), \quad (3.2)$$

где $d(n+1)$ – калибр ближайшего сита, через которое прошло больше 50 % всего материала, мм;

$d(n)$ – калибр ближайшего сита, через которое прошло меньше 50 % всего материала, мм;

$m(n)$ – количество материала, которое прошло через сито калибра $d(n)$, %;

$m(n+1)$ – количество материала, которое прошло через сито калибра $d(n+1)$, %;

в) диаметр зернистого материала, масса которого составляет 80 % от общей массы загрузки, мм:

$$d(80) = \frac{[d(k+1) - d(k)] \cdot [80 - m(k)]}{m(k+1) - m(k)} + d(k), \quad (3.3)$$

где $d(k+1)$ – калибр ближайшего сита, через которое прошло больше 80 % всего материала, мм;

$d(k)$ – калибр ближайшего сита, через которое прошло меньше 80 % всего материала, мм;

$m(k)$ – количество материала, которое прошло через сито калибра $d(k)$, %;

$m(k+1)$ – количество материала, которое прошло через сито калибра $d(k+1)$, %;

г) коэффициент неоднородности $K_{неод}$ зерен материала, который равен отношению калибра сита, через которое прошло 80 % зернистого материала, к калибру сита, через которое прошло 10 % этого же материала:

$$K_{неод} = \frac{d(80)}{d(10)}. \quad (3.4)$$

Согласно [3] необходимо использовать зернистый материал с коэффициентом неоднородности не больше, чем 2,2.

Диаметры зернистого материала (соответственно 10, 50 и 80 % массы) также находят с помощью графика ситового анализа, который строят по данным таблицы 3.2.

Вид графика приведен на рисунке 3.2.

Количество песка,
которое прошло
через сито, %

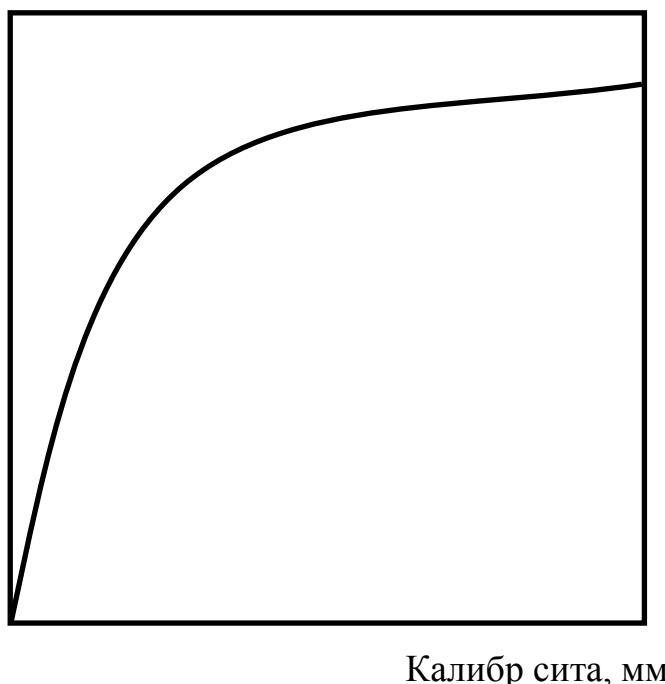


Рисунок 3.2 – График ситового анализа песка

На оси абсцисс откладывают калибр сита, на оси ординат – количество зернистого материала, которое прошло через сито. От точек на оси ординат 10 %, 50 % и 80 % проводят прямые до пересечения с построенной по экспериментальным данным кривой и проводят перпендикуляры к оси абсцисс.

Эти перпендикуляры укажут на оси абсцисс значение диаметров частиц зернистой загрузки, массы которых составляют 10, 50 и 80 % соответственно всей массы загрузки. Затем по полученным графически данным находят коэффициент неоднородности.

На основе полученных значений коэффициента неоднородности делают выводы о возможности использования зернистой загрузки.

3.3 Вопросы для самоподготовки

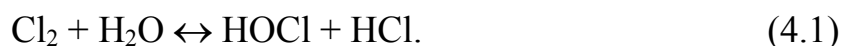
1. С какой целью выполняют фильтрацию воды? На каком этапе процесса подготовки воды для питьевого водоснабжения его проводят?
2. Какие процессы протекают при фильтрации воды через слой зернистой загрузки? Какое явление определяет ход процесса фильтрации?
3. Какие существуют классификации зернистых фильтров?
4. Какие требования предъявляют к фильтрующим материалам? Почему?
5. Каким образом фракционный состав загрузки фильтра влияет на эффективность процесса осветления воды? Почему?
6. Что такое коэффициент неоднородности зернистого материала? Как его определить?
7. Что такое график ситового анализа? Какую информацию можно получить из этого графика?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ ХЛОРИРОВАНИЕМ

1.1 Теоретическая часть

Хлорирование относится к деструктивным реагентным методам очистки воды. Этот метод используют для обезвреживания токсичных примесей (цианидов, соединений мышьяка и др.), для обеззараживания и дезодорирования воды. Наиболее широко для хлорирования применяют хлор, который дозируют в виде хлорной воды, также используют соединения хлора, такие, как гипохлориты кальция и натрия, хлорная известь, диоксид хлора.

Наиболее часто для обеззараживания воды применяют молекулярный хлор. Процесс его растворения в воде сопровождается гидролизом, который описывается следующим уравнением:



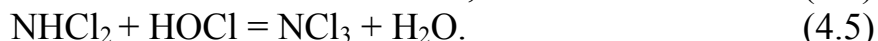
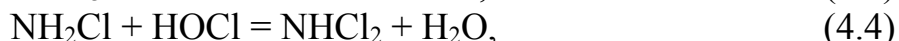
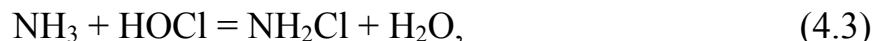
В результате гидролиза образуются хлорноватистая HOCl и соляная HCl кислоты. В щелочной среде хлорноватистая кислота диссоциирует согласно уравнению:



Окислительными свойствами обладают свободный (молекулярный) хлор Cl_2 , хлорноватистая кислота HOCl и гипохлорит-ион OCl^- . Суммарное содержание этих веществ в воде называют «свободным» хлором.

На процессы, протекающие при хлорировании как сточных вод, так и в процессах водоподготовки, влияет примесной состав воды, в частности, наличие аммиака или его производных, а также органических веществ, содержащих аминогруппу.

Если в хлорируемой воде содержатся аммиак NH_3 или его производные, то образуются моно-, ди- и трихлорамины (NH_2Cl , NHCl_2 , NCl_3 соответственно):



Протекание реакций (4.3)-(4.5) определяется величиной рН: с увеличением рН воды все меньшее количество хлора связывается в NHCl_2 , при рН = 8 в воде присутствует только монохлорамин NH_2Cl , NCl_3 практически не образуется.

Хлор, находящийся в воде в виде хлораминов, называют «связанным» хлором.

Связанный хлор также обладает бактерицидными свойствами, причем бактерицидность изменяется в ряду:



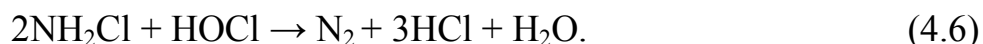
Сумма свободного (Cl_2 , HOCl и OCl^-) и связанного в хлорамины хлора принято называть «активным хлором».

В практике, чтобы добиться полного обеззараживания воды, задают величину остаточного хлора, т.е. количество хлора, остающееся в воде после протекания всех окислительн-восстановительных реакций. Как правило, величина остаточного хлора составляет 0,5 мг/дм³ [3], и исходя из этой величины определяют дозу хлора.

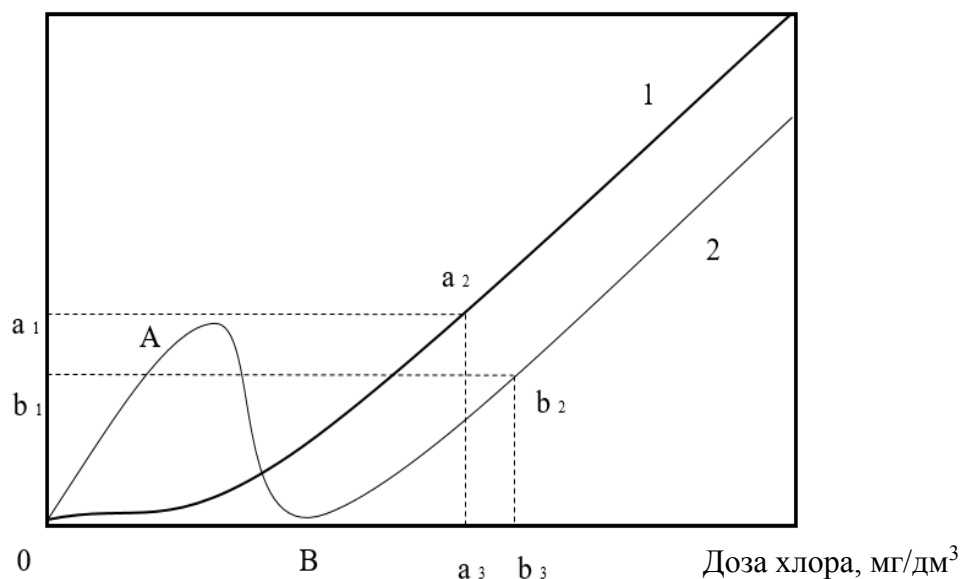
Дозу хлора определяют согласно графикам хлоропоглощаемости воды. Эти графики имеют вид, приведенный на рисунке 4.1.

Кривая 1 характеризует изменение концентрации остаточного хлора при увеличении дозы хлора в случае отсутствия в воде аммиака. Заданному остаточному хлору a_1 отвечает доза хлора a_3 .

Во втором случае (кривая 2) вводимый в воду хлор будет связываться в хлорамины согласно реакциям (4.3)-(4.5). При молярном соотношении $\nu(\text{Cl}_2) : \nu(\text{NH}_3) < 1,1$ будут образовываться моно- и дихлорамины, соотношения между концентрациями которых определяется величиной рН воды. Процессу связывания всего введенного хлора в хлорамины соответствует участок ОА на кривой хлоропоглощаемости. Дальнейшее увеличение дозы хлора приводит к окислению моно- и дихлораминов хлорноватистой кислотой, образующейся при гидролизе молекул хлора:



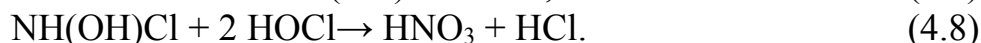
Концентрация
остаточного
хлора, мг/дм³



1 – в воде отсутствует NH₃ и его соединения;
2 – в воде присутствует NH₃ и его соединения

Рисунок 4.1 – Кривые хлоропоглощаемости воды

Параллельно протекают процессы:



По мере увеличения дозы хлора окислительные процессы идут интенсивнее, величина остаточного хлора уменьшается (участок АВ кривой 2).

При доведении молярного соотношения $\nu(\text{Cl}_2) : \nu(\text{NH}_3) = 2$ (10 мг хлора на 1 мг азота в виде NH₃) все хлорамины оказываются окисленными – содержание остаточного хлора снижается практически до 0 (точка В, точка перелома).

Дальнейшее увеличение дозы хлора приводит к повышению концентрации остаточного хлора. В этом случае дозу хлора выбирают таким образом, чтобы попасть за точку перелома (заданному значению остаточного хлора b_1 отвечает доза хлора b_3).

Целью работы является определение некоторых технологических параметров процесса обеззараживания воды хлорированием, а именно по результатам пробного хлорирования построение графика хлоропоглощаемости и определение дозы хлора, обеспечивающей заданную величину остаточного хлора.

4.2 Практическая часть

Дозу хлора определяют по результатам пробного хлорирования исследуемой воды хлорной водой, которую готовят самостоятельно.

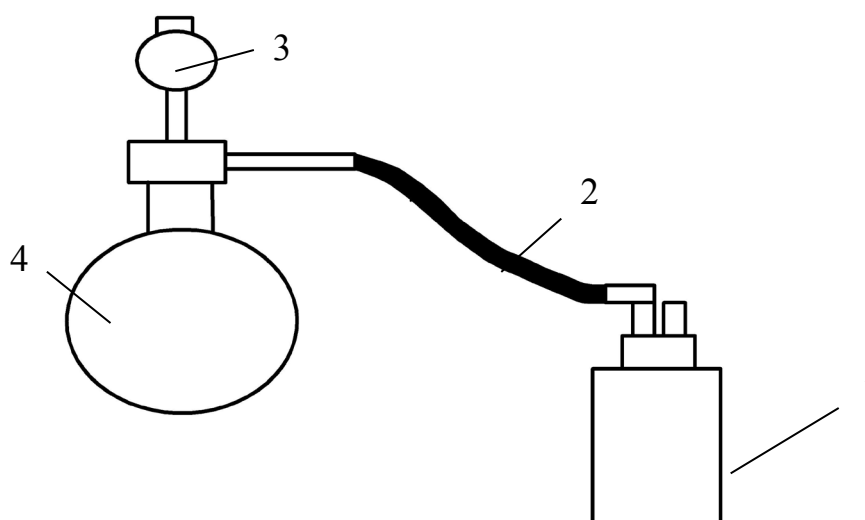
4.2.1 Приготовление исходного раствора хлорной воды

Реактивы:

- перманганат калия KMnO_4 ;
- соляная кислота HCl конц.

В колбу темного стекла с притертой пробкой, в которую вставлена трубка, наливают 500 см^3 дистиллированной воды.

В колбу Вюрца насыпают 10 г перманганата калия KMnO_4 и присоединяют капельную воронку, в которую наливают около 25 см^3 концентрированной соляной кислоты (рисунок 4.2).



1 – колба для получения хлорной воды; 2 – резиновая трубка;
3 – капельная воронка; 4 - колба Вюрца

Рисунок 4.2 – Установка для получения хлорной воды

Аккуратно открывают кран в капельной воронке и добавляют по каплям соляную кислоту в колбу Вюрца. В результате взаимодействия соляной кислоты и перманганата калия образуется хлор согласно реакции:



Выделяющийся газообразный хлор растворяется в дистиллированной воде с образованием раствора хлорной воды.

После того, как будет добавлена вся кислота, закрывают кран на воронке и после прекращения выделения хлора отсоединяют емкость с хлорной водой и тщательно ее закрывают.

Содержание хлора в полученном растворе хлорной воде определяют йодометрическим методом (пункт 4.2.2).

После определения содержания хлора в приготовленной хлорной воде, готовят с помощью разбавления исходного раствора рабочий раствор хлорной воды, в котором концентрация хлора будет равна $0,1 \text{ мг/см}^3$. Предварительно подсчитывают количество исходной хлорной воды, которая потребуется для

приготовления 200 см³ рабочего раствора. После приготовления рабочего раствора в нем определяют содержание активного хлора (пункт 4.2.2).

4.2.2 Определение содержания активного хлора в воде йодометрическим методом

Реактивы:

- уксусная кислота CH₃COOH (конц.);
- йодид калия KI крист.;
- тиосульфат натрия Na₂S₂O₃, 0,01н раствор;
- крахмал, 1 %-ый раствор.

В коническую колбу с притертой пробкой приливают 2 см³ уксусной кислоты, всыпают 1 г йодида KI (взвесить на технических весах), добавляют 50 см³ дистиллированной воды и с помощью мерной пипетки переносят 5 см³ анализируемого раствора. Колбу закрывают пробкой и перемешивают содержимое.

В полученный раствор добавляют 4-5 капель раствора крахмала и титруют 0,01н раствором Na₂S₂O₃ до исчезновения синего окрашивания. Титрование повторяют 2-3 раза. Результаты титрования заносят в лабораторный журнал, находят среднюю величину.

Содержание хлора вычисляют по формуле:

$$A = V \cdot N \cdot 35,5/V_0, \quad (4.9)$$

где V – количество раствора Na₂S₂O₃, который пошел на титрование, см³;

N – нормальность раствора Na₂S₂O₃, ммоль-экв/дм³;

V₀ – объем исследуемой воды, см³.

4.2.3 Выполнение пробного хлорирования

Реактивы:

- йодид калия KI, 10 %-ый раствор;
- ацетатно-буферный раствор;
- тиосульфат натрия Na₂S₂O₃, 0,005н раствор;
- крахмал, 1 %-ый раствор.

К 8 коническим колбам с притертыми пробками наливают с помощью пипетки 100 см³ исследуемой воды, добавляют рабочий раствор хлорной воды в количествах, которые укажет преподаватель, и тщательно закрывают пробками. Засаекают время добавления хлорной воды к каждой колбе, данные заносят в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Количества хлорной воды

Номер колбы	1	2	3	4	5	6	7	8
Количество хлорной воды, см ³								
Доза хлора, мг/дм ³								

Содержимое колб взбалтывают, а потом к каждой колбе приливают по 5 см³ 10 %-ного раствора KI, 5 см³ буферного раствора и 1 см³ 1 %-ного раствора крахмала. Колбы закрывают, взбалтывают и, когда пройдет 30 мин после добавления хлорной воды, определяют содержание остаточного хлора йодометрическим методом. Синее окрашивание раствора в колбе свидетельствует о наличии остаточного хлора. В этом случае раствор в колбе оттитровуют 0,005 н раствором тиосульфата натрия до исчезновения синего окрашивания.

Содержимое остаточного хлора вычисляют согласно формуле (4.9).

Полученные результаты заносят в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты исследования

Номер колбы	Доза хлора, мг/дм ³	Количество Na ₂ S ₂ O ₃ на титрование, см ³	Содержание остаточного хлора, мг/дм ³
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

4.2.4 Обработка результатов исследования

После выполнения экспериментальных исследований заполняют все столбики в таблице 4.2, сделав необходимые расчеты.

На основании полученных данных строят кривую хлоропоглощаемости и графически определяют дозу хлора D , которая необходима, чтобы величина

остаточного хлора в обеззараживаемой воде равнялась $0,5 \text{ мг/дм}^3$ (или другой величине, заданной преподавателем).

После определения дозы хлора подсчитывают показатель хлорирования X по формуле:

$$X = 1/D.$$

Делают выводы.

4.3 Вопросы для самоподготовки

1. В чем суть обеззараживания воды? С какой целью его проводят? Какие реагенты можно использовать для обеззараживания?

2. Опишите процессы, которые протекают в воде в случае, если обеззараживание воды выполняют хлором. Приведите уравнения соответствующих реакций.

3. Что такое свободный хлор, остаточный хлор, активный хлор? Как определяют наличие хлора в воде?

4. Что такое кривые хлоропоглощаемости? Как их строят? Как определяют необходимую дозу хлора по графикам хлоропоглощаемости?

5. Каким методом определяют содержание активного хлора в воде? Опишите его, приведите уравнения соответствующих реакций.

6. Как в лабораторных условиях получить хлорную воду? Приведите уравнение соответствующей реакции.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сазонов, Э.В. Экология городской среды: учебное пособие для вузов/ Э.В. Сазонов. – СПб.: ГИОРД, 2010. – 312 с.: ил. – ISBN 978-5-98879-078-5.

2. Государственные санитарные нормы и правила. Гигиенические требования к воде питьевой, предназначенной для потребления человеком. ГСанПиН 2.2.4-171-2010. – Киев, 2010. – 25 с.

3. Строительные нормы и правила. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.02-84. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. - 128 с. – ISBN 5-88111-185-0.

4. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: учебное пособие для вузов/ Я.П. Молчанова, Е.А. Заика, Э.И. Бабкна, В.А. Сурмин; под ред. Т.В. Гусевой. – М.: ФОРУМ: ИНФРА, 2011. – 192 с. – (Высшее образование). - ISBN 978-5-91134-080-3.

5. Исхаков, Ф.Ф. Урбоэкология [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ Ф.Ф. Исхаков, А.А. Кулагин, Г.А. Зайцев; Ф.Ф. Исхаков, А.А. Кулагин, Г.А. Зайцев; ФГБУ ВПО «Башкир. гос. пед. ун-т им. М. Акмуллы». 1 МБ. – Уфа: БГПУ, 2012.- 1 файл.- Систем. Требования: Acrobat Reader. - ISBN 978-5-89978-922-5.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«УРБОЭКОЛОГИЯ»**

Составители:

Трошина Елена Анатольевна - кандидат химических наук, доцент кафедры «Прикладная экология и охрана окружающей среды» ГОУВПО «ДОННТУ»;

Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная экология и охрана окружающей среды» ГОУВПО «ДОННТУ».

Ответственный за выпуск:

Шаповалов Валерий Васильевич – заведующий кафедрой «Прикладная экология и охрана окружающей среды» ГОУВПО «ДОННТУ», доктор химических наук, профессор