

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра «Экология и рациональное использование водных ресурсов»**

**О. К. НОВИКОВА, А. М. РАТНИКОВА**

# **ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Учебно-методическое пособие**

**Гомель 2014**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Экология и рациональное использование водных ресурсов»

О. К. НОВИКОВА, А. М. РАТНИКОВА

# ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Одобрено учебно-методической комиссией строительного факультета  
в качестве учебно-методического пособия по выполнению лабораторных  
работ для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение,  
водоотведение и охрана водных ресурсов»*

Гомель 2014

УДК 628.1 (075.8)  
ББК 38.761.1  
Н40

Рецензент – главный специалист технического отдела ОКУП «Институт Гомельгражданпроект» *А. Ф. Плотко*.

**Новикова, О. К.**

Н40 Водоснабжение промышленных предприятий : учеб.-метод. пособие / О. К. Новикова, А. М. Ратникова ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 63 с.  
ISBN 978-985-554-386-3

Рассмотрены теоретические вопросы, связанные с выполнением лабораторных работ по водоснабжению, дано описание экспериментальных установок, приведены порядок проведения опытов и обработки экспериментальных данных.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов».

Коллектив авторов выражает благодарность доценту кафедры ВиВ ВоГУ Медиланской М.М. и старшему преподавателю Пашичевой Н.Н. за методические пособия [6–8], которые послужили основой для данного издания и постановки лабораторных работ.

**УДК 628.1 (075.8)**  
**ББК 38.761.1**

**ISBN 978-985-554-386-3**

© Новикова О. К., Ратникова А. М., 2014  
© Оформление. УО «БелГУТ», 2014

## **1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

---

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, предварительно ознакомившиеся с техникой безопасности и охраной труда, ее основным содержанием по методическим указаниям и рекомендуемой литературе.

Уровень теоретической подготовки перед проведением лабораторной работы проверяется устным опросом.

Экспериментальная часть работы проводится с разрешения преподавателя или технического персонала кафедры после ознакомления с лабораторной установкой, измерительными приборами и методикой проведения опытов.

Отчет по каждой отдельной работе составляется студентом на специальном типографском бланке. Записи в упомянутом бланке должны быть сделаны чернилами и отчет подписан студентом, с указанием даты проведения лабораторной работы.

В начале следующего лабораторного занятия студент сдает преподавателю законченный отчет по выполненной работе, без чего студент не допускается к дальнейшему выполнению лабораторных работ.

Отчет о лабораторной работе должен быть защищен студентом в установленные сроки. При защите отчета студент обязан знать основные теоретические сведения, содержание, порядок выполнения работы и ответить на поставленные контрольные вопросы.

Студенты, не получившие зачет по лабораторным работам в часы, отведенные расписанием, должны получить его в дополнительное время на консультации.

Студенты, пропустившие занятие в лаборатории, выполняют работу (после получения разрешения заведующего кафедрой) по особому, дополнительному расписанию.

## 2 СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

---

Лабораторная работа №1

### СОПОСТАВЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ ВОДЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ НУЖД РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Цель работы:** ознакомиться с требованиями к качеству воды для производственных нужд различных отраслей промышленности; произвести анализ качества воды для производственных нужд на основании данных лабораторий аналитического контроля промышленных предприятий.

#### Краткие сведения из теории

В зависимости от целевого назначения используемой в производственных процессах воды к ней предъявляются различные требования. Свойства воды определяются концентрацией отдельных примесей, совокупность которых определяет качество воды.

#### **Показателями качества воды являются:**

1 *Физические* (температура, содержание взвешенных веществ и растворенных газов, цветность, запах и др.).

2 *Химические* (жесткость, щелочность, активная реакция, хлориды, сульфаты, окисляемость, сухой остаток и др.).

3 *Биологические и бактериологические* (гидробионты, общее количество бактерий, коли-индекс и др.). Бактериологические показатели качества производственной воды определяют безопасность ее использования и требуют особенно тщательного контроля при использовании в промышленном водоснабжении биологически очищенных и доочищенных бытовых сточных вод.

Вода, используемая на хозяйственно-питьевые нужды на промышленных предприятиях, должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) *мутность* (содержание взвешенных веществ) должна быть  $\leq 1,5$  мг/дм<sup>3</sup>;
- 2) *цветность* должна быть  $\leq 20$  град;
- 3) при подогревании питьевой воды от  $t = 20$  °С до 60 °С она не должна иметь *запах* более 2 баллов и *привкус* более 2 баллов;
- 4) *температура воды* для питьевых целей желательна 7–12 °С;
- 5) *общая жесткость* хозяйственно-питьевой воды должна быть  $\leq 10$  мг-экв/дм<sup>3</sup>;
- 6) присутствие *сероводорода* H<sub>2</sub>S в хозяйственно-питьевой воде не допускается;

- 7) содержание *соединений железа* должно быть  $\leq 0,3$  мг/дм<sup>3</sup>;
- 8) содержание *нитратов* должно быть  $\leq 10$  мг/дм<sup>3</sup>;
- 9) предельно допустимое содержание в воде *сульфатов* составляет 500 мг/дм<sup>3</sup>, *хлоридов* – 350 мг/дм<sup>3</sup>;
- 10) содержание *фтора* должно быть 0,7–1,2 мг/дм<sup>3</sup>;
- 11) содержание *растворенных веществ* (сухой остаток) должно быть  $\leq 1000$  мг/дм<sup>3</sup>;
- 12) хозяйственно-питьевая вода должна иметь рН = 6,5...8,5;
- 13) питьевая вода не должна содержать более 100 бактерий в 1 мл (*бактериальная загрязненность воды*).

Пригодность воды для производственных нужд определяется ее технологическими свойствами.

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

*Взвешенные вещества.* В воде для питания паровых котлов и для некоторых видов производств допускается до 2 мг/дм<sup>3</sup> и ниже; в охлаждающей воде – не более 50 мг/дм<sup>3</sup>.

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

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

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

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

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

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

*Сульфаты и хлориды.* Повышенное содержание препятствует использованию воды для питания паровых котлов и ряда производств. Присутствие их в воде свидетельствует об ее агрессивности по отношению к бетону на силикатном цементе: при содержании сульфат-ионов более  $0,25 \text{ г/дм}^3$ , если содержание хлоридов менее  $3 \text{ г/дм}^3$ ; при содержании сульфат-ионов более  $0,5 \text{ г/дм}^3$ , если содержание хлоридов от  $3$  до  $5 \text{ г/дм}^3$ ; при содержании сульфат-ионов более  $1 \text{ г/дм}^3$ , если содержание хлоридов более  $5 \text{ г/дм}^3$ .

При содержании сульфат-ионов более  $4 \text{ г/дм}^3$  вода агрессивна по отношению к пуццолановому и шлакопуццолановому силикатным цементам, а также к шлакосиликатному цементу.

*Окисляемость.* Окисляемость воды более  $8 \text{ мгO}_2 / \text{дм}^3$  указывает на вероятность загрязнения ее сточными водами, на возможность развития органических обрастаний в теплообменных аппаратах.

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

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

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

*Сероводород.* Придает воде неприятный запах, вызывает коррозию металлов и способствует зарастанию труб и теплообменников аппаратов.

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

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

*Общие требования к качеству воды производственного назначения:*

1 Вода не должна приводить к образованию отложений взвеси в трубопроводах и холодильниках.

2 Вода не должна приводить к биологическим обрастаниям в системе, т.е. образованию и развитию в трубопроводах и холодильниках живых микроорганизмов, микроводорослей, ракушек, мидий, дрейсены и т.п. В оборотных и прямоточных системах охлаждения этому способствует благоприятная температура воды до  $45\text{--}50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

3 Вода не должна вызывать отложений накипи. Накипью называют связанные твердые, несмываемые водой отложения, образующиеся на поверхностях нагрева, охлаждаемых водой, в трубах и т.д.

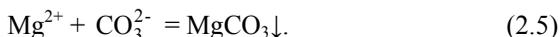
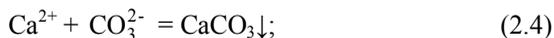
Для оборотных систем охлаждения нагревание воды содержащей углекислые соли кальция и магния в технологических агрегатах приводит к диссоциации этих солей:



В свою очередь ион  $\text{HCO}_3^-$  диссоциирует с образованием  $\text{CO}_2$ :



При нагревании, а затем охлаждении воды в открытых охладителях углекислый газ уходит из системы. В результате углекислотное равновесие нарушается, возникает избыток ионов  $\text{CO}_3^{2-}$ . При наличии в воде ионов кальция  $\text{Ca}^{2+}$  и магния  $\text{Mg}^{2+}$  образуются нерастворимые соединения, выпадающие в осадок:



Слой накипи в системах охлаждения состоит на 70–80 % из  $\text{CaCO}_3$  и на 20–30 % из  $\text{MgCO}_3$  и  $\text{SiO}_2$ . При отсутствии свободных ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в воде и наличии свободной углекислоты вода становится агрессивной по отношению к бетону, происходит его разрушение за счет выщелачивания ионов кальция и магния, входящих в состав бетона.

Наличие взвеси и биологических обрастаний увеличивает интенсивность накипеобразования. Поэтому при значительном накипеобразовании целесообразно сначала обеспечить максимальное снижение концентрации взвеси в воде и устранить причины биологических обрастаний, а уже затем разрабатывать меры борьбы с образованием накипи.

4 Вода, используемая для производственных целей, не должна вызывать интенсивную коррозию трубопроводов и оборудования. Скорость коррозии увеличивается при низких pH, повышенном солесодержании и уменьшении жесткости воды, увеличении концентрации хлоридов и сульфатов, кислорода, а также других агрессивных газов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и с повышением температуры и давления воды.

5 Вода, используемая для производственных целей, не должна ухудшать условия производства и качество продукции, должна быть кондиционной, т.е. соответствовать технологическим требованиям, а ее использование не должно приводить к неблагоприятным последствиям, указанным выше.

Очень важной классификацией оборотной воды, используемой для целей охлаждения, является классификация ее по способности образовывать

накипь в системах водоснабжения при чередовании циклов "нагревание – охлаждение". С этой точки зрения вода для производственных целей подразделяется:

– на *термостабильную*, не дающую накипи при многократном нагревании до 40–50 °С. Это вода с карбонатной жесткостью  $J_k < 3,5$  мг-экв/дм<sup>3</sup>;

– *условно термостабильную*, которая не образует накипи при первых циклах "нагревание – охлаждение", а при последующих циклах отличается интенсивным накипеобразованием. Для такой воды характерна карбонатная жесткость  $J_k$  от 3,5 до 5,5 мг-экв/дм<sup>3</sup>;

– *нетермостабильную*, которая при первых же циклах "нагревание – охлаждение" интенсивно образует накипь даже при наличии в воде свободной углекислоты. Для такой воды характерна высокая карбонатная жесткость  $J_k > 5,5$  мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Если качество воды для производственных целей не отвечает предъявляемым требованиям, производится соответствующая ее очистка или водоподготовка различными способами, обеспечивающая выполнение этих требований к качеству воды.

### Порядок выполнения работы

- 1 Получить исходные данные у преподавателя.
- 2 Изучить нормативные требования к воде для отрасли промышленности согласно выданному заданию.
- 3 Произвести сравнительный анализ показателей качества воды лабораторий аналитического контроля промышленных предприятий с нормативными требованиями.
- 4 Результаты анализа свести в таблицу 2.1 и сделать выводы.

Таблица 2.1 – Анализ показателей качества воды

Показатели	Значения показателей качества воды						Вывод
	для хозяйственно-питьевых нужд		для производственных нужд		для оборотного водоснабжения		
	норматив	факт.	норматив	факт.	Норматив	факт.	

### Контрольные вопросы

- 1 Перечислите основные показатели качества воды, которые необходимо контролировать при подаче воды для производственных нужд.
- 2 Какая вода считается термостабильной?
- 3 Чем обусловлена жесткость воды?
- 4 Какая вода считается нетермостабильной?

## **3 ОБОРОТНЫЕ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

---

Лабораторная работа № 2

### **АНАЛИЗ РАБОТЫ ОХЛАДИТЕЛЕЙ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

**Цель работы:** изучить типы охладителей систем оборотного водоснабжения; научиться определять потери воды в охладителях.

**Приборы и материалы:**

- 1 Калькулятор.
- 2 ТКП [2].
- 3 Раздаточный материал.

#### **Краткие сведения из теории**

Для систем оборотного водоснабжения должен составляться баланс воды, учитывающий потери, необходимые сбросы и добавления воды в систему, для компенсации убыли из нее.

**Потери воды на промышленном предприятии** складываются из потерь:

- на технологические нужды (безвозвратное водопотребление);
- в охладителях оборотной воды;
- на очистных сооружениях;
- на сброс воды из системы (продувку системы), величина которого определяется в зависимости от качества оборотной и добавочной воды и способа ее обработки.

Потери воды на технологические нужды (прежде всего, унос ее с продуктами и отходами) определяются технологическими расчетами и являются безвозвратными.

В охладителях потери воды складываются из потерь на фильтрацию, испарение, унос воды ветром.

*Потери воды на фильтрацию* учитываются только в прудах-охладителях и накопителях при водопроницаемых грунтах основания и ограждающих дамб. Расчет производится по данным гидрологических изысканий. Потери воды на фильтрацию из брызгальных бассейнов и водосборных резервуаров градиен допускается не учитывать.

*Потери воды на испарение* учитываются в испарительных охладителях: брызгальных бассейнах, открытых градирнях, прудах-охладителях. В радиаторных охладителях эти потери отсутствуют.

Потери воды на испарение, м<sup>3</sup>/ч,

$$Q_{\text{исп}} = KQ\Delta t, \quad (3.1)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий долю испарительного охлаждения в общей теплоотдаче;

$Q$  – расход охлаждаемой оборотной воды, м<sup>3</sup>/ч.

$\Delta t$  – перепад температуры воды (ширина зоны охлаждения), °С,

$$\Delta t = t_1 - t_2 ;$$

$t_1$  – температура нагретой воды, °С;

$t_2$  – температура охлажденной воды, °С;

Для брызгальных бассейнов и градирен в зависимости от температуры воздуха по сухому термометру  $T$  значения коэффициента  $K$  определяются по таблице А.1 (см. приложение А). Для прудов-охладителей значения коэффициента  $K$  принимается в зависимости от естественной температуры воды водоема по таблице А.2 (приложение А).

При охлаждении продукта в теплообменных аппаратах оросительного типа потери воды на испарение

$$Q_{\text{исп}} = 2KQ\Delta t. \quad (3.2)$$

Потери воды на испарение выражаются в % и определяются по формуле

$$P_1 = \frac{Q_{\text{исп}}}{Q} \cdot 100. \quad (3.3)$$

Потери воды на унос ветром учитываются в испарительных охладителях, брызгальных бассейнах, открытых градирнях и оросительных теплообменных аппаратах. В радиаторных охладителях эти потери отсутствуют.

Потери воды на унос ветром, м<sup>3</sup>/ч,

$$Q_{\text{ун}} = \frac{P_2 Q}{100}, \quad (3.4)$$

где  $P_2$  – потери воды на унос ветром, %.

Потери воды вследствие уноса ветром зависят от типа охладителя, расхода оборотной воды, наличия специальных водоуловителей для снижения выноса капельной влаги и принимаются по таблице А.3.

Потери воды на продувку системы связаны с необходимостью сброса части отработанной воды и замены ее свежей водой для поддержания требуемого качества воды (в основном карбонатной жесткости) в оборотном цикле.

Расход воды на продувку системы (сброс) с целью поддержания необходимой концентрации солей жесткости в оборотной воде, м<sup>3</sup>/ч,

$$Q_{\text{обр}} = \frac{Ж_{\text{к.д}} Q_{\text{исп}}}{Ж_{\text{к.об}} - Ж_{\text{к.д}}} - (Q_{\text{ун}} + Q_{\text{пр}}), \quad (3.5)$$

где  $Ж_{\text{к.д}}, Ж_{\text{к.об}}$  – соответственно жесткость карбонатная добавочной (свежей) и оборотной воды, г-эquiv/м<sup>3</sup>;

$Q_{\text{исп}}, Q_{\text{ун}}$  – расход воды на испарение и унос воды ветром, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_{\text{пр}}$  – расход оборотной воды на технические нужды предприятия, м<sup>3</sup>/ч.

Ориентировочно можно считать допустимой карбонатную жесткость оборотной воды в 1,5–2 раза больше карбонатной жесткости добавочной воды, при величине последней до 2,5 г-эquiv/м<sup>3</sup> при использовании воды из поверхностных источников и до 1,5 г-эquiv/м<sup>3</sup> – для воды из подземных источников.

*Потери воды на сброс из системы (продувку)  $P_3$ , %*, предусматриваются для поддержания расчетной концентрации растворимых в оборотной воде солей, не выпадающих в осадок, и рассчитываются по формуле

$$P_3 = \frac{P_1}{K_{\text{к.с}} - 1} - P_2. \quad (3.6)$$

Значение величины продувки открытых оборотных систем с мокрыми градирнями не превышает 3 % расхода оборотной воды и устанавливается в каждом конкретном случае из условий поддержания рационального значения коэффициента концентрирования солей  $K_{\text{к.с}}$ :

$$K_{\text{к.с}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3}. \quad (3.7)$$

Рациональное значение коэффициента  $K_{\text{к.с}}$  для каждой системы оборотного водоснабжения устанавливается индивидуально технологическими и технико-экономическими расчетами с учетом температурных параметров работы системы и качества добавочной воды. Значение  $K_{\text{к.с}}$  обычно поддерживается около 3–5; при определенных условиях  $K_{\text{к.с}}$  может составлять 6–8.

### Контрольные вопросы

- 1 Перечислите потери воды в охладителях.
- 2 Как определяются потери воды на испарение?
- 3 От чего зависят потери воды на унос ветром?
- 4 Как определяется расход воды на продувку системы?

## Лабораторная работа № 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗЫ АКТИВНОГО ХЛОРА

**Цель работы:** ознакомиться с методом определения оптимальной дозы хлора для предупреждения развития бактериальных биологических образований.

#### **Приборы, посуда и реактивы:**

- 1 Йодид калия KI.
- 2 Дистиллированная вода.
- 3 Раствор хлорной извести.
- 4 Серная кислота (1:5).
- 5 0,01н раствор тиосульфата натрия;
- 6 Раствор крахмала.
- 7 Колбы.
- 8 Бюретка.
- 9 Штатив.
- 10 Пипетки с оттянутыми концами.

#### **Краткие сведения из теории**

В целях предупреждения развития бактериальных биологических образований в теплообменных аппаратах и трубопроводах следует применять **хлорирование оборотной воды**. Оно может осуществляться свободным жидким и газообразным хлором, хлорноватистой кислотой, гипохлоритами (солями хлорноватистой кислоты), белильной известью и др.

Во всех этих соединениях окислительными свойствами обладает так называемый активный хлор. Под активным хлором понимается то количество свободного молекулярного хлора, которое отвечает окислительной способности данного соединения.

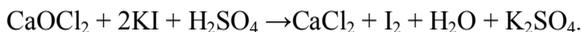
Количество хлора, идущего на окисление органических и неорганических примесей, определяет величину хлорпоглощаемости воды. Доза обеззараживающего реагента выбирается таким образом, чтобы после окисления всех примесей оставалось некоторое избыточное количество хлора – остаточный хлор. Эта доза является оптимальной и достаточной и определяется пробным хлорированием [2].

#### **Порядок выполнения работы**

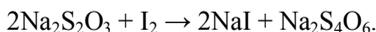
*1 Определение концентрации активного хлора в хлорной извести.*

В коническую колбу вместимостью 250 мл всыпать щепотку (примерно 0,5 г) йодида калия и растворить его в 2–3 мл дистиллированной воды.

Затем пипеткой ввести 25 мл исследуемого раствора хлорной извести и 5 мл серной кислоты (1:5). При этом в растворе происходит окислительно-восстановительный процесс, описываемый следующим уравнением:



Выделившийся свободный йод оттитровать 0,01н раствором тиосульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) до слабо-желтого окрашивания. Затем добавить 1 мл раствора крахмала и титровать раствор до исчезновения синей окраски от одной капли тиосульфата натрия. При этом происходит окислительно-восстановительный процесс по следующему уравнению:



Рассчитать концентрацию активного хлора, мг/мл, в исследуемом растворе хлорной извести по формуле

$$[\text{Cl}_2] = \frac{N_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}}{V_{\text{CaOCl}_2}} \cdot 35,5, \quad (3.8)$$

где 35,5 – эквивалентная масса хлора.

#### 2 Определение оптимальной дозы хлора.

В пять колб налить по 250 мл исследуемой воды и в каждую ввести одну из следующих доз хлора, мг/дм<sup>3</sup>: 0,5; 1,0; 2; 4; 9.

Исходя из рассчитанной концентрации активного хлора в белильной извести, определить, какому объему ее, мл, будут соответствовать вышеприведенные количества хлора.

После 30-минутного контакта исследуемой воды с введенным хлором определить в каждой пробе концентрацию остаточного хлора, мг/дм<sup>3</sup>, йодометрическим методом. Для этого в каждую пробу добавить щепотку йодистого калия (около 0,5 г) и по 5 мл серной кислоты (1:5). Выделившийся йод оттитровать 0,1н раствором тиосульфата натрия (см. п. 1).

Рассчитать концентрацию остаточного хлора в каждой пробе. По полученным данным построить график хлорпоглощаемости исследуемой воды, откладывая по оси абсцисс дозу введенного хлора, мг/дм<sup>3</sup>, а по оси ординат – концентрацию остаточного хлора, мг/дм<sup>3</sup>.

По графику определить оптимальную дозу хлора.

Показатель хлорируемости воды

$$O_{\text{хл}} = 1/D, \quad (3.9)$$

где D – доза введенного хлора, соответствующая содержанию остаточного хлора 1 мг/дм<sup>3</sup>.

Результаты измерений и вычислений записываются в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты измерений и расчетов

Номер пробы	Объем пробы, мл	Доза введенного хлора, мг/дм <sup>3</sup>	Количество (объем) раствора хлорной извести, мл	Концентрация остаточного хлора, мг/дм <sup>3</sup>	Показатель хлорируемости воды
1					
2					
3					

### Контрольные вопросы

- 1 Что такое активный хлор?
- 2 Какие реагенты применяются для предупреждения биологических обрастаний?
- 3 Каким методом можно определить концентрацию остаточного хлора?
- 4 Какая доза хлора считается оптимальной?

## 4 УДАЛЕНИЕ ИЗ ВОДЫ РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ

**Дегазация** – процесс удаления из воды растворенных в ней газов (диоксида углерода, кислорода, сероводорода, реже метана), обуславливающих или усиливающих коррозионные свойства воды, а в некоторых случаях придающих ей неприятный запах [11].

В практике водоподготовки известны следующие методы дегазации, в основу классификации которых положен принцип воздействия на обрабатываемую воду:

- *физический* (изменение температуры воды или парциального давления удаляемого газа);
- *химический* (связывание растворенных в воде газов путем добавления реагентов);
- *биохимический* (использование окислительной способности микроорганизмов);
- *сорбционно-обменный* (извлечение растворенных газов путем фильтрования через сорбционно-обменные материалы).

Обычно диоксид углерода и метан удаляют из воды аэрацией, кислород – вакуумированием или химическим методом. Азот является инертным газом, и обычно не возникает необходимости в его удалении.

Из растворенных в воде газов наибольшее значение имеют кислород и диоксид углерода. При наличии гнилостных процессов, протекающих в водоемах при ограниченном доступе воздуха, возможно появление в природных водах сероводорода и метана [7].

Растворимость газа в воде зависит от его природы, температуры и парциального давления.

Для данной температуры растворимость газа  $C$ , мг/дм<sup>3</sup>, может быть определена по закону Генри:

$$C = KP, \quad (4.1)$$

где  $K$  – коэффициент пропорциональности, равный растворимости газа при данной температуре и давлении 10<sup>5</sup> Па;

$P$  – парциальное давление газа, Па.

Концентрация любого газа в воде стремится прийти в равновесие с парциальным давлением этого газа над водой, поэтому непрерывно происходят обратимые процессы сорбции и десорбции.

*Кислород* находится в природной воде в виде растворенных молекул и его присутствие является обязательным условием для существования большинства организмов, населяющих водоемы. Наличие в воде растворенного кислорода является одной из причин коррозионной агрессивности воды по отношению к металлам.

*Углекислота* в зависимости от pH воды присутствует в виде свободной углекислоты, представляющей собой растворенный в воде газ CO<sub>2</sub>, полусвязанной углекислоты – в виде бикарбонат ионов HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> и связанной углекислоты – в виде карбонат ионов CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. При pH < 4,5 бикарбонат-ионы в воде отсутствуют и вся углекислота находится в виде углекислого газа, а при pH > 8,4 – только в виде бикарбонат-ионов. При pH > 10,5 в воде присутствуют только карбонатные ионы. Разница между свободной и равновесной углекислотой называется агрессивной углекислотой. Она растворяет карбонат кальция, оказывает разрушающее действие на бетон, катализирует ход электрохимической коррозии металла [9].

*Сероводород* в природных водах встречается органического и неорганического происхождения. В поверхностных водах он присутствует в придонных слоях в незначительных количествах, в подземных водах его содержание может достигать нескольких десятков мг/дм<sup>3</sup>.

Наличие сероводорода в воде придает ей неприятный запах, способствует коррозии металла и может вызвать зарастание трубопроводов в результате интенсивного развития серобактерий. Сероводород в зависимости от pH воды может быть в виде слабодиссоциированной кислоты – H<sub>2</sub>S, гидросульфидных HS<sup>-</sup> или сульфидных – S<sup>2-</sup> ионов.

*Азот* в природные воды поступает из воздуха, при разложении органических остатков, а также при восстановлении соединений азота денитрифицирующими бактериями. Образующийся в воде в процессе гниения растений аммиак существенно влияет на технологию хлорирования воды.

*Метан* присутствует в природных водах, используемых для водоснабжения, как правило, в незначительных количествах. Однако в болотных водах, где в больших объемах протекают процессы разложения клетчатки растительных остатков, содержание метана доходит до 30 мг/дм<sup>3</sup> и более.

## Лабораторная работа №4

### УДАЛЕНИЕ УГЛЕКИСЛОТЫ

**Цель работы:** освоить методику лабораторного определения содержания углекислоты в воде; проанализировать процесс изменения количества углекислоты, растворенной в воде; дать оценку эффективности метода удаления углекислоты из воды; дать характеристику воды в отношении ее стабильности.

#### **Приборы, посуда и реактивы:**

- 1 рН-метр.
- 2 Пипетки с оттянутыми концами, нестандартные.
- 3 Бюретка.
- 4 Штатив.
- 5 Коническая колба вместимостью 250 мл.
- 6 Плоскодонная колба вместимостью 200 мл.
- 7 0,1н раствор NaOH.
- 8 Известковый раствор.
- 9 Фенолфталеин (0,1%-й раствор).

#### **Краткие сведения из теории**

**Очистка воды от углекислоты** приобрела особое значение в связи с широким внедрением в технику водообработки H-Na-катионитового метода умягчения и ионитового метода обессоливания воды [7, 11].

При пропускании обрабатываемой воды через H-катионитовый фильтр вследствие разложения гидрокарбонатов в воде может образовываться большое количество свободного оксида углерода (IV). Между тем даже незначительное содержание его в умягченной воде, которая подается для питания паровых котлов, вызывает коррозию труб и оборудования. Удалять из воды свободный оксид углерода (IV) приходится и при обезжелезивании воды.

Свободная углекислота удаляется из воды с помощью аэрации (при соприкосновении с воздухом), поскольку парциальное давление диоксида углерода в атмосферном воздухе близко к нулю. Для удаления из воды растворенного газа применяется несколько типов дегазаторов: пленочные с различного рода насадками, работающие в условиях противотока дегазируемой воды и воздуха, подаваемого вентилятором; пленочные, работающие без принудительной подачи воздуха; струйно-пленочные (контактные градирни); барботажные; вакуумные.

Самым совершенным типом дегазатора для глубокого удаления из воды свободного оксида углерода (IV) считается пленочный дегазатор, загруженный кольцами Рашига [9].

Связывание свободной углекислоты может быть достигнуто и химическими методами, например, добавлением в воду извести или едкого натра; при этом свободная углекислота переходит последовательно в бикарбонат-ион и карбонат-ион.

Доза извести, мг/дм<sup>3</sup>,

$$D_{\text{и}} = 28 \frac{\text{CO}_2}{22} \cdot \frac{100}{C_{\text{и}}}, \quad (4.2)$$

где  $\text{CO}_2$  – содержание в воде свободного диоксида углерода, мг/дм<sup>3</sup>;

22 – эквивалентная масса углекислого газа, г/экв.

$C_{\text{и}}$  – содержание СаО в извести, %.

В приложении А (таблица А.4) приведены данные о содержании свободной углекислоты  $\text{CO}_2$  в воде при температуре 10 °С, солесодержании 200 мг/дм<sup>3</sup> и различных значениях рН. Если условия отличаются от принятых в таблице А.4, то вводятся поправки на солесодержание  $k_{\text{р}}$  (таблица А.5) и на температуру  $k_{\text{т}}$  (таблица А.6) [7].

Фактическое содержание  $\text{CO}_2$  в воде можно определить по формуле

$$[\text{CO}_2]_{\text{факт}} = [\text{CO}_2]_{\text{табл}} k_{\text{р}} k_{\text{т}}. \quad (4.3)$$

### Порядок проведения работы

*1 Определение содержания углекислого газа  $\text{CO}_2$  в исходной воде [7].*

Содержание  $\text{CO}_2$  в воде определяется титрованием исследуемой пробы 0,1н раствором NaOH в присутствии фенолфталеина до появления розовой окраски раствора, соответствующей окраске стандартного раствора, рН которого по фенолфталеину равен 8,4:



Стандартный раствор готовится следующим образом. В плоскодонную колбу или склянку с пробкой (такую же, как и для титрования  $\text{CO}_2$ ) необходимо налить 200 мл дистиллированной воды и прибавить 0,5 мл 10%-го раствора едкого натра, взболтать и прибавить 0,2 мл разбавленного 0,1%-го раствора фенолфталеина.

К 100 мл исследуемой воды, отмеренной пипеткой, в коническую колбу вместимостью 250 мл, необходимо прибавить 2–3 капли фенолфталеина и титровать 0,1н раствором NaOH до появления розовой окраски, соответствующей по интенсивности окраске стандартного раствора. По мере титро-

вания углекислый газ воздуха растворяется в титруемом растворе. Поэтому результаты первого титрования завышены. Второе титрование проводится быстрее.

#### 2 Удаление углекислоты.

В ходе лабораторной работы необходимо произвести удаление углекислоты из воды любым, самостоятельно выбранным методом.

#### 3 Определение $CO_2$ в обработанной воде.

Определение углекислоты в обработанной воде произвести по рассмотренной ранее методике (аналогично п.1).

#### 4 Обработка результатов.

Количество растворенного углекислого газа,  $mg/dm^3$ , рассчитывается по формуле

$$[CO_2] = \frac{V_1 N \mathcal{E}}{V_2} \cdot 1000, \quad (4.5)$$

где  $V_1$  – объем раствора NaOH, израсходованный на титрование, мл;

$N$  – нормальность раствора NaOH;

$\mathcal{E}$  – эквивалентная масса углекислого газа, мг-экв;

$V_2$  – объем исследуемой воды, взятый для титрования, мл.

Результаты измерений и вычислений записываются в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерений и расчетов

Номер пробы	Содержание $CO_2$ , $mg/dm^3$		Эффективность метода	Характеристика воды
	до удаления	после удаления		

### Контрольные вопросы

- 1 Перечислите факторы, влияющие на растворимость углекислого газа в воде.
- 2 Каким образом влияет парциальное давление на растворимость газа?
- 3 Каким образом углекислота влияет на стабильность воды?
- 4 Проанализируйте уравнение углекислотного равновесия.
- 5 Предложите способы предотвращения повторного доступа в воду углекислого газа из воздуха после его удаления из воды.
- 6 Объясните механизм связывания углекислоты известью или едким натром. Какие при этом образуются продукты реакции?
- 7 Объясните сущность физических методов удаления углекислоты из воды.
- 8 Перечислите известные вам типы дегазаторов и объясните принцип их работы.
- 9 Предложите тип дегазатора для обработки больших количеств воды с высоким содержанием свободного оксида углерода (IV).
- 10 Почему после обработки воды для подпитки паровых котлов необходима декарбонизация?

## Лабораторная работа № 5

### УДАЛЕНИЕ КИСЛОРОДА

**Цель работы:** ознакомиться с йодометрическим методом определения содержания кислорода в воде; определить растворимость кислорода в воде при различных температурах.

#### Посуда и реактивы

- 1 Кислородные склянки с притертыми пробками вместимостью 100, 200, 250, 300 мл, нестандартные.
- 2 Пипетки с оттянутыми концами, нестандартные.
- 3 Бюретка.
- 4 Штатив.
- 5 Термометр ртутный.
- 6 Марганец хлористый  $MnCl$ .
- 7 Щелочной раствор йодистого калия ( $NaOHKI$ ).
- 8 Раствор серной кислоты  $H_2SO_4$  (разбавленной 1:4).
- 9 Натрий серноватистокислый (тиосульфат натрия, 0,025н).
- 10 Крахмал растворимый (0,5%-й раствор).

#### Краткие сведения из теории

При наличии в технической воде растворенного кислорода, являющегося одной из основных причин коррозии металлов (трубопроводов, теплообменных аппаратов и т.п.), возникает необходимость деаэрирования воды, то есть удаления из нее растворенного кислорода. Особенно это относится к оборотным системам водяного охлаждения с использованием открытых охладителей (прудов, брызгальных бассейнов, башенных и вентиляторных градирен), где в процессе многократного циркулирования воды между охлаждаемым объектом и охладителем постоянно меняется температура воды, а значит, и растворимость газов в этой воде.

Кислород из воды удаляется вакуумированием или химическими методами: введением в воду восстановителей или фильтрованием через ионно-обменные смолы [5, 9].

В последнее время для обескислороживания воды применяют электронно-обменные (ЭО) и ионно-обменные (ЭИ) смолы. Их восстановительная способность различна и составляет по кислороду для смол типа ЭИ-12 –  $45000 \text{ г/м}^3$ , а для смол типа ЭО-450 –  $5000 \text{ г-экв/м}^3$ . Регенерация истощенных смол осуществляется 1–2%-м раствором сульфита или тиосульфита натрия. Конструкция фильтров аналогична конструкции обычных водопроводных фильтров, высота загрузки  $H = 2 \text{ м}$ , скорость фильтрации –  $20 \text{ м/ч}$ .

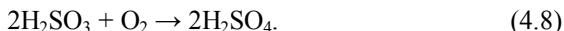
*Химические методы удаления кислорода.*

В качестве восстановителей для связывания кислорода в практике водо-подготовки обычно используют сернистый газ, сульфит натрия, гидразин (гидразин-гидрат), реже тиосульфат натрия. Процесс обескислороживания идет быстро при температурах 95–100 °С и заканчивается за 1–2 минуты даже при минимальном (5%-м) избытке восстановителя. При температуре 10–15 °С за 10 минут связывается 50 % кислорода. Для ускорения процесса в воду одновременно с восстановителями вводят катализаторы – соли меди (2,5 мг/дм<sup>3</sup> CuSO<sub>4</sub>) или кобальта (0,003 мг/дм<sup>3</sup> CoSO<sub>4</sub>). Тогда при 5–10%-м избытке восстановителя реакция связывания кислорода заканчивается за 1–3 минуты [7, 10].

Сульфит натрия при введении его в воду окисляется до сульфата натрия:



При применении сернистого газа образуется сернистая кислота, которая с кислородом, растворенным в воде, окисляется до серной кислоты:



Для удаления 1 мг кислорода расходуется 4 мг SO<sub>2</sub> или 7,9 мг Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>.

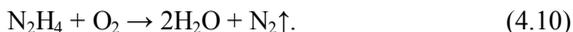
Необходимая доза сульфита натрия или сернистого газа  $\alpha$ , мг/дм<sup>3</sup>, рассчитывается по формуле

$$\alpha = 1,1\beta[\text{O}_2], \quad (4.9)$$

где  $\beta$  – теоретический расход реагента на связывание 1 мг растворенного кислорода, мг;

$[\text{O}_2]$  – концентрация растворенного в воде кислорода, мг/дм<sup>3</sup>.

Реагентом, с помощью которого удается достичь практически полного обескислороживания воды, является гидразингидрат. При этом происходит связывание кислорода и выделение инертного азота:



Этот химический метод обескислороживания воды является наиболее совершенным, но вместе с тем и наиболее дорогим, поэтому он применяется в основном для целей дообескислороживания воды после физических методов ее дегазации [11].

К химическим методам относится получивший довольно широкое распространение метод обескислороживания воды с помощью *сталестружечных фильтров*. Железостружечные фильтры рассчитывают на время контакта, которое зависит от температуры и должно быть не менее 25 мин.

Скорость фильтрации принимается 25–100 м/ч, расход стружек – 5 кг на 1 кг удаляемого кислорода.

Обрабатываемая вода фильтруется через слой стальных стружек, при этом кислород связывается по реакции



Продолжительность контакта стружек и воды, требуемая для обескислороживания, составляет 1,5–2 минуты. Стружки приходится периодически заменять (на 1 кг задерживаемого кислорода необходимо 5 кг стружек).

Учитывая, что насыпная масса стружек при их уплотнении близка к  $1 \text{ т/м}^3$ , необходимый объем их, в  $\text{м}^3$ , определяется по формуле

$$V = 5 \cdot 10^{-6} Q [\text{O}_2] t, \quad (4.12)$$

где  $Q$  – расход обескислороживаемой воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$[\text{O}_2]$  – концентрация в воде растворенного кислорода,  $\text{г/м}^3$ ;

$t$  – время работы фильтра за период между сменами стружек, ч.

Площадь поперечного сечения фильтра определяется по скорости фильтрования 25–100 м/ч так, чтобы при найденной высоте слоя стружек обеспечивалась продолжительность контакта воды с ними не менее 1,5 мин.

*Физические методы удаления растворенного кислорода.*

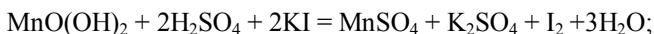
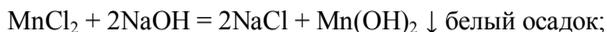
Сущность физических методов удаления из воды растворенного кислорода заключается в следующем: обеспечиваются условия, при которых растворимость кислорода в воде близка к нулю.

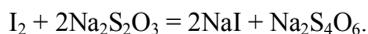
Для удаления кислорода из воды ее доводят до кипения, при котором растворимость всех газов в воде падает до нуля.

Вода доводится до кипения либо с помощью ее нагрева (термическое деаэрирование), либо с помощью понижения давления (вакуумирование).

### **Определение содержания растворенного в воде $\text{O}_2$ йодометрическим методом Винклера**

Содержание растворенного кислорода определяется преимущественно в чистых и сточных водах, прошедших через процесс химической или биохимической очистки перед спуском их в водоем. Сущность метода заключается в окислении растворенным кислородом ионов марганца, которые окисляют ионы йода. Выделившийся йод необходимо оттитровать раствором тиосульфата натрия в присутствии крахмала:





### Порядок проведения работы

После получения кислородных склянок и исследуемой воды необходимо:

1) с помощью термометра в стаканчике определить температуру анализируемой воды;

2) прокалить кислородные склянки. Точная вместимость кислородных склянок определяется взвешиванием: фиксируется масса тщательно высушенной пустой склянки вместе с пробкой и масса после наполнения дистиллированной водой при 20 °С и закрытой пробкой так, чтобы в ней не оставалось пузырьков воздуха. Разница в массе между пустой и заполненной склянками численно равна точной массе жидкости в склянке, а при плотности жидкости  $\rho = 1$  г/мл – объему склянки в мл;

3) 2–3 раза ополоснуть кислородную склянку исследуемой водой.

### Методика определения

В кислородную склянку, заполненную доверху пробой, вводится пипеткой 2 мл  $\text{MnCl}$ . Наполненную этим раствором пипетку надо погрузить до самого дна кислородной склянки, открыть верхний ее конец и медленно вынуть пипетку. Затем другой пипеткой налить 2 мл щелочного раствора  $\text{KI}$  (раствор  $\text{NaOH}$  с  $\text{KI}$ ). В этом случае конец пипетки подводят только под уровень пробы в горлышке кислородной склянки. Затем склянка осторожно закрывается пробкой так, чтобы под пробкой не оставалось пузырьков воздуха. При этом из склянки выливается 4 мл анализируемой воды, т.е. столько, сколько было налито реактивов. На эту потерю вносится при расчете соответствующая поправка. Закрытую пробкой склянку необходимо несколько раз перевернуть вверх дном и обратно для перемешивания ее содержимого. О содержании кислорода можно судить по окраске: чем темнее окраска, тем больше содержание кислорода.

Осадок отстаивается (не менее 10 мин), затем необходимо открыть склянку и налить в нее пипеткой 10 мл раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , разбавленной 1:4. Кислородную склянку снова необходимо закрыть пробкой (на выделяющуюся при этом жидкость не обращают внимания) и, перевернув, перемешать ее содержимое. При этом происходит растворение осадка и окисление йодистого калия гидроксидом марганца с выделением йода. Раствор окрашивается в светло-бурый цвет. Затем содержимое склянки необходимо перелить в колбу для титрования и ополоснуть склянку дистиллированной водой, сливая ее в ту же колбу. Через 5 минут оттитровать выделившийся йод раствором тиосульфата натрия до светло-желтой окраски. Титрование каждой пробы проводится не менее 2 раз, причем результаты отдельных титрований не должны отличаться друг от друга более чем на 0,2 мл. За оконча-

тельный результат принимается среднее значение двух титрований. Затем необходимо прибавить 1–2 мл раствора крахмала и продолжить титрование до исчезновения синей окраски.

Содержание растворенного кислорода, мг/дм<sup>3</sup>, определяется по формуле

$$[\text{O}_2] = \frac{\alpha N \cdot 8}{V_1 - V_2} \cdot 1000, \quad (4.13)$$

где  $\alpha$  – объем раствора тиосульфата, израсходованного на титрование, мл;

$N$  – нормальность раствора тиосульфата;

8 – эквивалентная масса кислорода, мг-эquiv;

$V_1$  – вместимость кислородной склянки, мл;

$V_2$  – общий объем реактивов, прибавленных в кислородную склянку при фиксации кислорода, мл.

По вышеизложенной методике необходимо определить содержание кислорода при изменившейся температуре исследуемой воды.

Данные расчета заносятся в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты измерений и расчетов

Характеристика исследуемой воды	Содержание O <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup> , при различных температурах		
	T <sub>1</sub> = 10 °C	T <sub>2</sub> = 20 °C	T <sub>3</sub> = 30 °C

### Контрольные вопросы

- 1 Каким образом температура влияет на растворимость кислорода в воде?
- 2 Какие методы (кроме метода Винклера) и приборы для определения содержания растворенного кислорода в воде Вы знаете?
- 3 Чему равна минимально допустимая концентрация кислорода в воде водоема после смешения с ней сточных вод?
- 4 В каком виде находится кислород в воде?
- 5 Является ли необходимым присутствие растворенного кислорода в природной воде?
- 6 Какие отрицательные последствия вызывает наличие растворенного кислорода в водопроводной воде?
- 7 Введение в воду гидразин-гидрата приводит к практически полному обескислороживанию воды. Какие при этом происходят процессы?
- 8 Объясните механизм обескислороживания воды при пропускании ее через сталестружечный фильтр.
- 9 Перечислите реагенты, применяемые при химическом методе удаления кислорода.

## Лабораторная работа № 6

### УДАЛЕНИЕ СЕРОВОДОРОДА

**Цель работы:** ознакомление с методами удаления сероводорода, методиками его определения и приобретение практических навыков качественного и количественного анализов содержания в воде сероводорода, как в свободном состоянии, так и в виде солей сероводородной кислоты.

**Реактивы:**

- 1 0,01н тиосульфат натрия.
- 2 Йод – 0,01н.
- 3 Крахмал – 0,5%-й раствор.
- 4 Карбонат цинка или кадмия – суспензия.
- 5 Глицерин.
- 6 Формальдегид – 40%-й раствор.
- 7 Уксусная кислота – 10%-я.
- 8 Соляная кислота – разбавленная (1:3).

#### Краткие сведения из теории

Сероводород, как в свободном состоянии, так и в виде солей сероводородной кислоты (сульфидов и гидросульфидов), встречается в некоторых водах, особенно содержащих белковые вещества, где он является продуктом разложения этих веществ.

Пороговая концентрация запаха сероводорода лежит в границах от 0,01 до 0,1 мг/дм<sup>3</sup> H<sub>2</sub>S. В водных растворах сероводород присутствует в трех формах: неионизированный H<sub>2</sub>S, в виде ионов HS<sup>-</sup> и в виде ионов S<sup>2-</sup>. Относительные концентрации этих форм в водной фазе анализируемой воды зависят, прежде всего, от pH этой воды, в меньшей мере – от ее температуры и общего соледержания. В таблице А.7 (см. приложение А) приведено относительное содержание H<sub>2</sub>S, %, в зависимости от температуры воды и pH [7].

В ходе лабораторной работы необходимо определить содержание H<sub>2</sub>S в исходной воде. Затем исходную воду подвергнуть аэрированию воздухом или обработке химическими реагентами с целью удаления сероводорода и повторно определить содержание H<sub>2</sub>S.

Для удаления сероводорода применяется:

- *аэрация* с последующим хлорированием – при содержании сероводорода до 3 мг/дм<sup>3</sup>;
- *комбинированный метод* (подкисление, аэрация, хлорирование, подщелачивание, коагуляция, фильтрование);

– *химический метод* (окисление различными окислителями) – при содержании сероводорода до 10 мг/дм<sup>3</sup>;

– *биохимическое окисление в аэротенках*, на аэрофильтрах и в биохимических реакторах с последующим хлорированием и фильтрованием.

При аэрационном методе удаления сероводорода на градирнях и барботажных установках желательнее иметь сероводород в виде молекулярного сероводорода H<sub>2</sub>S.

Физические (безреагентные) методы удаления H<sub>2</sub>S основаны на создании условий, когда растворимость H<sub>2</sub>S резко снижается и приближается к нулю, т.е. при нагреве или понижении давления в вакуумных дегазаторах; на создании развитой поверхности контакта обрабатываемой воды и воздуха, где парциальное давление сероводорода равно нулю, что осуществляется в дегазаторах с принудительной и естественной вентиляцией (плочные с насадками, струйно-плочные контактные градирни, барботажные устройства).

Комбинированный метод не получил широкого распространения, поскольку требует больших затрат.

Химическая очистка воды может быть осуществлена окислением сероводорода хлором (Cl<sub>2</sub>), гипохлоритом натрия (NaClO), гипохлоритом кальция (CaClO<sub>2</sub>), озоном (O<sub>3</sub>), перекисью водорода (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), перманганатом калия (KMnO<sub>4</sub>), кислородом (O<sub>2</sub>), двуокисью марганца (MnO<sub>2</sub>). В зависимости от вида и количества окислителей, вступающих в реакцию, сероводородные соединения могут быть окислены до свободной серы, тиосульфитов, сульфидов и сульфатов. На ход процесса оказывает влияние pH среды. Увеличение pH приводит к снижению окислительной способности реагентов по отношению к сероводороду [1, 7]. Дозы этих реагентов и наименование продуктов реакции приведены в таблице А.8 (см. приложение А).

При определении дозы реагентов для обработки воды, содержащей H<sub>2</sub>S, следует учитывать их расход на реакции с другими минеральными и органическими веществами, окисляющимися в данных условиях. Поэтому полную дозу реагентов следует определять экспериментально.

При обработке воды, содержащей сероводород, хлором протекает реакция



При отсутствии экспериментальных данных дозу хлора для очистки от сероводорода артезианских вод ориентировочно на практике можно определять с избытком 2–3 мг/дм<sup>3</sup> по отношению к расходу хлора на окисление сероводорода. Если при этом количество образовавшейся серы превышает допустимое содержание в воде взвешенных веществ, то для очистки воды применяют коагуляцию сульфатом алюминия (доза 20–30 мг/дм<sup>3</sup>) и фильтрование через песчаные фильтры [7].

Недостатком химических методов является ухудшение качества воды при нарушении дозировки реагентов.

## Порядок проведения работы

### *Определение содержания сероводорода [7].*

Сульфиды, сульфиты и тиосульфаты при их совместном присутствии в слабоокрашенных водах можно определить методом, основанном на том, что сульфиды осаждаются солями цинка и кадмия в виде ZnS и CdS, а сульфиты и тиосульфаты не осаждаются этими солями. Прибавив к раствору глицерин (для предохранения сульфитов от окисления кислородом воздуха) в таком количестве, чтобы его содержание составило 5 %, осадок сульфида отфильтровывается и промывается. В этом осадке необходимо определить сульфид йодометрическим методом. Фильтрат разбавляется в мерной колбе до определенного объема, и отбираются две аликвотные порции: в одной из них определяется суммарное содержание  $\text{SO}_3^{2-}$  и  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ , титруя раствор йодом; к другой порции прибавляется раствор формальдегида, который связывает  $\text{SO}_3^{2-}$  в прочные соединения, не реагирующие с йодом, и титруется раствором йода только  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ .

Для приготовления карбоната цинка или кадмия необходимо смешать 10 мл раствора соли цинка или кадмия с 10 мл раствора карбоната натрия. Смесь готовится при комнатной температуре, образующаяся суспензия быстро переливается.

В коническую колбу вместимостью 250 мл необходимо налить 50–100 мл анализируемой воды (в зависимости от содержания в ней серы), прибавить 10 мл глицерина и разбавить смесь примерно до 150 мл дистиллированной водой. Затем прибавить 20 мл суспензии карбоната цинка или карбоната кадмия, перемешать и фильтровать, собирая фильтрат в мерную колбу вместимостью 200 мл; осадок необходимо перенести на фильтр и промыть его горячей водой. Фильтрат в мерной колбе осаждается, затем его необходимо разбавить дистиллированной водой до метки и перемешать.

### *Определение сульфид-ионов.*

Фильтр с осадком необходимо поместить в коническую колбу вместимостью 250 мл, прибавить 25–50 мл раствора йода и подкислить жидкость 5 мл хлористоводородной кислоты. Фильтр необходимо измельчить стеклянной палочкой и затем оттитровать избыток йода раствором тиосульфата натрия в присутствии крахмала.

Содержание сульфид-ионов  $X_1$ , мг/дм<sup>3</sup>, определяется по формуле

$$X_1 = \frac{(aK_1 - bK_2) \cdot 0,1603}{V} \cdot 1000, \quad (4.15)$$

где  $a$  – объем прибавленного раствора йода, мл;

$K_1$  – поправочный коэффициент для приведения концентрации раствора йода к 0,01н;

$b$  – объем раствора тиосульфата натрия, израсходованного на обратное титрование, мл;

$K_2$  – поправочный коэффициент для приведения концентрации раствора тиосульфата натрия к 0,01н;

0,1603 – количество сульфид-ионов, эквивалентное 1 мл 0,01н раствора йода, мг;

$V$  – объем воды, взятой для определения, мл.

Суммарное содержание сероводорода, сульфид и гидросульфид-ионов  $X_2$ , мг/дм<sup>3</sup> (в расчете на H<sub>2</sub>S) определяется по формуле

$$X_2 = \frac{(aK_1 - bK_2) \cdot 0,85}{V} \cdot 1000, \quad (4.16)$$

где 0,85 – количество сероводорода, эквивалентное 1 мл 0,05н раствора йода, мг/дм<sup>3</sup>.

По найденному общему содержанию сероводорода, гидросульфида и сульфид-ионов определяются отдельно концентрации H<sub>2</sub>S, HS<sup>-</sup> и S<sup>2-</sup>, если известна концентрация ионов водорода (рН воды) на основании данных таблицы А.7 по константам диссоциации сероводорода в зависимости от температуры и солесодержания.

Относительное содержание HS<sup>-</sup>-ионов (в %, в расчете на H<sub>2</sub>S) определяется путем вычитания из 100 % указанные в таблице А.7 значения для H<sub>2</sub>S. По общему содержанию сероводорода и гидросульфид-ионов, выраженному в мг/дм<sup>3</sup> H<sub>2</sub>S, рассчитывается количество каждого компонента. Ионы S<sup>2-</sup> появляются в заметных количествах лишь при рН > 10; при рН = 11 ионов S<sup>2-</sup> содержится 1 %, при рН = 12 – 9 %, при рН = 12,5 – 24 %, при рН = 13 – 50 % [7].

После определения содержания H<sub>2</sub>S в исходной воде ее необходимо подвергнуть аэрированию воздухом с целью удаления сероводорода и повторно определить содержание H<sub>2</sub>S.

Результаты измерений и вычислений записываются в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты измерений и расчетов

Номер пробы	Содержание, мг/дм <sup>3</sup>		рН воды	Характеристика воды
	до удаления	после удаления		
H <sub>2</sub> S				
HS <sup>-</sup>				
S <sup>2-</sup>				

### Контрольные вопросы

- 1 Какие свойства воде придает наличие в ней сероводорода?
- 2 К каким отрицательным последствиям может привести наличие сероводорода в воде систем производственного водоснабжения?
- 3 В каких формах встречается сероводород в природных водах?
- 4 Какими факторами определяется форма сероводорода?
- 5 В каких водах (поверхностных или подземных) присутствует больше сероводорода и почему?
- 6 Приведите примеры процессов в воде, сопровождающихся образованием сероводорода органического и неорганического происхождения.
- 7 Объясните, почему в поверхностных водах сероводород присутствует в придонных слоях и в незначительных количествах.
- 8 Каким образом можно удалить сероводород из воды? Объясните физическую сущность процессов удаления сероводорода из воды аэрацией.
- 9 Перечислите основные недостатки химических методов удаления сероводорода.

## 5 КОРРЕКТИРОВКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ

### Лабораторная работа № 7

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ И ЩЕЛОЧНОСТИ ВОДЫ

**Цель работы:** ознакомление с методиками и приобретение практических навыков качественного и количественного анализа содержания в воде кальция и магния; ознакомление с методиками определения жесткости и щелочности воды.

**Приборы, посуда и реактивы:**

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

## Краткие сведения из теории

Различают жесткость общую ( $J_0$ ), карбонатную ( $J_k$ ) и некарбонатную ( $J_{нк}$ ). **Карбонатная жесткость** (временная) обусловлена содержанием в воде гидрокарбонатов кальция и магния, **некарбонатная жесткость** (постоянная) – содержанием в воде кальциевых и магниевых солей серной, соляной и азотной кислот.

**Общая щелочность** – это сумма содержащихся в воде гидроксильных ионов ( $\text{OH}^-$ ) и анионов слабых кислот (карбонатов, гидрокарбонатов, боратов, сульфитов, гидросульфитов, сульфидов, гидросульфидов, анионов гуминовых кислот, фосфатов), которые, гидролизуясь, образуют сильные гидроксильные ионы. Различают гидрокарбонатную и карбонатную щелочность. Иногда, при  $\text{pH} > 8.5$  возникает гидратная щелочность.

Щелочность природных вод в силу их контакта с атмосферным воздухом и известняками обусловлена, главным образом, содержанием в них гидрокарбонатов и карбонатов, которые вносят значительный вклад в минерализацию воды. Их содержание в воде обусловлено процессами растворения углекислого газа, взаимодействия воды с находящимися в прилегающих грунтах известняками и протекающими в воде жизненными процессами дыхания всех водных организмов.

Щелочность определяется количеством сильной кислоты, необходимой для нейтрализации 1  $\text{дм}^3$  воды. Щелочность большинства природных вод определяется только гидрокарбонатами кальция и магния,  $\text{pH}$  этих вод не превышает 8,3.

Определение общей щелочности воды основано на реакции образования нейтральных солей при титровании воды соляной кислотой. Общая щелочность воды обусловлена наличием ионов  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$ .

Ионы  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  титруются соляной кислотой в присутствии индикатора фенолфталеина (при  $\text{pH} = 8,3$ ) и обуславливают щелочность воды по фенолфталеину.

При титровании протекают реакции:



Ионы  $\text{HCO}_3^-$  титруются соляной кислотой в присутствии индикатора метилоранжа (при  $\text{pH} = 3,6$ ):



Если щелочность воды по фенолфталеину равна нулю, то общая ее щелочность обусловлена наличием только гидрокарбонат-ионов  $\text{HCO}_3^-$ .

В подавляющем большинстве природных вод ионы  $\text{HCO}_3^-$  связаны только с ионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Поэтому в тех случаях, когда щелочность воды по фенолфталеину равна нулю, можно считать, что общая щелочность воды равна ее карбонатной жесткости [8].

### Порядок выполнения работы

#### *1 Определение общей щелочности воды.*

К 100 мл исследуемой воды, отмеренной пипеткой в коническую колбу на 250 мл, необходимо добавить 2–3 капли раствора фенолфталеина. Если появится розовая окраска, воду титровать 0,1н раствором соляной кислоты до обесцвечивания. Затем в ту же колбу добавить 2–3 капли раствора метилоранжа и продолжить титрование 0,1н раствором соляной кислоты до перехода желтой окраски в розовую.

Необходимо записать объем 0,1н раствора  $\text{HCl}$ , израсходованного на титрование воды с фенолфталеином, и общий объем 0,1н раствора  $\text{HCl}$ , израсходованного на титрования.

Общая щелочность воды, мг-экв/дм<sup>3</sup>,

$$\text{Щ}_{\text{общ}} = \frac{NV}{V_1} \cdot 1000, \quad (5.4)$$

где  $N$  – нормальность раствора  $\text{HCl}$ ;

$V$  – общий объем раствора  $\text{HCl}$ , израсходованного на титрование исследуемой воды, мл;

$V_1$  – объем воды, взятой для исследования, мл.

Для вычисления некарбонатной (постоянной) жесткости воды дополнительно определяется ее щелочность по фенолфталеину  $\text{Щ}_{\text{ф}}$ , мг-экв/дм<sup>3</sup>:

$$\text{Щ}_{\text{ф}} = \frac{NV_2}{V_1} \cdot 1000, \quad (5.5)$$

где  $V_2$  – объем раствора  $\text{HCl}$ , израсходованного на титрование, мл.

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

#### *2 Определение общей жесткости.*

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

К 100 мл исследуемой воды, отмеренной пипеткой в коническую колбу на 250 мл, необходимо добавить 5 мл аммиачного буферного раствора, 6–7 капель индикатора эриохрома черного Т, который с ионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  образует комплексы малиново-красного цвета [8].

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

Общая жесткость раствора, мг-экв/дм<sup>3</sup>,

$$J_{\text{общ}} = \frac{NV_3}{V_1} \cdot 1000, \quad (5.6)$$

где  $N$  – нормальность раствора трилона Б;

$V_3$  – объем раствора трилона Б, израсходованного на титрование исследуемой воды, мл;

$V_1$  – объем воды, взятой для исследования, мл.

### 3 Определение кальциевой и магниевой жесткости.

Сначала необходимо определить общую жесткость воды. Затем осадить ионы кальция в виде оксалата кальция  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ :



и определить магниевую жесткость фильтрата.

Кальциевая жесткость воды определяется как разность между общей и магниевой жесткостью.

К 100 мл исследуемой воды, отмеренной пипеткой в коническую колбу на 250 мл, необходимо добавить 1 мл специального буферного раствора и 10–15 мл 5%-го раствора оксалата аммония.

При этом выпадает осадок оксалата кальция  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ , который следует отфильтровать через плотный беззольный фильтр. Осадок на фильтре промыть 2 раза небольшими количествами холодной дистиллированной воды. Промывные воды присоединить к фильтрату и определить его жесткость: добавить к раствору 5 мл аммиачного буферного раствора, 6–7 капель раствора индикатора эриохрома черного Т, титровать 0,05н раствором трилона Б.

Магниевая жесткость воды, мг-экв/дм<sup>3</sup>,

$$J_{\text{Mg}} = \frac{NV_4}{V_1} \cdot 1000, \quad (5.8)$$

где  $N$  – нормальность раствора трилона Б;

$V_4$  – объем раствора трилона Б, израсходованного на титрование исследуемой воды, мл;

$V_1$  – объем воды, взятой для исследования, мл.  
 Кальциевая жесткость воды, мг-экв/дм<sup>3</sup>,

$$Ж_{Ca} = Ж_{общ} - Ж_{Mg} \quad (5.9)$$

Содержание ионов кальция  $Ca^{2+}$  определяется по формуле

$$Ca^{2+} = 20,04Ж_{Ca}, \quad (5.10)$$

а содержание ионов магния  $Mg^{2+}$  – по формуле

$$Mg^{2+} = 12,16Ж_{Mg} \quad (5.11)$$

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

Результаты определения кальциевой и магниевой жесткости воды записываются в таблицу 5.1.

*Таблица 5.1 – Определение кальциевой и магниевой жесткости*

Номер пробы	Содержание ионов, мг/дм <sup>3</sup>		Жесткость воды, мг-экв/дм <sup>3</sup>	
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	кальциевая	магниевая

### Контрольные вопросы

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

## Лабораторная работа № 8

### УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ ИЗВЕСТКОВО-СОДОВЫМ МЕТОДОМ

**Цель работы:** ознакомиться с методиками и приобрести практические навыки качественного и количественного определения доз реагентов для

умягчения воды, ознакомиться с методикой определения остаточной жесткости воды.

**Приборы, посуда и реактивы:**

- 1 Стеклянная воронка.
- 2 Пипетки с оттянутыми концами, нестандартные.
- 3 Бюретка, ГОСТ 20292–74.
- 4 Штатив.
- 5 Конические колбы вместимостью 250 мл.
- 6 Плоскодонные колбы вместимостью 200, 250, 300, 500 мл.
- 7 0,1н раствор HCl.
- 8 Фенолфталеин (0.1% раствор).
- 9 Метилоранж.
- 10 Известковый раствор (1 мг/мл CaO).
- 11 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (5%-й раствор).

**Краткие сведения из теории**

**Умягчение воды** – технологический процесс обработки воды с целью снижения жесткости, т.е. удаления из воды катионов кальция и магния.

К жесткости воды, используемой на технические цели, часто предъявляются более высокие требования, чем для питьевой. Например, для сетевой и подпиточной вод для различных видов водогрейных котлов норма жесткости составляет 0,3–0,8 мг-эquiv/дм<sup>3</sup>, а для питательных стационарных паровых котлов – 0,05–0,1 мг-эquiv/дм<sup>3</sup>.

В практике водоподготовки для умягчения воды применяются методы: реагентный, ионный обмен, термический и диализ. Выбор метода умягчения воды определяется ее качеством, необходимой глубиной умягчения и технико-экономическими соображениями.

Реагентный метод умягчения заключается в связывании ионов Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> химическими веществами в малорастворимые соединения: CaCO<sub>3</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub>, Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> и др.

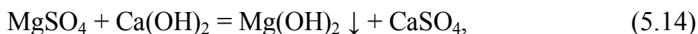
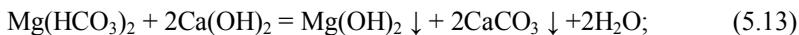
В зависимости от применяемого реагента различают методы умягчения:

- известковый [Ca(OH)<sub>2</sub>];
- известково-содовый [Ca(OH)<sub>2</sub>+ Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>];
- содово-натриевый [Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+NaOH];
- бариевый [BaCO<sub>3</sub> или Ba(OH)<sub>2</sub>];
- фосфатный [Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>] и др.

*Известково-содовый метод* умягчения воды является наиболее распространенным. Сущность метода заключается во введении в воду извести и соды. Известь устраняет карбонатную жесткость, обусловленную наличием в воде гидрокарбонатов кальция и магния, за счет образования

гидроксида магния и карбоната кальция, а магниевую жесткость (часть некарбонатной жесткости, обусловленной наличием солей магния) переводит в кальциевую жесткость.

Реакции, протекающие при обработке воды известью:

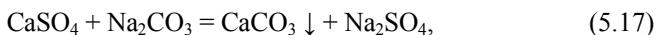
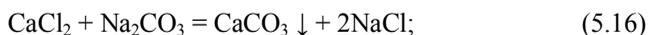


или в ионном виде:



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

Реакции, протекающие при обработке воды содой:



или в ионном виде:



По этому методу остаточная жесткость может быть доведена до 0,5–1,0 мг-эquiv/дм<sup>3</sup>, а щелочность с 7,0 мг-эquiv/дм<sup>3</sup> – до 0,8–1,2 мг-эquiv/дм<sup>3</sup>.

### Порядок выполнения работы

#### *1 Определение дозы извести [8].*

В мерную колбу на 200 мл необходимо налить пипеткой 50 мл известкового раствора, содержащего 1 мг/мл СаО, долить до метки исследуемой водой и содержимое колбы взболтать. Затем раствор перелить в плоскодонную колбу объемом 300 мл, закрыть ее стеклянной воронкой и поместить на 5 минут в кипящую водяную баню (для укрупнения кристаллов выпавшего осадка). Раствор охладить до 20 °С и фильтровать через плотный фильтр в коническую колбу вместимостью 250 мл.

Первыми порциями фильтрата следует ополоснуть колбу. Фильтрат вылить. В коническую колбу на 250 мл отобрать пипеткой 50 мл профильтрованной жидкости, добавить 2–3 капли фенолфталеина (раствор должен окраситься в розовый цвет) и прибавить по каплям из бюретки 0,1н раствор соляной кислоты до обесцвечивания раствора.

Объем известкового раствора  $V_{\text{CaO}}$ , мл, необходимый для умягчения 150 мл исследуемой воды, определяется по формуле

$$V_{\text{CaO}} = \frac{4NV_2}{C_{\text{CaO}}} \cdot \mathcal{E}_{\text{CaO}}, \quad (5.19)$$

где 4 – коэффициент разбавления известкового раствора исследуемой водой;

$N$  – нормальность раствора соляной кислоты;

$V_2$  – объем раствора соляной кислоты, израсходованной на титрование 50 мл фильтрата, мл;

$\mathcal{E}_{\text{CaO}}$  – эквивалентная массв извести, мг-эquiv,  $\mathcal{E}_{\text{CaO}} = 28$  мг-эquiv;

$C_{\text{CaO}}$  – концентрация известкового раствора, мг/мл.

Доза оксида кальция  $D_{\text{CaO}}$ , мг/дм<sup>3</sup>, для умягчения 1 дм<sup>3</sup> исследуемой воды определяется по формуле

$$D_{\text{CaO}} = \frac{V_{\text{CaO}}C_{\text{CaO}}}{200 - V_1} \cdot 1000, \quad (5.20)$$

где  $V_1$  – объем взятого для определения известкового раствора, равный 50 мл;

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

*2. Определение дозы соды.*

В мерную колбу на 200 мл необходимо налить пипеткой 100 мл исследуемой воды и определенный объем известкового молока (необходимый объем установлен в предыдущем опыте).

Содержимое колбы следует взболтать в течение 1–2 минут, добавить 3 мл 5%-го раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и долить исследуемой водой до метки. После повторного взбалтывания содержимое мерной колбы следует вылить в плоскодонную колбу объемом 500 мл и поместить ее на 5 минут в кипящую водяную баню. Раствор необходимо охладить до 20 °С и профильтровать. Затем отобрать пипеткой 100 мл фильтрата в коническую колбу вместимостью 250 мл и определить количество остаточной соды в фильтрате титрованием 0,1н раствором соляной кислоты в присутствии метилового оранжевого [8].

Объем раствора соды  $V_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$ , мл, необходимый для умягчения 100 мл исследуемой воды, определяется по формуле

$$V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = V_3 - \frac{NV_4}{C_{\text{Na}_2\text{CO}_3}} \mathcal{E}_{\text{Na}_2\text{CO}_3}, \quad (5.21)$$

где  $V_3$  – объем раствора соды, взятого для определения, мл;

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

$N$  – нормальность раствора HCl;

$C_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$  – концентрация соды, мг/мл;

$\mathcal{E}_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$  – эквивалентная масса соды, мг-эquiv,  $\mathcal{E}_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 53$  мг-эquiv.

Доза соды  $D_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$ , мг/дм<sup>3</sup>, для умягчения 1 дм<sup>3</sup> исследуемой воды определяется по формуле

$$D_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} C_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{200 - (V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} - V_3)} \cdot 1000, \quad (5.22)$$

### 3 Определение остаточной жесткости.

В мерную колбу на 250 мл необходимо налить 200 мл исследуемой воды и определенные в предыдущих опытах объемы (в мл) известкового раствора

$\left[ \frac{V_{\text{CaO}} \cdot 200}{200 - V_1} \right]$  и раствора соды  $\left[ \frac{V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \cdot 200}{200 - (V_{\text{CaO}} + V_3)} \right]$  довести до метки дистилли-

рованной водой, погрузить колбу на 5 минут в кипящую водяную баню, охладить раствор до 20 °С и фильтровать через плотный складчатый фильтр. Затем следует отобрать 100 мл фильтрата и определить его общую жесткость комплексонометрическим методом [8].

Результаты определения кальциевой и магниевой жесткости воды записываются в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты измерений и вычислений

Жесткость воды до умягчения, мг-эquiv/дм <sup>3</sup>		Доза извести, мг/дм <sup>3</sup>	Доза соды, мг/дм <sup>3</sup>	Жесткость умягченной воды, мг/дм <sup>3</sup>
карбонатная	некарбонатная			

### Контрольные вопросы

- 1 В чем заключается сущность реагентного метода умягчения воды?
- 2 На чем основан катионитный способ умягчения?
- 3 Условия применения термохимического метода умягчения.
- 4 Зависит ли и каким образом глубина умягчения от температуры воды?
- 5 Перечислите все известные способы реагентного умягчения.
- 6 Какие методы применимы для умягчения воды на хозяйственно-питьевые нужды?
- 7 В каких случаях кроме извести для умягчения воды требуется введение соды?

8 В каких пределах может находиться жесткость воды, используемой для подпитки паровых котлов?

9 Назовите условия, при которых для умягчения воды достаточно введения в воду одной извести.

10 Предложите способ обработки воды с повышенной карбонатной жесткостью для последующего использования ее в качестве добавочной воды в оборотной системе охлаждения.

## Лабораторная работа № 9

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ИОННООБМЕННОЙ ВОДОУМЯГЧИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

**Цель работы:** ознакомиться с принципом действия натрий-катионитовой установки и оценить эффективность ее работы; установить влияние жесткости исходной воды на режим работы водоумягчительной установки.

#### Приборы, посуда и реактивы

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

#### Краткие сведения из теории

Ионнообменные методы умягчения обычно применяют для обработки подземных вод и вод поверхностных источников с мутностью не более  $8 \text{ мг/дм}^3$  и цветностью не более  $30^\circ$ .

Сущность ионного обмена заключается в способности ионообменных материалов или ионитов поглощать из воды (раствора электролита) положительные или отрицательные ионы в обмен на эквивалентное количество ионов ионита.

Процесс водоподготовки методом ионного обмена в результате которого происходит обмен катионов называется **катионированием**.

Самым простым из ионнообменных методов является натрий-катионитовый метод, заключающийся в фильтровании воды через слой катионита (сульфоугля, КУ-1, КУ-2). При одноступенчатом натрий-катионировании общая жесткость воды может быть снижена до 0,1–0,05 мг-экв/дм<sup>3</sup>, при двухступенчатом – до 0,01 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Для количественной оценки обменной способности катеонита введено понятие «обменная емкость», которая выражается в грамм-эквивалентах задержанных катионов на 1 м<sup>3</sup> катионита, находящегося в набухшем состоянии после пребывания в воде.

Различают полную и рабочую обменные емкости катионита.

Полной обменной емкостью катионита называется то количество грамм-эквивалентов катионов, которое задерживает 1 м<sup>3</sup> катионита находящегося в рабочем состоянии до того момента, когда жесткость фильтрата сравняется с жесткостью исходной воды.

Рабочей обменной емкостью катионита называют то количество грамм-эквивалентов катионов, которое задерживает 1 м<sup>3</sup> катионита до момента "проскока" катионов в фильтрат.

### Порядок выполнения работы

Схема лабораторной установки приведена на рисунке 5.1



Рисунок 5.1 – Схема лабораторной установки

### *1 Определение жесткости исходной воды.*

Жесткость исходной воды  $J_{исх}$  определяется по рассмотренной ранее методике (см. лабораторную работу № 7).

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

### *2 Пробное умягчение воды.*

Для проведения пробного умягчения необходимо исходную воду по трубопроводу 4 подать в верхнюю часть закрепленного на штативе фильтра 1 (см. рисунок 5.1). Умягченная вода будет отводиться по трубопроводу 8, при этом вентили на трубопроводах 5–7 должны быть закрыты [8].

### *3 Определение жесткости умягченной воды.*

В коническую колбу емкостью 200 мл отобрать пробу фильтрата и определить жесткость умягченной воды  $J_{ф}$  аналогично п. 1.

### *4 Оценка эффективности работы Na-катионитовой установки.*

Для оценки эффективности работы установки  $\Theta$ , %, необходимо сопоставить величины жесткости исходной воды  $J_{исх}$  и фильтрата  $J_{ф}$ :

$$\Theta = \frac{J_{исх} - J_{ф}}{J_{исх}} \cdot 100, \quad (5.23)$$

Количество исходной воды,  $m^3$ , которое можно умягчить на лабораторной установке за один фильтроцикл (от регенерации до регенерации)

$$Q = \frac{\pi D^2 H E}{4 J_{исх}}, \quad (5.24)$$

где  $D$  – внутренний диаметр фильтровальной колонки, м;

$H$  – толщина слоя сульфогля в фильтровальной колонке, м;

$E$  – полная обменная емкость сульфогля, мг-экв/дм<sup>3</sup>,  $E = 570$  мг-экв/дм<sup>3</sup>;

$J_{исх}$  – общая жесткость исходной воды, мг-экв/дм<sup>3</sup>.

### *5 Определение расхода поваренной соли для регенерации катионита.*

Количество поваренной соли  $G$ , кг, требуемое для регенерации катионита (сульфогля) в натрий-катионитовой установке определяется по формуле

$$G = \frac{\pi D^2 H E_1 d_c}{4000}, \quad (5.25)$$

где  $E_1$  – рабочая обменная емкость катионита (сульфогля), мг-экв/дм<sup>3</sup>;

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

## Рабочая обменная емкость натрий-катионита

$$E_1 = \alpha_{\text{Na}} \beta_{\text{Na}} E - 0,5 q_{\text{уд}} \text{Ж}_{\text{исх}}, \quad (5.26)$$

где  $\alpha_{\text{Na}}$  – коэффициент эффективности регенерации натрий-катионита, учитывающий неполноту регенерации катионита, определяется по таблице А.9;

$\beta_{\text{Na}}$  – коэффициент, учитывающий снижение обменной емкости катионита по  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  вследствие частичного задержания катионитов  $\text{Na}^+$ , принимается по таблице А.10 в зависимости от соотношения концентрации натрия и общей жесткости; если ионы  $\text{Na}^+$  в воде отсутствуют, то  $\beta_{\text{Na}} = 1$ ;

$E$  – полная обменная емкость катионита, г-экв/м<sup>3</sup>;

$q_{\text{уд}}$  – удельный расход воды на отмывку катионита, м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> катионита,  $q_{\text{уд}} = 4 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ;

$\text{Ж}_{\text{исх}}$  – общая жесткость исходной воды, г-экв/м<sup>3</sup>.

### 6 Регенерация и промывка катионита.

Для регенерации и промывки катионита необходимо произвести его взрыхление обратным током воды из водопровода по трубопроводу 7 (см. рисунок 5.1) в течение 10–15 мин. Затем произвести регенерацию пропуском 10%-го раствора поваренной соли из бака 9 по трубопроводу 5 в течение 15–20 мин.

После регенерации катионит следует отмыть от продуктов регенерации ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ) и остатков поваренной соли. Отмывка производится исходной водой из трубопровода 4 в течение 30–40 мин. Сброс продуктов регенерации осуществляется через трубопровод 6 [8].

### 7 Оценка эффективности работы установки после регенерации.

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

Результаты исследования работы ионообменной Na-катионитовой установки представить в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Результаты исследования работы Na-катионитовой установки

Жесткость исходной воды, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Жесткость фильтрата Ж <sub>ф</sub> , мг-экв/дм <sup>3</sup>		Эффективность работы установки Э, %	
	до регенерации загрузки	после регенерации загрузки	до регенерации загрузки	после регенерации загрузки

### Контрольные вопросы

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

## 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ВОДЫ

---

Стабильность воды является одним из основных показателей ее качества. Обесцвеченную и осветленную на очистных сооружениях воду нельзя считать удовлетворительной по качеству, если она, проходя по трубам, приобретает окраску или образует осадок. **Стабильной называется вода, которая не выделяет и не растворяет осадок карбоната кальция** [6, 11].

Стабильность воды нарушается при повышенном содержании в ней растворенного углекислого газа, кислорода или сероводорода, при низком значении рН, пересыщенности карбонатом кальция или гидроксидом магния, повышенной концентрации хлоридов или сульфатов и др. [5, 6].

Различают стабильность воды по отношению к бетону и к металлам. Стабильность воды по отношению к бетону определяется прежде всего содержанием в ней растворенного углекислого газа (угольной кислоты) [6]. Угольная кислота находится в воде в связанном и в свободном состояниях. Связанная угольная кислота – это кислота, входящая в состав гидрокарбонатов и карбонатов [11].

Содержание карбонатов в природных водах незначительно и зависит от растворимости  $\text{CaCO}_3$ . Поэтому под связанной угольной кислотой следует подразумевать кислоту, входящую в состав гидрокарбонатов. Иногда такую угольную кислоту называют полусвязанной [6].

Наиболее распространенной солью, входящей в состав природных вод и содержащей угольную кислоту в связанном виде, является гидрокарбонат кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Содержание гидрокарбоната кальция в воде обуславливает так называемый щелочной резерв (щелочность) воды.

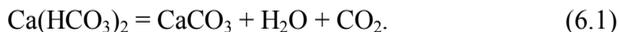
Свободную угольную кислоту, т.е.  $\sum(\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2)$  делят на равновесную и агрессивную.

Классификация угольной кислоты, находящейся в воде, приведена на рисунке 6.1.



Рисунок 6.1 – Классификация угольной кислоты, находящейся в воде

Содержание равновесной угольной кислоты в воде определяется химическим равновесием (6.1), которое называется углекислотным равновесием воды:



Как видно из уравнения реакции (6.1), содержание равновесной угольной кислоты в воде зависит от содержания в ней гидрокарбоната кальция: чем оно больше, тем больше равновесной угольной кислоты находится с ним в равновесии.

Если количество свободной угольной кислоты точно равно количеству равновесной угольной кислоты, то такая вода стабильна, в противном случае – нестабильна.

Нестабильность ее может быть двоякой. При пониженном содержании  $\text{CO}_2$  углекислотное равновесие воды смещается вправо, что приводит к выпадению карбоната кальция в осадок. Таким образом, вода с пониженным содержанием  $\text{CO}_2$  склонна к отложениям карбоната кальция, которые, например, уменьшают просветы в трубах водопроводов, их пропускную способность. Продолжительное протекание по трубопроводам воды, пересыщенной карбонатом кальция, может привести к полному зарастанию труб [9].

Количество растворенного в воде углекислого газа может быть и значительно больше, чем требуется по приведенному выше уравнению углекислотного равновесия. Особенно это относится к подземным водам. В поверхностных водах содержание свободной угольной кислоты (определяемое в основном растворимостью углекислого газа воздуха) обычно незначительно (до  $20 \text{ мг/дм}^3$ ). Наличие агрессивной угольной кислоты в них маловероятно. В подземных водах угольная кислота образуется вследствие протекания процессов разложения органических соединений, а также в результате био-

химических процессов. Концентрация свободной угольной кислоты в подземных водах достигает  $40 \text{ мг/дм}^3$ .

Повышенное содержание свободной угольной кислоты в воде обычно наблюдается после очистки ее коагуляцией, поскольку при взаимодействии гидрокарбонатов с кислотой, образующейся при гидролизе коагулянтов (сульфата алюминия и хлорида железа III), выделяется около  $80 \text{ мг CO}_2$  на  $100 \text{ мг}$  коагулянта [9].

Количество углекислого газа можно вычислить по уравнению



Избыточная свободная угольная кислота называется агрессивной, поскольку она очень активна и реакционноспособна. Зависимость между количеством связанной ( $\text{CO}_{2\text{связ}}$ ) и равновесной ( $\text{CO}_{2\text{равн}}$ ) свободной угольной кислоты при температуре  $t = 15 \dots 18 \text{ }^\circ\text{C}$  приведена на рисунке 6.2.

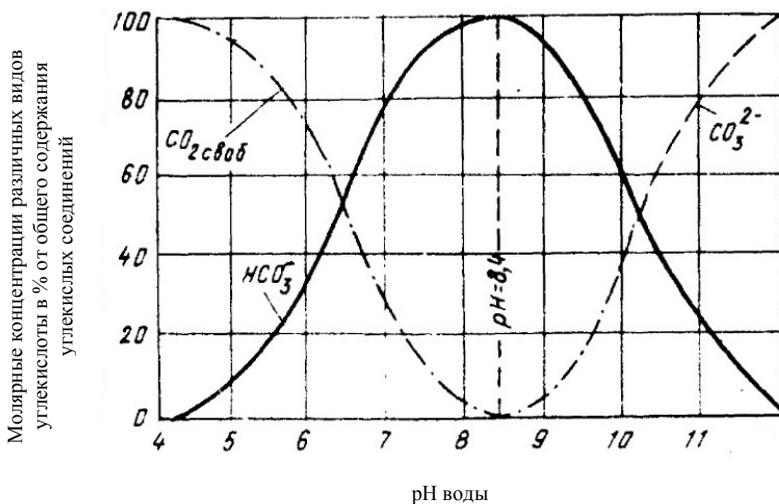


Рисунок 6.2 – График соотношений  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  в зависимости от pH воды

Особенно благоприятные условия для накопления агрессивной угольной кислоты создаются в период весеннего паводка, когда из-за высокой цветности очищаемой воды ( $150\text{--}200$ ) приходится применять повышенные дозы коагулянта при небольшом щелочном резерве воды, т.к. в этот период снижаются концентрации всех растворенных в воде солей.

Наличие в воде агрессивной угольной кислоты является основной причиной агрессивности воды по отношению к бетону.

Агрессивная угольная кислота, реагируя с карбонатом и гидроксидом кальция, содержащимся в бетоне, превращает их в растворимые гидрокарбонаты, способствуя быстрому разрушению бетонных сооружений.

Протекающие при разрушении бетона реакции можно записать уравнениями



Агрессивная угольная кислота, находящаяся в воде, не является коррозионным агентом, непосредственно действующим на металл, но косвенно она может способствовать коррозии металла. На внутренней поверхности водопроводных труб образуются ржавокарбонатные отложения, предохраняющие металл от разрушения. Агрессивная угольная кислота, растворяя карбонатную часть этих отложений, оголяет металлическую поверхность внутренней части труб, чем создает благоприятные условия для коррозии металла. Таким образом, вода, очищенная на водопроводных станциях и соответствующая требованиям СанПиН [1], но содержащая агрессивную угольную кислоту, на пути к потребителю загрязняется продуктами коррозии труб, которые повышают цветность воды и содержание в ней железа выше установленных СанПиН [1] норм. Поэтому очень важно контролировать в очищенной воде содержание агрессивной угольной кислоты.

В последнее время на некоторых водопроводных станциях установлены вместо обычных песчаных фильтров – мраморно-песчаные. В результате фильтрования воды через такие фильтры получают не только осветленную, но и стабильную воду.

Стабильность воды по отношению к металлам определяется, главным образом, содержанием в ней растворенного кислорода. Кислород обычно попадает в воду непосредственно из воздуха, а также в результате жизнедеятельности водорослей и некоторых микроорганизмов, находящихся в поверхностных водах.

Концентрация кислорода в воде зависит от парциального давления его в воздухе и температуры воды. Если количество растворенного в воде кислорода при давлении 101 кПа выше указанного в таблице А.11 (см. приложение А), то вода является агрессивной (коррозионно-активной) по отношению к металлу [6].

Протекание коррозионных процессов в железе обусловлено микрогальваническими парами, возникающими за счет содержания в железе примесей (например, углерода) или неоднородности обработки различных его участков.

При коррозии железа протекают следующие процессы.

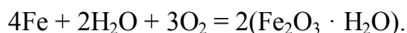
На аноде железо растворяется, образуя ионы железа и избыточные электроны:



На катоде ионы водорода присоединяют электроны, т.е. восстанавливаются до газообразного водорода:



При соприкосновении металла труб с водой, содержащей кислород, выделяющийся атомарный водород непрерывно окисляется до  $\text{H}_2\text{O}$ , что вызывает усиленное растворение железа, процесс коррозии прогрессирует:



## Лабораторная работа № 10

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ВОДЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К БЕТОНУ

**Цель работы:** установить количественное и качественное влияние угольной кислоты на характеристику стабильности воды по отношению к бетону.

#### Приборы, посуда и реактивы:

- 1 рН-метр.
- 2 Аппарат для перемешивания.
- 3 Две плоскодонные колбы вместимостью по 0,5 дм<sup>3</sup>.
- 4 Бюретка.
- 5 Штатив.
- 6 Коническая колба вместимостью 150 мл.
- 7 Раствор метилового оранжевого.
- 8 0,1%-й раствор едкого натра.
- 9 0,1%-й раствор соляной кислоты.
- 10 Карбонат кальция (порошок).

#### Краткие сведения из теории

Для характеристики стабильности воды по отношению к бетону прежде всего необходимо определять содержание в ней свободной и связанной угольной кислоты, что дает только общее представление о ее стабильности.

Если свободной угольной кислоты в воде содержится очень мало, то вода к бетону неагрессивна. При большом содержании свободной угольной кислоты в воде судить об агрессивности последней трудно, так как здесь важную роль играет содержание связанной гидрокарбонатной угольной

кислоты и необходимо знать, какая часть свободной угольной кислоты является равновесной, а какая – агрессивной. Агрессивность воды зависит также и от содержания растворенных в воде солей. При повышении их содержания количество свободной угольной кислоты, необходимой для поддержания углекислотного равновесия воды, уменьшается. Таким образом, при одинаковом содержании свободной угольной кислоты вода, содержащая большее количество солей, более агрессивна [6].

Чтобы точнее определить стабильность воды по отношению к бетону, необходимо использовать **метод карбонатных испытаний**, по которому нестабильность (агрессивность воды) характеризуется изменением количества связанной угольной кислоты после контакта исследуемой воды с карбонатом кальция. Если вода стабильна, то в ней карбонат кальция растворяться не будет, если же она агрессивна, то содержащаяся в ней угольная кислота частично прореагирует с карбонатом кальция с образованием гидрокарбоната кальция:



Следовательно, количество связанной угольной кислоты после контакта агрессивной воды с карбонатом кальция увеличивается. Если же количество связанной угольной кислоты при этом уменьшается, значит, вода была пересыщена карбонатом кальция, который выпал в осадок.

### **Порядок выполнения работы**

#### *1 Определение содержания свободной угольной кислоты.*

Предварительно необходимо определить наличие в воде свободного углекислого газа по метиловому оранжевому (кислая реакция) или измерить рН (рН < 4,5).

Если установлено наличие свободного  $\text{CO}_2$ , то следует количественно определить свободную и общую кислотности воды [6].

#### *2 Определение свободной кислотности воды.*

К 100 мл исследуемой воды необходимо добавить 2 капли раствора метилового оранжевого и титровать 0,1%-м раствором едкого натра до появления желтой окраски (при электрометрическом определении титровать до рН = 4,5).

#### *3 Определение связанной угольной кислоты.*

Связанная угольная кислота – это кислота, входящая в состав химических соединений (карбонатов и гидрокарбонатов). Обычно в воде находятся только гидрокарбонаты, количество которых определяется так же, как и величина общей щелочности воды (т.е. титрованием раствором  $\text{HCl}$ ). Гидрокарбонаты при этом переходят в хлориды:



В коническую колбу пипеткой следует отмерить 100 мл исследуемой воды, добавить несколько капель раствора метилового оранжевого и из бюретки – 0,1%-й раствор соляной кислоты до перехода желтой окраски раствора в розовую.

Количество связанной угольной кислоты, мг/дм<sup>3</sup>,

$$[\text{CO}_{2\text{с}}] = \frac{V_1 N \cdot 22}{V_2} \cdot 1000, \quad (6.9)$$

где  $V_1$  – объем раствора HCl, израсходованного на титрование, мл;

$N$  – нормальность раствора HCl;

$V_2$  – объем исследуемой воды, мл;

22 – эквивалентная масса углекислого газа, г/экв.

*4 Определение стабильности воды по отношению к бетону [6].*

В две плоскодонные колбы вместимостью по 0,5 дм<sup>3</sup> необходимо налить по 400 мл исследуемой воды, добавить в каждую из них по 15 г порошкообразного карбоната кальция, плотно закрыть резиновыми пробками и поместить в аппарат для перемешивания. Содержимое одной колбы следует перемешивать в течение 1 ч, другой – в течение 2 ч, чтобы убедиться в установлении равновесия.

По окончании перемешивания пробки в колбах быстро заменяются другими, в которые вставлена трубка с натронной известью и сифонная трубка, соединенная с воронкой для фильтрования.

Сифон необходимо зарядить, присоединяя нижний конец воронки к водоструйному насосу. После зарядки сифона воронку необходимо вставить в коническую колбу, расположенную примерно на 75 см ниже дна плоскодонной колбы. Описанное устройство позволяет фильтровать воду без доступа CO<sub>2</sub> воздуха. В обоих фильтрах определяется количество связанной угольной кислоты. Если разница между двумя определениями не превышает 1,2 мг/дм<sup>3</sup>, то за расчетное принимается второе определение при условии более длительного перемешивания воды с карбонатом кальция.

Результат определения стабильности воды  $S$  выражается дробью, числителем которой является содержание связанной угольной кислоты в исследуемой воде в природном состоянии, а знаменателем – количество связанной угольной кислоты после предельного насыщения воды карбонатом кальция. Если  $S = 1$ , то количество связанной угольной кислоты не изменяется при перемешивании с карбонатом кальция. Следовательно, состав такой воды не изменяется и при соприкосновении с бетоном или известковыми породами, т.е. при  $S = 1$  вода стабильна. Если  $S > 1$ , то вода склонна к отложениям. Если  $S < 1$ , то вода агрессивна, т.е. содержание связанной

угольной кислоты после перемешивания с карбонатом кальция увеличилось за счет растворения последнего агрессивной угольной кислотой.

Результаты проведенных опытов сводятся в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Результаты измерений и расчетов

Место отбора пробы	Количество свободной угольной кислоты, мг/дм <sup>3</sup>	Количество связанной угольной кислоты, мг/дм <sup>3</sup>		Стабильность воды С, характеристика воды по отношению к бетону
		до перемешивания с CaCO <sub>3</sub>	после перемешивания с CaCO <sub>3</sub>	

### Контрольные вопросы

- 1 Как классифицируется угольную кислоту, содержащуюся в воде?
- 2 В чем состоит сущность процесса разрушения бетона и известковых пород водой, содержащей агрессивную угольную кислоту?
- 3 Как определяется стабильность воды по отношению к бетону?

## Лабораторная работа № 11

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА СТАБИЛЬНОСТИ ВОДЫ

**Цель работы:** установить количественное значение индекса стабильности воды известного состава, дать сравнительную оценку лабораторным и расчетным методам определения индекса стабильности, выбрать способ стабилизационной обработки воды.

#### Приборы, посуда и реактивы:

- 1 рН-метр.
- 2 Аппарат для перемешивания.
- 3 Две плоскодонные колбы вместимостью по 0,5 дм<sup>3</sup>.
- 4 Бюретка.
- 5 Штатив.
- 6 Коническая колба вместимостью 250 мл.
- 7 Раствор фенолфталеина.
- 8 0,1%-й раствор едкого натра.
- 9 0,1%-й раствор соляной кислоты.
- 10 Карбонат кальция (порошок).
- 11 Раствор метилового оранжевого.

## Порядок выполнения работы

*1 Измерение рН исходной воды.*

Проводится с помощью рН-метра.

*2 Определение щелочности исходной воды.*

К 100 мл исследуемой воды, отмеренной пипеткой в коническую колбу на 250 мл, необходимо добавить 2–3 капли раствора фенолфталеина.

Если появится розовая окраска, воду титровать 0,1%-м раствором соляной кислоты до обесцвечивания. Затем в ту же колбу добавить 2–3 капли раствора метилового оранжевого и продолжать титрование 0,1%-м раствором соляной кислоты до перехода желтой окраски в розовую.

Следует записать объем 0,1%-го раствора HCl, израсходованного на титрование воды с фенолфталеином, и общий объем 0,1%-го раствора HCl, израсходованного на титрования [6].

Общая щелочность воды, мг-экв/дм<sup>3</sup>,

$$\text{Щ}_{\text{общ}} = \frac{VN}{V_1} \cdot 1000, \quad (6.10)$$

где  $V$  – общий объем раствора HCl, израсходованного на титрование исследуемой воды, мл;

$N$  – нормальность раствора HCl;

$V_1$  – объем исследуемой воды, мл.

*3 Определение стабильности воды методом карбонатных испытаний (см. лабораторную работу № 10, п. 4).*

*4 Определение щелочности воды после насыщения ее карбонатом кальция.*

Проводится аналогично п. 2.

*5 Расчет показателя стабильности.*

Стабильность воды

$$C_1 = \frac{\text{Щ}_{\text{исх}}}{\text{Щ}_{\text{н}}}, \quad (6.11)$$

где  $\text{Щ}_{\text{исх}}$  – исходная фактическая щелочность воды в естественном состоянии, мг-экв/дм<sup>3</sup>;

$\text{Щ}_{\text{н}}$  – щелочность воды после смешивания (насыщения) ее с карбонатом кальция, мг-экв/дм<sup>3</sup>;

*6 Измерение рН<sub>s</sub> воды после насыщения ее карбонатом кальция.*

Проводится с помощью рН-метра (аналогично п. 1).

*7 Расчет показателя стабильности C<sub>2</sub>.*

Показатель стабильности

$$C_2 = \frac{pH_{исх}}{pH_s}, \quad (6.12)$$

где  $pH_{исх}$  – pH исходной воды;

$pH_s$  – pH воды насыщенной карбонатом кальция.

8 Расчет индекса стабильности  $J$ .

Индекс стабильности

$$J_1 = pH_{исх} - pH_s. \quad (6.13)$$

9 Определение  $pH_s$ .

$pH_s$  определяется по формуле

$$pH_s = f_1(t) - f_2(Ca^{2+}) - f_3(Щ) + f_4(P) \quad (6.14)$$

где  $f_1(t)$  – функция температуры воды, определяется по таблице А.12;

$f_2(Ca^{2+})$  – функция содержания в воде кальция, определяется по таблице А.13;

$f_3(Щ)$  – функция щелочности, определяется по таблице А.14;

$f_4(P)$  – функция общего содержания в воде солей, определяется по таблице А.15.

10 Определение индекса насыщения.

Индекс насыщения

$$J_2 = pH_{исх} - pH_s^*. \quad (6.15)$$

Результаты измерений и вычислений сводятся в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Результаты измерений и расчетов

Исходная вода		Вода после насыщения карбонатом кальция		Стабилизационная характеристика			
				показатель стабильности		индекс стабильности	
$pH_{исх}$	$Щ_{исх}$	$pH_s$	$Щ_n$	$C_1$	$C_2$	$J_1$	$J_2$

### Контрольные вопросы

- 1 Каким образом можно определить показатель стабильности воды?
- 2 Какими свойствами обладает вода, если после 2-часового контакта ее с карбонатом кальция произошло снижение щелочности воды?

3 Какими свойствами обладает вода, если после 2-часового контакта ее с карбонатом кальция наблюдается увеличение рН?

4 Перечислите все известные вам способы определения индекса стабильности воды.

5 Каким образом влияет на стабильность воды общее солесодержание?

## Лабораторная работа № 12

### СТАБИЛИЗАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОМ ИНДЕКСЕ СТАБИЛЬНОСТИ

**Цель работы:** освоение практических методов получения стабильной воды.

#### **Приборы и реактивы:**

1 рН-метр.

2 Аппарат для перемешивания.

3 Плоскодонные колбы вместимостью по 0,5 дм<sup>3</sup>.

4 Коническая колба вместимостью 250 мл.

5 Известковый раствор (1 мг/мл СаО).

6 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (5%-й раствор).

#### **Краткие сведения из теории**

Стабилизационная обработка воды при отрицательном индексе стабильности заключается в ее подщелачивании, фильтровании через мраморную крошку или магномассу либо удалении оксида углерода азированием. При этом предусматривается также создание условий для образования защитной карбонатной пленки на внутренней поверхности труб [6].

В качестве подщелачивающих реагентов применяется известь или соду. Соду применяется только в том случае, если в воде содержатся ионы кальция в количестве, достаточном для образования защитной пленки карбоната кальция. Щелочные реагенты следует подавать в очищенную воду перед вторичным хлорированием и поступлением ее в резервуары чистой воды, в связи с чем необходимо обеспечить хорошее осветление растворов реагентов. Допускается введение щелочных реагентов до отстойников или фильтров, если это не ухудшает технологического процесса очистки воды и не снижает эффективности ее стабилизационной очистки.

Стабилизация воды, содержащей оксид углерода (IV), производится фильтрованием ее в открытых безнапорных фильтрах через мраморную крошку СаСО<sub>3</sub>, полуобожженный доломит-магномассу СаСО<sub>3</sub>·MgO или обожженный магнезит MgO. Такой метод стабилизации воды перспективен для небольших водоочистительных комплексов, так как не требует контроля процесса и

сложного оборудования известкового хозяйства. Фильтры загружают крошкой перечисленных выше материалов с размером частиц 0,5–3,0 мм, высоту слоя принимают равной до 2 м, скорость фильтрования воды через мраморную крошку – до 10 м/ч, через магномассу – 10–20 м/ч; она зависит от температуры и щелочности воды, а также от концентрации в ней агрессивного оксида углерода. Промывают фильтрующий слой восходящим потоком воды с интенсивностью  $15 \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$  в течение 10–15 мин; при водовоздушной промывке интенсивность подачи воздуха 20–25  $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$  в течение 5 мин с последующей промывкой водой интенсивностью 3–4  $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$  в течение 2–3 мин. Содержание железа в поступающей на фильтры воде не должно превышать 0,5 мг/дм<sup>3</sup>. Большие концентрации железа приводят к цементированию зерен фильтрующей загрузки. Фильтры периодически догружают зернистым активным материалом, пополняя его расход на стабилизационную обработку воды; для связывания 1 мг агрессивного оксида углерода расходуется 2,3 мг мрамора или 1,1 мг магно-массы [6].

Стабилизация воды на малых водоочистных комплексах при отрицательном индексе стабильности может быть достигнута удалением из нее избыточного оксида углерода, с этой целью воду аэрируют. Например, пропускают через вентиляторную градирию с кольцевой пластмассовой насадкой или насадкой из колец Рашига. Нагрузка на градирию в первом случае составляет 70, во втором – 60  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , расход воздуха принимается 20  $\text{м}^3/\text{м}^3$  воды.

### Порядок проведения работы

Убедиться одним из рассмотренных в лабораторной работе № 8 способов в том, что индекс насыщения воды карбонатом кальция действительно  $J < 0$ .

#### *1 Определение дозы щелочного реагента.*

В соответствии с рекомендациями [2] при отрицательном индексе насыщения воды карбонатом кальция для получения стабильной воды следует предусматривать ее обработку щелочными реагентами (известью, содой или этими реагентами совместно), гексаметафосфатом или триполифосфатом натрия.

Доза извести определяется по формуле

$$D_{\text{и}} = 28\beta_{\text{и}}k_t\text{Щ}, \quad (6.16)$$

где  $D_{\text{и}}$  – доза извести, мг/дм<sup>3</sup>, в расчете на СаО;

$\beta_{\text{и}}$  – коэффициент, определяемый по номограмме (рисунок А.1) в зависимости от рН воды (до стабилизационной обработки) и индекса насыщения  $J$ ;

$k_t$  – коэффициент, зависящий от температуры воды: при  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$   $k_t = 1$ ; при  $t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$   $k_t = 1,3$ ;

Щ – щелочность воды до стабилизационной обработки,  $Щ = Щ_{исх}$ , мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Доза соды в расчете на Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, мг/дм<sup>3</sup>, принимается в 3,5 раза больше дозы извести в расчете на CaO.

Если по формуле (6.16) доза извести  $D_{и} / 28$ , мг-экв/дм<sup>3</sup>, окажется больше величины  $d_{щ}$ , мг-экв/дм<sup>3</sup>, определяемой по формуле

$$d_{щ} = 0,7([\text{CO}_2] / 22 + Щ), \quad (6.17)$$

то в воду кроме извести в количестве  $d_{щ}$ , мг-экв/дм<sup>3</sup>, необходимо вводить также соду,

Доза соды, мг/дм<sup>3</sup>,

$$D_c = (D_{и} / 28 - d_{щ}) \cdot 100. \quad (6.18)$$

Следует предусматривать возможность одновременно с введением щелочных реагентов дозировать гексаметафосфат или триполифосфат натрия дозой 0,5–1,5 мг/дм<sup>3</sup> (в расчете на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) для повышения степени равномерности распределения защитной карбонатной пленки по длине трубопроводов [2, 6].

2 *Обработка исходной воды щелочным реагентом.*

3 *Определение стабильности воды любым из рассмотренных ранее способов.*

Результаты измерений и вычислений сводятся в таблицу 6.4.

**Таблица 6.4 – Результаты измерений и расчетов стабилизационных характеристик воды при  $J < 0$**

Исходная вода		Вода после обработки щелочным реагентом		Характеристика стабильности воды			
				показатель стабильности $S$		индекс стабильности $J$	
$pH_{исх}$	$Щ_{исх}$	$pH_s$	$Щ_{и}$	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки

### Контрольные вопросы

- 1 Какими свойствами обладает вода, если показатель стабильности ее меньше 1?
- 2 Какими свойствами обладает вода, если индекс стабильности отрицательный?
- 3 Какими реагентами необходимо обрабатывать воду с отрицательным индексом стабильности?
- 4 В каких случаях для обработки воды используют соду?
- 5 В каких пределах должна быть доза гексаметафосфата (триполифосфата) натрия и с какой целью вводится этот реагент при стабилизационной обработке воды в системах водоснабжения предприятий?

## СТАБИЛИЗАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ ПРИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОМ ИНДЕКСЕ СТАБИЛЬНОСТИ

**Цель работы:** приобретение практических навыков и освоение методов получения стабильной воды с помощью ее обработки кислотными или фосфатными реагентами.

### **Приборы и реактивы:**

- 1 рН-метр.
- 2 Аппарат для перемешивания.
- 3 Плоскодонные колбы вместимостью по 0,5 л.
- 4 Техническая  $H_2SO_4$  или  $HCl$ .

### **Краткие сведения из теории**

При положительном индексе стабильности воду стабилизируют подкислением серной или соляной кислотой, обработкой гексаметафосфатом натрия, триполифосфатом натрия, тринатрийфосфатом.

#### *1 Обработка воды подкислением.*

При подкислении понижается содержание в воде гидрокарбонатов и увеличивается концентрация оксида углерода, который, находясь в равновесном состоянии с гидрокарбонатами, препятствует образованию карбоната кальция и зарастанию трубопроводов. Воду следует подкислять технической серной или соляной кислотой [6].

#### *2 Обработка воды фосфатными реагентами.*

Для борьбы с коррозией стальных и чугунных труб в промышленном водоснабжении применяются гексаметафосфат, триполифосфат натрия или тринатрийфосфатом.

Действие гексаметафосфата и триполифосфата натрия проявляется в образовании защитных пленок на катодных и анодных участках поверхности металла и в торможении коррозионного процесса. Доза гексаметафосфата или триполифосфата натрия, применяемых для обработки воды, используемой в промышленном водоснабжении, принимается 2–4 мг/дм<sup>3</sup>. При вводе в эксплуатацию новых участков трубопроводов предусматривается заполнение их на 2–3 суток раствором указанных реагентов с концентрацией 200–250 мг/дм<sup>3</sup> [6].

При стабилизационной обработке воды, используемой для питьевых целей, фосфатными реагентами остаточное содержание фосфат-ионов не должно превышать 3,5 мг/дм<sup>3</sup>.

## Порядок проведения работы

Убедиться в том, что индекс насыщения воды карбонатом кальция действительно  $J > 0$ .

### 1 Определение необходимых доз реагентов.

При  $J > 0$  для предупреждения зарастания труб карбонатом кальция воду следует обрабатывать кислотой (серной или соляной), гексаметафосфатом или триполифосфатом натрия [6].

Доза кислоты (в расчете на товарный продукт), мг/дм<sup>3</sup>,

$$D_{\text{кис}} = 100\alpha_{\text{кис}} \text{Щ} e_{\text{кис}} / c_{\text{кис}}, \quad (6.19)$$

где  $\alpha_{\text{кис}}$  – коэффициент, определяемый по номограмме (рисунок А.2);

Щ – щелочность воды до стабилизационной обработки, мг-экв/дм<sup>3</sup>,

Щ = Щ<sub>исх</sub>;

$e_{\text{кис}}$  – эквивалентная масса кислоты, мг/мг-экв (для серной кислоты

$e_{\text{кис}} = 49$  мг/мг-экв, для соляной кислоты  $e_{\text{кис}} = 36,5$  мг/мг-экв);

$c_{\text{кис}}$  – содержание активной части в товарной кислоте, %.

### 2 Обработка исходной воды кислотой.

3 Определение стабильности воды любым из рассмотренных ранее способов.

Результаты измерений и вычислений своятся в таблицу 6.5.

**Таблица 6.5 – Результаты измерений и расчетов стабилизационных характеристик воды при  $J > 0$**

Исходная вода		Вода после обработки щелочным реагентом		Характеристика стабильности воды			
				показатель стабильности С		индекс стабильности J	
рН <sub>исх</sub>	Щ <sub>исх</sub>	рН <sub>s</sub>	Щ <sub>n</sub>	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки

## Контрольные вопросы

1 Какие способы стабилизации воды применимы при положительном индексе насыщения воды карбонатом кальция?

2 В каких случаях для стабилизации воды применение технической серной кислоты нецелесообразно?

3 С какой целью применяется гексаметафосфат натрия?

4 Возможно ли применение фосфатных реагентов для стабилизационной обработки воды систем питьевого водоснабжения?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 СанПиН 10-124 РБ 99. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества : утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 19.10.99 № 46. – Минск, 2011. – 50 с.

2 ТКП 45-4.01-258-2012. Водоснабжение промышленных предприятий. Строительные нормы проектирования. – Введ. 2012–07–01 – Минск : НПП РУП "Стройтехнорм", 2012. – 103 с.

3 Алексеев, Л.С. Контроль качества воды : учеб. / Л.С. Алексеев. – М. : Инфра-М, 2010. – 159 с.

4 Водоподготовка : справочник / Е.Н. Хохрякова, Я.Е. Резник; под ред. С.Е. Беликова. – М. : Аква-Терм, 2007. – 240 с.

5 Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : учеб. пособие для вузов : в 3 т. / М. Г. Журба [и др.]; под общ. ред. М. Г. Журбы. – Вологда : ВоГТУ, 2001. – Т. 2 : Очистка и кондиционирование природных вод. – 324 с.

6 Водоснабжение промышленных предприятий : метод. указания к выполнению лаб. работ : в 3 ч. / М.М. Медиоланская, Н.Н. Пашичева. – Вологда: ВоПИ, 1998. – Ч. 1 : Стабилизация воды. – 28 с.

7 Водоснабжение промышленных предприятий : метод. указания к выполнению лаб. работ : в 3 ч. / М.М. Медиоланская, Н.Н. Пашичева. – Вологда: ВоПИ, 1998. – Ч. 2 : Дегазация воды. – 24 с.

8 Водоснабжение промышленных предприятий : метод. указания к выполнению лаб. работ : в 3 ч. / М.М. Медиоланская, Н.Н. Пашичева. – Вологда: ВоПИ, 1998. – Ч. 3 : Корректирование технологических свойств воды. – 24 с.

9 Иванов, В. Г. Водоснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие. / В.Г. Иванов. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – 537 с.

10 Копылов, А.С. Водоподготовка в энергетике : учеб. пособие для вузов / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 309 с.

11 Фрог, Б. Н. Водоподготовка : учеб. пособие для вузов / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. – М. : АСВ, 2007. – 655 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
(справочное)

**Справочные значения параметров систем водоснабжения  
промышленных предприятий**

**Таблица А.1 – Значение коэффициента  $K$  для брызгальных бассейнов и градирен в зависимости от температуры воздуха по сухому термометру [9]**

$T, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40
$K$	0,001	0,0012	0,0014	0,0015	0,0016

**Таблица А.2 – Значение коэффициента  $K$  для прудов охладителей в зависимости от естественной температуры водоема [9]**

$t_e, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40
$K$	0,0007	0,0009	0,0011	0,0013	0,0015

**Таблица А.3 – Потери воды на унос ветром (в % от расхода оборотной воды в зависимости от типа охладителя [9])**

Тип охладителя	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч		
	$Q \leq 500$	$500 < Q < 5000$	$Q \geq 5000$
Брызгальные бассейны	2,0–3,0	1,5–2,0	0,75–1,0
Открытые и брызгальные градирни	1,0–1,5		
Башенные градирни без водоуловителей	0,5–1,0		
Башенные градирни с водоуловителями	0,01–0,05		
Вентиляторные градирни с водоуловителями при отсутствии в оборотной воде токсичных веществ	0,1–0,2		
То же при присутствии токсичных веществ	0,05		
Оросительные теплообменные аппараты	0,5–1,0		

**Таблица А.4 – Содержание свободной углекислоты в исходной воде [7]**

Общая щелочность $\text{Щ}, \text{мг-экв/дм}^3$	Содержание свободной углекислоты $\text{CO}_2$ , мг/дм <sup>3</sup> , в воде при температуре 10 °С, солесодержании 200 мг/дм <sup>3</sup> и при значении рН															
	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	8,0	
0,5	18	14	10	8	7	6	5	4	3	2	2	2	2	1	1	
0,6	21	16	13	10	8	7	6	5	4	3	2	2	2	1	1	
0,7	24	18	15	12	10	8	7	5	4	3	3	3	2	1	1	
0,8	28	21	18	14	11	9	7	6	5	4	3	3	2	1	1	
0,9	32	24	20	15	13	10	8	6	5	4	4	4	2	1	1	
1,0	36	27	23	17	14	11	9	7	5	4	4	4	3	2	1	

Окончание таблицы А.4

Общая щелочность Щ, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Содержание свободной углекислоты CO <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup> , в воде при температуре 10 °С, солесодержании 200 мг/дм <sup>3</sup> и при значении рН															
	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	8,0	
1,1	39	30	25	19	15	12	9	7	6	5	4	4	3	2	1	
1,2	43	33	27	21	17	13	10	8	6	5	4	4	3	2	1	
1,3	47	36	29	23	18	14	11	8	7	6	5	4	3	3	1	
1,4	50	39	31	24	19	15	12	9	8	6	5	4	3	3	2	
1,5	54	41	33	26	21	17	13	10	8	7	5	5	3	3	2	
1,6	58	44	36	28	22	18	14	11	9	7	5	5	4	3	2	
1,7	61	47	38	30	23	20	15	11	10	7	6	5	4	3	2	
1,8	64	50	40	31	25	21	16	12	11	8	6	5	4	3	2	
1,9	68	52	42	33	26	22	17	13	11	9	6	6	4	3	2	
2,0	72	55	44	35	28	23	18	14	12	10	7	6	5	4	2	
2,5	90	69	56	44	35	28	22	18	14	12	9	7	6	5	3	
3,0		83	67	53	42	34	27	22	17	14	11	8	7	6	3	
3,5		97	79	62	49	39	31	25	19	16	12	9	8	7	4	
4,0			90	71	56	45	35	28	22	18	14	11	10	8	5	
4,5				79	53	50	40	32	25	21	16	12	11	9	5	
5,0				88	70	56	44	36	28	23	18	14	12	10	6	
5,5				97	77	62	48	39	31	25	19	15	13	11	6	
6,0					85	68	53	43	33	27	21	17	14	12	8	
6,5					92	74	57	46	36	29	23	18	15	12	8	
7,0					99	79	61	50	39	31	25	19	16	13	9	
7,5						85	66	54	42	33	26	21	17	14	10	
8,0						90	70	57	44	35	28	22	18	15	10	

Таблица А.5 – Поправка  $k_B$  на солесодержание воды при определении CO<sub>2</sub>

Солесодержание, мг/дм <sup>3</sup>	100	200	300	400	500	750	1000
$k_B$	1,05	1,00	0,96	0,94	0,92	0,87	0,83

Таблица А.6 – Поправка  $k_T$  на температуру воды при определении CO<sub>2</sub>

Температура воды, °С	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60
$k_T$	1,28	1,12	1,00	0,90	0,83	0,78	0,74	0,70	0,66	0,65

Таблица А.7 – Относительное содержание H<sub>2</sub>S [7]

В процентах

рН	Солесодержание, г/дм <sup>3</sup>			
	при температуре воды 25 °С		при температуре воды 15 °С	
	1	4,5	1	4,5
5,4	97,4	97,1	98,1	97,9
5,6	94,0	93,1	95,3	94,8
6,2	85,7	84,3	89,1	87,9

Окончание таблицы А.7

рН	Солеcодержание, г/дм <sup>3</sup>			
	при температуре воды 25 °С		при температуре воды 15 °С	
	1	4,5	1	4,5
6,6	72,3	68,1	76,4	74,3
6,8	60,3	57,4	67,1	64,6
7,0	48,9	45,9	56,2	53,5
7,2	37,6	34,9	44,9	42,0
7,6	19,4	17,6	24,4	22,4
8,0	8,7	7,8	11,4	10,3
8,4	3,7	3,3	4,9	4,4
8,8	1,5	1,3	2,0	1,8
9,2	0,6	0,5	0,8	0,7
10,0	0,1	0,1	0,1	0,1

Таблица А.8 – Дозы реагентов для удаления сероводорода [7]

Реагент	Доза, мг/мг, соединений сероводорода (в пересчете на H <sub>2</sub> S)	Продукты реакции
Хлор	2,1	Сера
	8,4	Сульфаты
Озон	0,5	Сера
	1,87	Сульфаты
Перманганат калия	6,2	При рН <sub>исх</sub> 6,8–7,5 2/3 сульфидов окисляются до сульфатов, 1/3 – до серы
	–	

Таблица А.9 – Зависимость коэффициента эффективности регенерации натрий-катионита, учитывающий неполноту его регенерации, от удельного расхода поваренной соли на регенерацию катионита [5]

Удельный расход поваренной соли на регенерацию катионита, г на г-экв рабочей обменной емкости ( $\alpha_c$ )	100	150	200	250	300
Коэффициент эффективности регенерации катионита $\alpha_{Na}$	0,62	0,74	0,81	0,86	0,9

Таблица А.10 – Зависимость коэффициента  $\beta_{Na}$  от соотношения  $C_{Na} / Ж_{о\text{исх}}$  катионита [11]

$\frac{C_{Na}}{Ж_{о\text{исх}}}$	0,01	0,05	0,1	0,5	1	5	10
$\beta_{Na}$	0,93	0,88	0,83	0,7	0,65	0,54	0,5

**Таблица А.11 – Зависимость количества растворенного в воде кислорода от температуры при давлении 101 кПа**

Температура воды, °С	Количество кислорода		Температура воды, °С	Количество кислорода		Температура воды, °С	Количество кислорода	
	мг/дм <sup>3</sup>	см <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>		мг/дм <sup>3</sup>	см <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>		мг/дм <sup>3</sup>	см <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>
0	10,19	14,56	11	7,69	10,99	22	6,11	8,73
1	9,91	14,16	12	7,52	10,75	23	6,00	8,58
2	9,64	13,78	13	7,35	10,50	24	5,89	8,42
3	9,34	13,42	14	7,19	10,28	25	5,78	8,26
4	9,14	13,06	15	7,04	10,06	26	6,67	8,11
5	8,91	12,73	16	6,89	9,85	27	5,56	7,95
6	8,68	12,41	17	6,75	9,65	28	5,46	7,81
7	8,47	12,11	18	6,61	9,45	29	5,36	7,67
8	8,20	11,81	19	6,48	9,26	30	5,26	7,52
9	8,06	11,52	20	6,36	9,09			
10	7,87	11,25	21	6,23	8,90			

**Таблица А.12 – Функция температуры воды**

<i>t</i>	0	4	8	12	16	20	25	30	35	40	47	54	61	67	75
<i>f<sub>1</sub>(t)</i>	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2

**Таблица А.13 – Функция содержания в воде кальция**

Ca <sup>2+</sup>	1	2	4	8	10	20	40	60	80	100
<i>f<sub>2</sub>(Ca<sup>2+</sup>)</i>	0	0,2	0,6	0,9	1,0	1,3	1,6	1,8	1,9	2,0
Ca <sup>2+</sup>	200	400	500	800	1000	1500	2000	3000	4000	5000
<i>f<sub>2</sub>(Ca<sup>2+</sup>)</i>	2,3	2,6	2,7	2,9	3,0	3,19	3,3	3,45	3,61	3,7

**Таблица А.14 – Функция щелочности воды**

Щ	0,1	0,2	0,4	0,8	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
<i>f<sub>3</sub>(Щ)</i>	0	0,3	0,6	0,9	1,0	1,3	1,5	1,6	1,7	1,76	1,9	2,0

**Таблица А.15 – Функция общего соледержания в воде**

<i>P</i>	50	100	150	200	250	300	400	500	600
<i>f<sub>4</sub>(P)</i>	8,68	8,72	8,747	8,769	8,790	8,806	8,835	8,86	8,886
<i>P</i>	700	1000	2000	3000	5000	8000	10000	15000	–
<i>f<sub>4</sub>(P)</i>	8,9	8,94	9,02	9,08	9,2	9,32	9,38	9,49	–

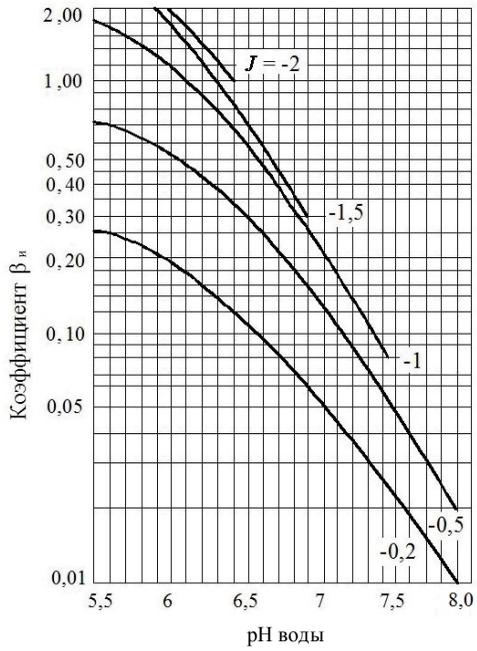


Рисунок А.1 – График определения коэффициента  $\beta_n$  при стабилизационной обработке воды

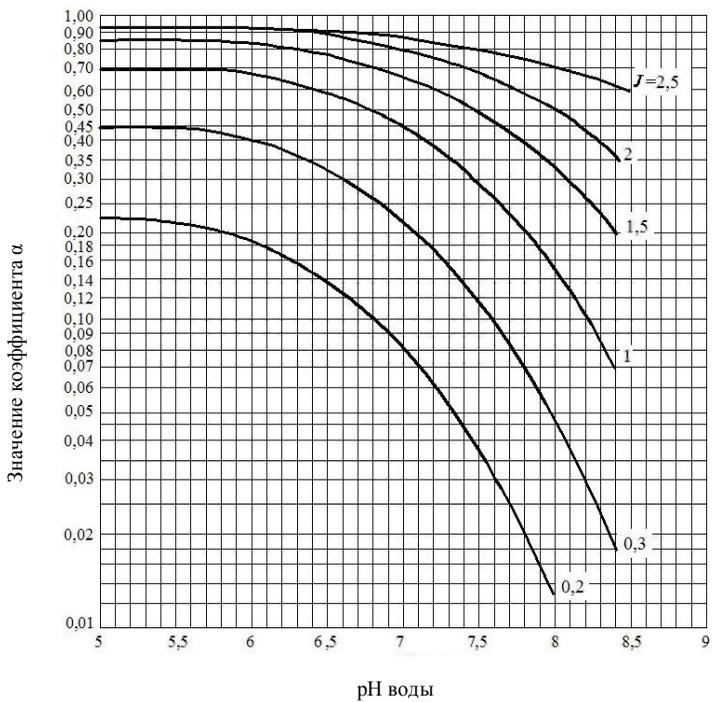


Рисунок А.2 – График определения коэффициента  $\alpha$  при стабилизационной обработке воды

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1 Общие указания по выполнению лабораторных работ</b> .....	3
<b>2 Системы водоснабжения промышленных предприятий</b> .....	4
<i>Лабораторная работа № 1.</i> Сопоставление требований к качеству воды для производственных нужд различных отраслей промышленности.....	4
<b>3 Обратные системы водоснабжения промышленных предприятий</b> .....	9
<i>Лабораторная работа № 2.</i> Анализ работы охладителей систем оборотного водоснабжения.....	9
<i>Лабораторная работа № 3.</i> Определение оптимальной дозы активного хлора	12
<b>4 Удаление из воды растворенных газов</b> .....	14
<i>Лабораторная работа № 4.</i> Удаление углекислоты.....	16
<i>Лабораторная работа № 5.</i> Удаление кислорода.....	19
<i>Лабораторная работа № 6.</i> Удаление сероводорода.....	24
<b>5 Корректировка технологических свойств воды</b> .....	28
<i>Лабораторная работа № 7.</i> Определение жесткости и щелочности воды.....	28
<i>Лабораторная работа № 8.</i> Умягчение воды известково-содовым методом...	32
<i>Лабораторная работа № 9.</i> Исследование работы ионообменной водоумяг- чительной установки.....	37
<b>6 Определение стабильности воды</b> .....	41
<i>Лабораторная работа № 10.</i> Определение стабильности воды по отноше- нию к бетону.....	45
<i>Лабораторная работа № 11.</i> Определение индекса стабильности воды.....	48
<i>Лабораторная работа № 12.</i> Стабилизационная обработка воды при отрицательном индексе стабильности.....	51
<i>Лабораторная работа № 13.</i> Стабилизационная обработка воды при поло- жительном индексе стабильности.....	54
<b>Список литературы</b> .....	56
<b>Приложение А.</b> Справочные значения параметров систем водоснабжения промышленных предприятий.....	57

Учебное издание

*НОВИКОВА Ольга Константиновна*  
*РАТНИКОВА Анна Михайловна*

## **ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *И. И. Эвентов*  
Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 10.12.2014 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 3,71. Тираж 100 экз.  
Зак. № . Изд. № 123.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский государственный университет транспорта.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/361 от 13.06.2014.  
№ 2/104 от 01.04.2014.  
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель