

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

Н. В. Овсянник, Е. Н. Макеева, Ю. А. Степанишина

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНЫЙ РЕЖИМ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

ПРАКТИКУМ

**по одноименному курсу для студентов
специальностей 1-43 01 05 «Промышленная
теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая
эксплуатация энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2016

УДК 628.16(075.8)
ББК 31.37я73
О-34

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 5 от 27.01.2015 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *Т. В. Алферова*

- Овсянник, Н. В.**
О-34 Водоподготовка и водный режим котельных установок : практикум по одному курсу для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / Н. В. Овсянник, Е. Н. Макеева, Ю. А. Степанишина. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 52 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше
- ISBN 978-985-535-295-3.

Лабораторные работы позволяют экспериментальным путем подтвердить теоретические положения методов обработки воды, способов подготовки питательной воды, водных режимов ТЭЦ, а также формируют навыки работы с оборудованием химических лабораторий теплоэнергетических предприятий, развивают способность к наблюдению, анализу, синтезу, сравнению и обобщению результатов.

Для студентов технических специальностей.

УДК 628.16(075.8)
ББК 31.37я73

ISBN 978-985-535-295-3

© Овсянник Н. В., Макеева Е. Н.,
Степанишина Ю. А., 2016
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2016

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Перед выполнением работ необходимо изучить основные теоретические положения, ознакомиться с лабораторными стендами. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности и расписавшиеся в соответствующем журнале. При проведении лабораторных работ необходимо строго выполнять следующие правила:

- при попадании реактивов на слизистую оболочку глаза его необходимо промыть большим количеством воды и срочно обратиться в пункт медицинской помощи;
- запрещается использовать лабораторную посуду не по назначению;
- запрещается исследовать реактивы на вкус;
- при определении запаха следует воздух с парами веществ подгонять к носу взмахами ладони.

После завершения лабораторных работ каждый студент должен составить отчет, в котором приводятся основные теоретические положения, схема лабораторной установки, по результатам опытов следует выполнить расчеты и сопроводить их необходимыми пояснениями. Отчет завершается аргументированным выводом. Методы оценки результатов измерений и расчетов приведены в описании работ. Отчет представляется студентом при защите лабораторных работ.

Приведенные в лабораторных работах методики могут использоваться при оценке показателей качества воды для следующих целей водопользования: для хозяйственно-питьевого водоснабжения; при подготовке добавочной воды для электростанций, работающих на органическом топливе; при подготовке добавочной воды для паровых котлов различного назначения, для подпитки тепловых сетей.

Выполнение лабораторных работ и обработка результатов опытов позволяют оценить качество воды. В реальных условиях эксплуатации знание характеристик используемой воды необходимо для организации оптимальных режимов работы теплоэнергетического оборудования. При анализе результатов лабораторных опытов целесообразно отметить:

1) к какому типу водопользования следует отнести анализируемую пробу воды;

2) влияние исследуемой воды, учитывая полученные в опытах характеристики, на работу теплоэнергетического оборудования (образование накипи, шлама, коррозии);

3) рекомендации по обработке исходной воды для получения воды с нормированными характеристиками.

Некоторые справочные материалы, необходимые для анализа, приведены в Приложении.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ (pH) И СОЛЕСОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ

Цель работы: приобрести навыки экспериментальной оценки качества воды, используемой в теплоэнергетических установках; практически освоить методику определения реакции воды (кислая, нейтральная, щелочная); приобрести практические навыки определения солесодержания воды опытным путем.

Теоретическая часть

Водородный показатель pH – один из важнейших рабочих показателей качества воды, во многом определяющий характер химических и биологических процессов, происходящих в воде, и характеризующий концентрацию свободных ионов водорода в воде. В зависимости от величины pH может изменяться скорость протекания химических реакций, степень коррозионной агрессивности воды, токсичность загрязняющих веществ и т. д.

Контроль за уровнем pH особенно важен на всех стадиях водочистки, так как его «уход» в ту или иную сторону может не только существенно сказаться на запахе, привкусе и внешнем виде воды, но и повлиять на эффективность водоочистных мероприятий. Оптимальная требуемая величина pH варьируется для различных систем водочистки в соответствии с составом воды, характером материалов, применяемых в системе распределения, а также в зависимости от применяемых методов водообработки.

Для удобства отображения был введен специальный показатель, названный pH и представляющий собой логарифм концентрации ионов водорода, взятый с обратным знаком, т. е.

$$pH = -\lg[H^+]. \quad (1.1)$$

Если говорить проще, то величина pH определяется количественным соотношением в воде ионов H^+ и OH^- , образующихся при диссоциации воды. Если в воде пониженное содержание свободных ионов водорода ($pH > 7$) по сравнению с ионами OH^- , то вода будет иметь щелочную реакцию, а при повышенном содержании ионов H^+ ($pH < 7$) – кислую. В идеально чистой дистиллированной воде эти ионы будут

уравновешивать друг друга. В таких случаях вода нейтральна и $pH = 7$. При растворении в воде различных химических веществ этот баланс может быть нарушен, что приводит к изменению уровня pH .

Очень часто показатель pH путают с такими параметрами, как кислотность и щелочность воды. Важно понимать разницу между ними. Главное заключается в том, что pH – это показатель интенсивности, но не количества. То есть pH отражает степень кислотности или щелочности среды, в то время как кислотность и щелочность характеризуют количественное содержание в воде веществ, способных нейтрализовывать соответственно щелочи и кислоты.

Таблица 1.1

Классификация вод в зависимости от уровня pH

Группа	pH	Примечание
Сильнокислые воды	< 3	Результат гидролиза солей тяжелых металлов (шахтные и рудничные воды)
Кислые воды	3–5	Поступление в воду угольной кислоты, фульвокислот и других органических кислот в результате разложения органических веществ
Слабокислые воды	5–6,5	Присутствие гумусовых кислот в почве и болотных водах (воды лесной зоны)
Нейтральные воды	6,5–7,5	Наличие в водах $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$
Слабощелочные воды	7,5–8,5	Наличие в водах $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$
Щелочные воды	8,5–9,5	Присутствие Na_2CO_3 или $NaHCO_3$
Сильнощелочные воды	$> 9,5$	Присутствие Na_2CO_3 или $NaHCO_3$

Солесодержание – условный показатель, характеризующий общее содержание в воде всех растворенных веществ, способных проводить электрический ток, т. е. диссоциирующих на ионы; выражается в мг хлористого натрия в литре воды, эквивалентного измеренной величине электрической проводимости воды.

Удельная электропроводимость воды, См/см, характеризуется электрической проводимостью слоя воды, находящегося между двумя противоположными гранями куба с длиной ребра, равной 10 м. Она косвенно связана с суммарной концентрацией примесей в истинно растворенном состоянии (солесодержанием). В чистой воде, не со-

держающей примесей, перенос зарядов осуществляется лишь ионами H^+ и OH^- . Удельная электропроводимость такой воды при $20\text{ }^\circ\text{C}$ составляет $0,04\text{ мкСм/см}$. В растворах связь между электропроводимостью и концентрацией ионных примесей зависит от множества факторов, в том числе от температуры, вида ионов, степени диссоциации, что существенно затрудняет измерения. Более определенная связь существует в растворах (проводниках второго рода) при постоянных температуре и степени диссоциации.

Так, удельную электропроводимость водных растворов различных солей с концентрацией до 500 мг/дм^3 в условном пересчете на $NaCl$ можно примерно оценить из соотношения $1\text{ мкСм/см} = 0,6\text{ мг/дм}$.

Косвенное измерение солесодержания питательной и котловой воды проводится различными кондуктометрическими солемерами (в данной лабораторной работе – прибор серии ССТ-3300, который предназначен для автоматизированного мониторинга и контроля электропроводности воды). Принцип действия основан на кондуктометрии – измерении электропроводности воды. Показания монитора/контроллера выводятся на дисплей. При превышении уровня электропроводности, который может быть задан отдельно, раздается звуковой сигнал и посылается команда исполнительному механизму (к примеру, на отключение насоса).

Электрическая проводимость природной воды зависит в основном от степени минерализации (концентрации растворенных минеральных солей) и температуры. Благодаря этой зависимости, по величине электропроводности воды можно с определенной степенью погрешности судить о минерализации воды.

Порядок выполнения работы

Определить значение рН воды, используя три методики:

1. Приблизительно оценить рН с помощью кислотно-основных индикаторов, сравнить окраску раствора с данными табл. 1.2.
2. Точно измерить рН воды с помощью рН-метра.
3. Определить значение рН аналитическим объемным методом путем проведения кислотно-основного титрования. Для этого раствор известной концентрации (титрант) по каплям добавляется к исследуемой воде. При их смешивании протекает химическая реакция. Точка эквивалентности – момент, когда титранта хватает, чтобы пол-

ностью завершить реакцию, – фиксируется с помощью индикатора. Далее, зная концентрацию и объем добавленного раствора титранта, вычисляется кислотность раствора.

Таблица 1.2

Изменение окраски веществ-красителей в диапазоне изменений pH

Индикаторы	Окраска индикатора при pH					
	< 5	5–6	6–7	7–8	8–9	> 9
Фенолфталеин	Бесцветная	Бесцветная	Бесцветная	Бесцветная	Слаборозовая	Ярко-розовая
Метилоранж	Розовая	Оранжевая	Соломенная	Желтая	Желтая	Желтая
Смешанный	Фиолетовая	Грязно-серая	Слабозеленая	Ярко-зеленая	ярко-зеленая	Ярко-зеленая

Определение солесодержания с помощью прибора серии ССТ-3300:

1. Подключить источник питания к сети 220 В строго после установки электрода. Никогда не прикасайтесь к электродам прибора! Если это произошло, выполните процедуру очистки электродов при помощи спиртового раствора.

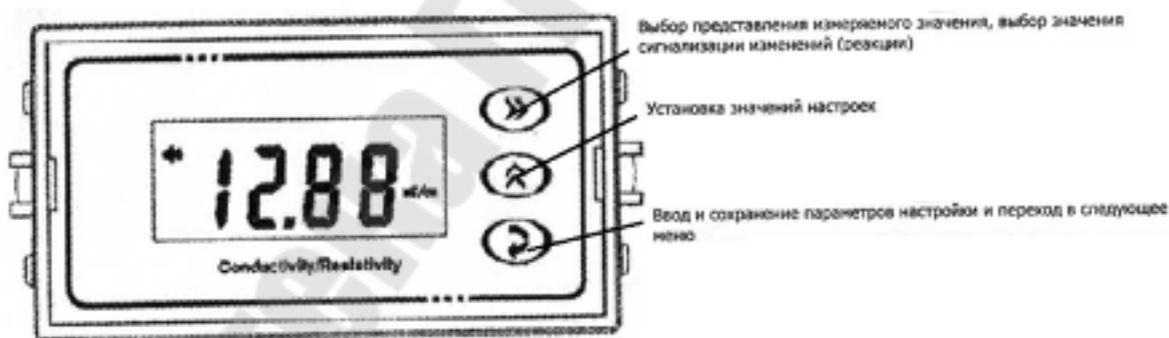


Рис. 1.1. Передняя панель прибора ССТ-3300

2. Установить электрод в трубопровод как показано на рис. 1.2. При этом необходимо помнить, что через отверстие в трубке электрода должна свободно проходить жидкость, а в месте установки электрода было бы затруднено образование пузырьков воздуха.

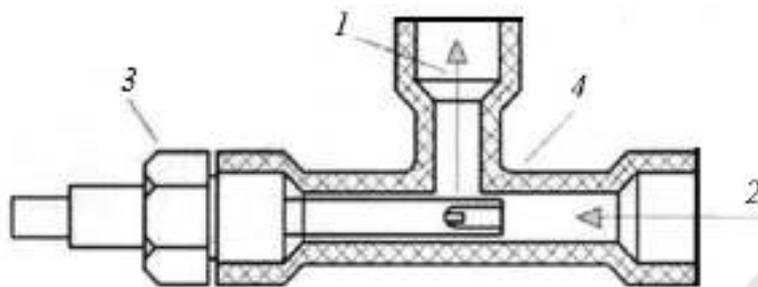


Рис. 1.2. Установка электрода в трубопровод:
 1 – исходящий поток жидкости; 2 – входящий поток жидкости;
 3 – электрод; 4 – тройник

3. Провести настройку параметров электрода. В режиме установки параметров электрода нажать и удерживать примерно 3 секунды кнопку , на дисплее слева вверху будет отображен символ «С=». Для установки значения константы для электрода нажмите кнопку  и затем установите значение при помощи кнопки .

4. По окончании ввода нажмите кнопку  и перейти в меню установки точности измерений.

5. Установка точности. На дисплее моргает символ «точки», для установки нажать кнопку , для сохранения настроек и переходу к следующему пункту меню нажать .

6. Установка единиц измерения. На дисплее моргает символ «UNIT». Нажать кнопку  для выбора единиц: ppm, ppt, мкСм/см или мСм/см. По окончании выбора для сохранения и переходу к следующему пункту меню нажать .

7. Настройка передачи сигнала 4mA/20mA. На дисплее символ «4mA/20mA» будет мигать. Нажать кнопку , затем нажать  для установки нового нижнего значения для передачи. По окончании ввода нажать кнопку .

8. Установка верхнего значения контроля. На дисплее символы «HI» и  будут мигать. Нажать кнопку  и с помощью нажатий кнопки  установить требуемое значение, затем нажать кнопку . Для настройки требуемой точности нажать кнопку , затем нажать кнопку  для перехода к следующему пункту меню.

9. Установка нижнего значения контроля. На дисплее символы «LO» и  будут мигать. Далее порядок действий см. в п. 6.

10. Включение/отключение звуковой сигнализации. На дисплее символ  будет мигать, нажать кнопку  для включения или отключения сигнализации, по окончании нажать кнопку .

11. Определить величину электропроводности и по табл. 1.3 определите солесодержание исследуемой жидкости в пересчете на NaCl.

Таблица 1.3

Зависимость удельной электрической проводимости от солесодержания (в пересчете на NaCl)

ϵ , мкСм/см	C_{NaCl} , мг/л	ϵ , мкСм/см	C_{NaCl} , мг/л
0,1	0,030	0,28	0,125
0,11	0,036	0,4	0,18
0,12	0,039	0,6	0,27
0,13	0,047	0,8	0,39
0,14	0,052	1,0	0,49
0,15	0,058	1,2	0,62
0,16	0,061	1,4	0,71
0,17	0,064	1,7	0,83
0,18	0,072	2,0	1,00
0,19	0,076	2,5	1,26
0,2	0,081	3,3	1,69
0,22	0,093	6,7	3,4
0,25	0,107	10,0	5,11

Контрольные вопросы

1. Что такое водородный показатель?
2. Определение водородного показателя рН.
3. Классификация воды в зависимости от уровня рН.
4. Способы определения водородного показателя воды.
5. Что такое солесодержание?
6. Определение удельной электропроводности.
7. Как определяется солесодержание питательной и котловой воды?
8. Принцип действия кондуктометров.

Лабораторная работа № 2я **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЗРАЧНОСТИ И МУТНОСТИ ВОДЫ**

Цель работы: приобрести практические навыки определения прозрачности и мутности воды в лабораторных условиях.

Теоретическая часть

Мутность – показатель качества воды, обусловленный присутствием в ней механических взвешенных частиц (глины, песка, почвы, ила, растительных и животных остатков), а также нерастворенных и коллоидных веществ неорганического и органического происхождения. Причиной мутности поверхностных вод являются илы, кремниевая кислота, гидроокиси железа и алюминия, органические коллоиды, микроорганизмы и планктон. В грунтовых водах мутность вызвана преимущественно присутствием нерастворенных минеральных веществ, а при проникании в грунт сточных вод – также и присутствием органических веществ.

Прозрачность столба пробы воды дает возможность приближенно оценить содержание в ней взвешенных веществ.

Существуют несколько методов определения прозрачности воды.

1. *Метод диска Секки* (используется для определения прозрачности в полевых условиях).

Чтобы измерить прозрачность речной воды, применяют диск Секки диаметром 30 см, который опускают на веревке в воду, прикрепив к нему груз, чтобы диск уходил вертикально вниз. Вместо диска Секки можно применять тарелку, крышку, миску, положенные в сетку. Диск опускается до тех пор, пока он не будет виден. Глубина, на которую вы опустили диск, и будет показателем прозрачности воды. Вода считается чистой, если диск виден на глубине не менее 60 см.

2. *Метод кольца* (применяется для оценки прозрачности воды в полевых и лабораторных условиях).

Изготавливается проволочное кольцо диаметром 1–1,5 см и опускается на дно цилиндра емкостью 500 мл, вливается проба воды до тех пор, пока контуры кольца станут невидимыми. Линейкой измеряют высоту воды в см.

3. *Метод «по шрифту» или цилиндра* (применяется для оценки механических и химических примесей в лабораторных условиях).

Под цилиндр высотой 60 см и диаметром 3–3,5 см подкладывают стандартный шрифт, исследуемую пробу наливают в цилиндр так, чтобы можно было прочесть шрифт, и определяют предельную высоту столба воды. Метод количественного определения прозрачности основан на определении высоты водяного столба, при которой еще можно визуальным образом различить (прочесть) черный шрифт высотой 3,5 мм и шириной линии 0,35 мм на белом фоне или увидеть юстировочную метку (например, черный крест на белой бумаге). Используемый метод является унифицированным и соответствует ИСО 7027.

Практическая часть

Необходимое оборудование: ламинированный образец шрифта, трубка градуированная для определения прозрачности ($l = 60$ см, $d = 2,5$ см), шприц-дозатор с трубкой, экран для трубки световодонепроницаемый.

Порядок проведения эксперимента

Определить прозрачность воды методом «по шрифту».

1. Поместить образец шрифта на горизонтальную поверхность. Установить трубку в вертикальном положении на образец шрифта.
2. Надеть на трубку экран. Приподнять экран снизу на 1–2 см. Установить четкую видимость шрифта, наблюдая сверху через открытое отверстие трубки.
3. Перемешать тщательно пробу и залить в трубку до уровня 60 см.
4. Понижать уровень водяного столба, постепенно отбирая воду шприцом с трубкой до тех пор, пока не станет видимым (читаемым) шрифт.
5. Снять экран с трубки.
6. Определить по делениям на трубке высоту водяного столба с точностью до 1 см. Результаты анализа представить в виде:
Прозрачность (Н) ____ см.
7. Оценить показатель по табл. 2.1.
8. По градуировочному графику (рис. 2.1) определить мутность воды в ЕМ/л (ЕМФ) по фармазину и в мг/л по каолину.

Таблица 2.1

Характеристика вод по прозрачности (мутности)

Прозрачность	Высота столба, см
Прозрачная	Более 30
Маломутная	25–30
Средней мутности	20–25
Мутная	10–20
Очень мутная	Менее 10

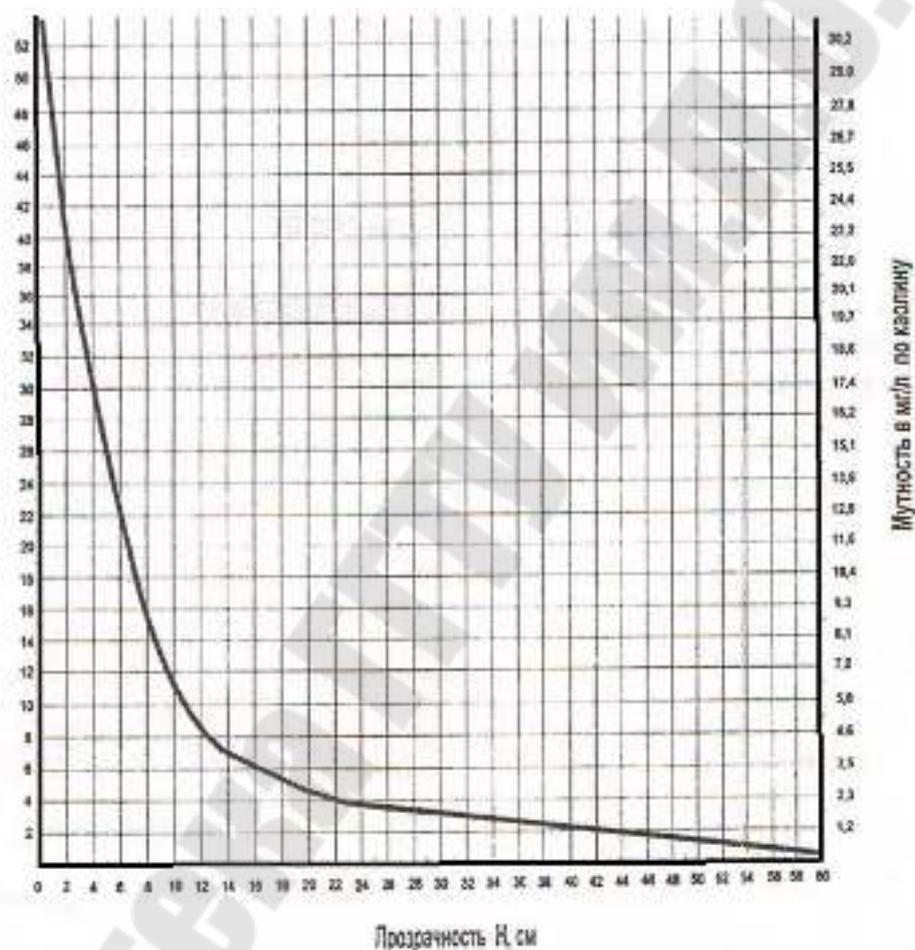


Рис. 2.1. Градуировочный график определения мутности

Контрольные вопросы

1. Что такое мутность воды?
2. Причины мутности воды.
3. Что показывает прозрачность воды?
4. Методы определения прозрачности воды.

Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЩЕЛОЧНОСТИ ВОДЫ

Цель работы: закрепить теоретические знания по щелочности воды и методам ее устранения; приобрести навыки определения гидратной и общей щелочности воды.

Теоретическая часть

Общей щелочностью воды называется выраженная в мг · экв/кг суммарная концентрация содержащихся в воде анионов OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , PO_4^{2-} , HSiO_3^- , SiO_3^{2-} и некоторых солей слабых органических кислот (гуматов). В соответствии с этим различают щелочность гидратную, карбонатную, бикарбонатную, фосфатную, силикатную, гуматную и др.

1 мг · экв./кг щелочности воды соответствует содержанию 40,01 мг/кг NaOH или 53 мг/кг Na_2CO_3 , или 84,02 мг/кг NaHCO_3 .

В практике эксплуатации котельных установок и в нормативных требованиях к качеству котельной воды используется так называемая относительная щелочность, определяемая по формуле

$$\text{Щ}_{\text{отн}} = \frac{\text{Щ}_0 \cdot 40}{S_{\text{кв}}} 100, \% \quad (3.1)$$

где Щ_0 – общая щелочность котловой воды, мг · экв./кг; $S_{\text{кв}}$ – сухой остаток котловой воды, мг/кг; 40 – эквивалентная масса NaOH.

Определение щелочности воды основано на титровании растворенных в воде щелочных соединений кислотой в присутствии индикаторов, меняющих свою окраску в зависимости от реакции среды.

При титровании с метилоранжем или смешанным индикатором определяется общая щелочность, условно характеризующая суммарное содержание бикарбонатов, карбонатов, гидратов, 2/3 ортофосфатов и гуматов. При титровании с фенолфталеином определяются полностью гидраты, 1/2 карбонатов, 1/3 ортофосфатов и гуматы.

Практическая часть

Необходимые реактивы: 0,1 н. раствор серной или соляной кислоты; 0,01 н. раствор серной или соляной кислоты; 1%-й спиртовой

раствор фенолфталеина; 0,1%-й водный раствор метилоранжа; смешанный индикатор (смесь равных объемов спиртовых растворов метилового красного – 0,25 % и метиленового голубого – 0,17 %).

Порядок выполнения работы

Для определения щелочности исходной, известкованной, коагулированной, катионированной и питательной воды 100 мл испытуемой воды помещают в коническую колбу, прибавляют одну-две капли фенолфталеина и в случае появления розовой окраски титруют 0,1 н. раствором кислоты до обесцвечивания. Отметив расход кислоты добавляют две-три капли метилоранжа или смешанного индикатора и продолжают титрование до изменения окраски.

Если проба после добавления фенолфталеина не изменила окраску, сразу прибавляют метилоранж или смешанный индикатор и титруют 0,1 н. раствором кислоты до перехода окраски. Количество миллилитров 0,1 н. раствора кислоты, израсходованной на титрование по фенолфталеину, численно соответствует щелочности воды по фенолфталеину в мг · экв./кг. Количество миллилитров 0,1 н. раствора кислоты, израсходованной суммарно на титрование пробы по фенолфталеину и метилоранжу или фенолфталеину и смешанному индикатору, численно соответствует общей щелочности воды в мг · экв./кг.

Для определения щелочности *котловой воды* 25–50 мл котловой воды помещают в коническую колбу, разбавляют до 100 мл дистиллятом и определяют общую щелочность титрованием 0,1 н. раствором кислоты в присутствии смешанного индикатора, дающего более резкий переход окраски в конце титрования.

Количество миллилитров 0,1 н. раствора кислоты, израсходованной на титрование 50 мл пробы, умноженное на два, а при титровании 25 мл пробы, умноженное на четыре, определяет общую щелочность воды в мг · экв./кг.

Для определения щелочности *конденсатных вод* (при щелочности ниже 0,2 мг · экв./кг) по 100 мл испытуемой воды помещают в две одинаковые конические колбы, добавляют по две-три капли метилоранжа или смешанного индикатора, и первую титруют 0,01 н. раствором кислоты из микробюретки с оттянутым носиком до первого изменения окраски по сравнению со второй колбой, служащей «свидетелем». Сравнение производят на белом фоне при сильном освещении.

Количество миллилитров 0,01 н. раствора кислоты, израсходованной на титрование пробы, деленное на 10, численно равно щелочности воды в мг · экв./кг.

Обработка результатов

Результаты измерений занести в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты измерений

Номер пробы	Расход кислоты на титрование, мл		
	по фенолфталеину	по метилоранжу	общий расход
1			
2			
Среднее значение			

Определить щелочность воды:

$$\text{Щ}_o = 1000 \frac{V_{\text{мо}} + V_{\text{фф}}}{V_{\text{H}_2\text{O}}} C_{\text{HCl}}, \quad (3.2)$$

где $V_{\text{фф}}$, $V_{\text{мо}}$ – расход соляной кислоты на титрование по фенолфталеину и метилоранжу соответственно, мл; C_{HCl} – нормальность раствора кислоты; $V_{\text{H}_2\text{O}}$ – объем анализируемой пробы, мл.

Сделать выводы о пригодности использования воды для питания паровых котлов и для подпитки теплосети.

Контрольные вопросы

1. Определение общей щелочности и ее виды.
2. Относительная щелочность.
3. Основные индикаторы.
4. Сущность титрования в присутствии индикаторов. Щелочность по фенолфталеину и метилоранжу.
5. Определение щелочности исходной, известкованной, коагулированной, катионированной и питательной воды.
6. Определение щелочности котловой воды.
7. Определение щелочности конденсатных вод.

Лабораторная работа № 4я ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫя

Цель работы: закрепить теоретические знания по жесткости воды и методам ее устранения; приобрести навыки определения временной и общей жесткости воды; провести анализ пригодности воды к использованию в хозяйственно-бытовых целях и в теплогенерирующих установках.

Теоретическая частья

Жесткость воды – мера содержания в воде растворенных солей кальция и магния. Источником их являются в основном известняки и доломиты. Различают *постоянную, временную и общую жесткость* воды.

Постоянная жесткость воды (некарбонатная) $J_{п}$ – часть общей жесткости воды, остающаяся после кипячения воды при атмосферном давлении в течение 1 часа. Обуславливается содержанием сульфатов, хлоридов и других (кроме бикарбонатов) солей кальция и магния. При нагревании или кипячении воды они остаются в растворе.

Временная жесткость воды (устраняемая, карбонатная) $J_{вр}$ – часть общей жесткости, удаляющаяся кипячением воды при атмосферном давлении в течение определенного времени. Она равна разности между общей и постоянной жесткостью. Обуславливается содержанием бикарбонатов. При нагревании или кипячении воды бикарбонаты переходят в нерастворимые карбонаты, при этом жесткая вода умягчается.

Также различают *карбонатную и некарбонатную жесткость*.

Карбонатной жесткостью $J_{к}$ называется часть общей жесткости, эквивалентная концентрации карбонатов и гидрокарбонатов кальция и магния.

Некарбонатная жесткость $J_{нк}$ – это часть общей жесткости, равная разности между общей и карбонатной жесткостью.

Общая жесткость воды J – определяется как суммарное содержание в воде солей кальция и магния, выражается как сумма карбонатной и некарбонатной жесткости:

$$J = J_{к} + J_{нк}. \quad (4.1)$$

Жесткость воды выражается в мг · экв./кг или мкг · экв./кг.

Для определения жесткости в мг · экв./кг нужно количество вещества G в миллиграммах, растворенного в 1 кг воды (мг/кг), разделить на его эквивалентную массу:

$$Ж = \frac{G}{\mathcal{E}}. \quad (4.2)$$

Эквивалентная масса равна молекулярной массе вещества M , деленной на ее валентность B :

$$\mathcal{E} = \frac{M}{B}. \quad (4.3)$$

1 мг · экв./кг жесткости воды соответствует содержанию в 1 кг воды 20,04 мг иона кальция (Ca^{2+}) или 12,16 мг иона магния (Mg^{2+}).

Для пересчета концентрации кальция и магния, выраженной в мг/кг, в мг · экв./кг, ее делят на эквивалентные массы этих катионов, т. е.

$$Ж_0 = \frac{Ca^{2+}}{20,04} + \frac{Mg^{2+}}{12,16}, \quad (4.4)$$

где Ca^{2+} и Mg^{2+} – концентрация в воде катионов кальция и магния, мг/кг; 20,04 и 12,16 – эквивалентные массы кальция и магния.

Если

$$\frac{Ca^{2+}}{20,04} + \frac{Mg^{2+}}{12,16} > \frac{HCO_3^-}{61,02}, \quad (4.5)$$

то карбонатная жесткость (в мг · экв./кг) определяется по формуле

$$Ж_к = \frac{HCO_3^-}{61,02}, \quad (4.6)$$

где HCO_3^- – концентрация в воде бикарбонатных анионов, мг/кг; 61,02 – их эквивалентная масса.

Некарбонатная жесткость (в мг · экв./кг) в этом случае:

$$Ж_{нк} = Ж_0 - Ж_к \quad (4.7)$$

Если

$$Ж_0 < \frac{НСО_3^-}{61,02}, \quad (4.8)$$

то $Ж_к = Ж_0$ и $Ж_{нк} = 0$.

При оценке жесткости воды обычно воду характеризуют следующим образом:

Таблица 4.1

Классификация тип воды по значению жесткости

Вода	Жесткость, мг · экв./л
Очень мягкая вода	До 1,5
Мягкая вода	От 1,5 до 4
Вода средней жесткости	От 4 до 8
Жесткая вода	От 8 до 12
Очень жесткая вода	Более 12

В действующих санитарных правилах, нормах и гигиенических нормативах общая жесткость воды, используемой для питьевых и хозяйственно-бытовых нужд, нормируется: допустимое максимальное содержание солей жесткости в воде по суммарному содержанию в ней ионов кальция и магния составляет 7 ммоль/л.

Умягчение воды, т. е. снижение содержания в ней солей жесткости до требуемых нормативных значений, осуществляется одним из следующих способов: термическим, реагентным, катионитовым и комбинацией перечисленных способов (термохимическим и реагентно-катионитовым), причем термические и термохимические способы умягчения воды применяются в основном в теплоэнергетике.

В настоящее время наиболее широкое применение для систем водоснабжения получил катионитовый способ умягчения воды, т. е. снижения постоянной жесткости воды. Он основан на процессе ионного обмена. Ионный обмен базируется на способности некоторых веществ, называемых ионитами (ионитовые смолы), обменивать входящие в их состав ионы (например, H^+ и Na^+) на ионы солей жесткости, содержащиеся в воде, которые следует из нее удалить. При умягчении воды применяются не только H -катионитовые, но и Na -катионитовые фильтры, базирующиеся на использовании естественных (глауконитовых песков) и искусственных катионитов (сульфоуголь, вофатит, эспатит и др.).

Практическая часть

Определение временной жесткости воды. Так как вода, содержащая гидрокарбонаты кальция и магния, имеет щелочную реакцию, определение карбонатной жесткости производится непосредственным титрованием воды хлороводородной (соляной) кислотой в присутствии индикатора – метилового оранжевого.

Порядок проведения эксперимента

1. Для анализа в коническую колбу отмерить с помощью мерного цилиндра 100 мл исследуемой воды (проба 1 – исходная вода, проба 2 – умягченная вода).
2. Добавить 2–3 капли индикатора метилового оранжевого.
3. В приготовленную заранее бюретку налить 0,1 н. раствор HCl. Установить уровень на нулевое деление и по каплям приливать хлороводородную (соляную) кислоту в воду до изменения окраски раствора от желтой до оранжево-розовой.
4. Записать объем израсходованной на титрование кислоты.
5. Титрование повторить еще два раза, каждый раз доливая в бюретку кислоту до нулевого уровня.

Обработка результатов

Результаты титрования записать в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Результаты титрования

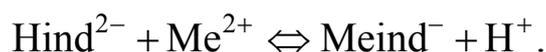
№	Объем H ₂ O V_{H_2O} , мл	Объем р-ра HCl V_{HCl} , мл	Средний объем р-ра HCl $V_{HCl_{cp}}$, мл	Нормальность раствора HCl C_{HCl} , моль /л

Рассчитать временную жесткость воды в мг · экв./кг по формуле

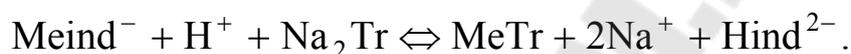
$$Ж_{вр} = \frac{C_{HCl} \cdot V_{HCl}}{V_{H_2O}} 1000. \quad (4.9)$$

Определение общей жесткости воды трилометрическим методом. Метод основан на комплексонометрическом титровании исследуемой воды с применением реактива трилон Б (натриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты) в присутствии индикатора хромогена черного Т.

В присутствии ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} при $\text{pH} = 7 - 11$ индикатор за счет образования комплексов с этими ионами приобретает характерный лилово-красный цвет.



При добавлении трилона Б эти комплексы распадаются и ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} связываются в бесцветный более прочный комплекс с трилоном Б, а раствор приобретает синюю окраску индикатора:



Изменение окраски происходит в тот момент, когда израсходуются все ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} . При этом количество вступившего в реакцию трилона Б эквивалентно количеству ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Порядок проведения эксперимента

1. Для анализа в коническую колбу 250–300 мл необходимый объем прозрачной воды:

Таблица 4.3

Жесткость воды, мг · экв./кг	Необходимый объем воды, мл
До 5,0	100
От 5,0 до 10,0	50
От 10,0 до 20,0	25

2. Объем отобранной пробы доводят дистиллированной водой до 100 мл.

3. Добавить 5 мл аммонийного буферного раствора ($\text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$).

4. Добавить 7–8 капель индикатора.

5. 0,1 н. раствором трилона Б оттитровать пробу воды до перехода лилово-красной окраски в синюю.

Титрование повторить еще 2 раза.

Обработка результатов

Результаты титрования записать в табл. 4.4.

Рассчитать общую жесткость воды по формуле

$$J_{\text{общ}} = \frac{C_{\text{н трБ}} \cdot V_{\text{трБ}}}{V_{\text{H}_2\text{O}}} 1000. \quad (4.10)$$

Рассчитать постоянную жесткость воды, зная ее общую и временную жесткость.

Таблица 4.4

Номер титрования	Объем H_2O $V_{\text{H}_2\text{O}}$, мл	Объем р-ра трилона Б $V_{\text{тр Б}}$, мл	Средний объем р-ра трилона Б $V_{\text{тр Б ср}}$, мл	Нормальность раствора трилона Б $C_{\text{н тр Б}}$, моль/л

Контрольные вопросы

1. Что такое жесткость воды?
2. Виды жесткости.
3. В каких единицах выражается жесткость воды?
4. Какому содержанию Ca^{2+} и Mg^{2+} соответствует жесткость 1 мг · экв./л?
5. Как определить карбонатную и некарбонатную жесткость воды?
6. Временная и постоянная жесткость.
7. Трилометрический метод определения общей жесткости.
8. Методы умягчения воды.

Лабораторная работа № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОБЩЕГО ЖЕЛЕЗА В ВОДЕ

Цель работы: приобрести навыки определения содержания общего железа в воде; провести анализ визуально-колориметрическим методом.

Теоретическая часть

Железо – неорганическое вещество в водных системах. Железо всегда присутствует в воде, но, как и остальные показатели, отклонение от нормы этого показателя влияет на качество воды в целом.

Высокое содержание железа в воде значительно ухудшает органолептические свойства, придавая ей неприятный вяжущий вкус, и делает воду малопригодной для использования даже в технических целях. Ионы железа загрязняют ионообменные смолы, поэтому при проведении большинства ионообменных процессов предшествующей стадией обработки воды является их удаление.

В теплоэнергетическом оборудовании (котлы паровые и водогрейные, теплообменники) железо – источник образования железонакипных отложений на поверхностях нагрева. Железо также способствует развитию «железобактерий», которые получают энергию при окислении Fe^{2+} до Fe^{3+} , в результате чего в трубопроводах и на оборудовании образуется скопление слизи.

Железо может встречаться в природных водах в следующих видах:

- истинно растворенном виде (двухвалентное железо, прозрачная бесцветная вода);
- нерастворенном виде (трехвалентное железо, прозрачная вода с коричневато-бурым осадком или ярко выраженными хлопьями);
- коллоидном состоянии или тонкодисперсной взвеси (окрашенная желтовато-коричневая переливающаяся вода, осадок не выпадает даже при длительном отстаивании).

Суммарную концентрацию в воде всех растворенных форм железа выражают показателем «*железо общее*».

В воде поверхностных источников железо находится обычно в форме органо-минеральных коллоидных комплексов, в частности, в виде гуминовокислого железа и тонкодисперсной взвеси гидроксида железа. В речной воде, загрязненной кислотными стоками, встречается сульфат двухвалентного железа $FeSO_4$. Из-за наличия в речной воде растворенного кислорода двухвалентное железо Fe^{2+} окисляется в трехвалентное Fe^{3+} . Подземные источники воды в подавляющем большинстве характеризуются наличием растворенного бикарбоната двухвалентного железа $Fe(HCO_3)_2$, который вполне устойчив при отсутствии окислителей и $pH > 7,5$. Концентрация железа в подземных грунтовых водах находится в пределах от 0,5 до 50 мг/л. При концентрации железа менее 0,3 мг/л запах обычно не ощущается, хотя могут появляться мутность и цветность воды. Анаэробная (не имеющая контакта с воздухом) прозрачная грунтовая вода может содержать соединения двухвалентного железа Fe^{2+} до нескольких миллиграммов на литр без ее помутнения при прямой подаче из источника. Однако при контакте с кислородом воздуха двухвалентное железо окисляется

до трехвалентного коллоидного состояния, придавая воде характерный красно-коричневый оттенок.

Для обезжелезивания поверхностных вод используются только реагентные методы с последующей фильтрацией. Обезжелезивание подземных вод осуществляют фильтрованием в сочетании с одним из способов предварительной обработки воды:

- аэрация;
- «сухое» фильтрование;
- коагуляция, осветление, флокуляция;
- введение реагентов-окислителей (хлор, гипохлорит натрия или кальция, озон, перманганат калия);
- фильтрование с применением каталитических загрузок;
- катионирование и др.

Наиболее распространенный метод удаления железа – фильтрование с применением каталитических загрузок. Это обусловлено как коммерческими аспектами, так и высокой технологичностью процессов. Каталитические наполнители – природные материалы, содержащие диоксид марганца. Механизм действия основан на способности соединений марганца сравнительно легко изменять валентное состояние. Двухвалентное железо в исходной воде окисляется высшими оксидами марганца. Последние восстанавливаются до низших ступеней окисления, а далее вновь окисляются до высших оксидов растворенным кислородом и перманганатом калия.

Впоследствии большая часть окисленного и задержанного на фильтрующем материале железа вымывается в дренаж при обратной промывке. Таким образом, слой гранулированного катализатора служит одновременно и фильтрующей средой.

Практическая часть

Необходимые реактивы: раствор сульфосалициловой кислоты (30%-й); раствор аммиака (10%-й); ГСО водного раствора ионов железа (III) (1 г/дм^3); стакан ТХС с метками «5, 25, 50», пробирки колориметрические с меткой «10 мл», пипетка градуированная вместимостью 1,0 и 5,0 мл; шприц-дозатор на 10 мл; колба мерная вместимостью 100 мл; контрольная шкала образцов окраски проб для визуального колориметрирования «Железо КВ» (пленочная).

Порядок проведения эксперимента

1. Налить в две пробирки до метки «10 мл» подготовленные пробы воды (проба 1 – исходная вода, проба 2 – вода после фильтра обезжелезивания; см. схему в лабораторной работе № 9), предварительно ополоснув их 2–3 раза той же водой.

2. Ввести пипетками-капельницами в пробирку 1,0 мл раствора сульфосалициловой кислоты и 2,0 мл раствора аммиака. Закрыть пробирку пробкой и перемешать раствор.

3. Оставить пробирку на 10 мин для полного протекания реакции.

4. Провести визуальное колориметрирование пробы на белом фоне при достаточной освещенности. Для этого сравнить интенсивность окраски анализируемой воды с образцами окраски контрольной шкалы (пеночной) или с окраской модельных растворов-имитаторов. Окраску раствора рассматривать сверху вниз через открытую пробирку. Выбрать наиболее близкий по окраске образец эталонной шкалы и соответствующее значение концентрации ионов железа.

Обработка результатов

1. Рассчитать концентрацию ионов железа в анализируемой воде в мкг/кг (мкг/л) по формуле

$$C_{\text{пр}} = \frac{1}{N} C_{\text{ш}}, \quad (5.1)$$

где N – коэффициент концентрирования пробы; $C_{\text{ш}}$ – значение концентрации ионов железа, соответствующее выбранному образцу окраски контрольной пленочной шкалы или модельного раствора.

2. Результат анализа представить в виде: ____ мкг/кг (мкг/л).

Контрольные вопросы

1. Что такое железо?
2. К чему приводит высокое содержание железа в воде?
3. Виды железа, встречающегося в природных водах.
4. Что выражает показатель «общее железо»?
5. Методы обезжелезивания воды.
6. Сущность визуально-колориметрического метода определения общего железа в воде.

Лабораторная работа № 6 ДЕГАЗАЦИОННАЯ ТЕХНИКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА

Цель работы: изучение принципов и способов удаления растворенных в воде газов; определение концентрации кислорода в технической воде.

Теоретическая часть

Вода, используемая на тепловых электрических станциях (ТЭС), содержит различные растворенные газы, находящиеся в природной воде в виде примесей, образующиеся в результате процессов водоподготовки или термического воздействия, а также поступающие в вакуумную часть циклов ТЭС с присосами воздуха.

Растворенные в водных носителях газы можно разделить на химически взаимодействующие с водой (CO_2 , NH_3 , Cl_2) и не взаимодействующие (N_2 , O_2 , H_2). Эти же газы разделяются также на коррозионно-активные (O_2 , CO_2 , Cl_2) и инертные (N_2 , H_2). Основной целью удаления из воды растворенных в ней газов является предотвращение коррозии оборудования. На водоподготовительных установках удаление растворенного CO_2 и летучих органических примесей также производится для снижения коррозионной активности обработанной воды и оптимизации эксплуатации фильтров, загруженных сильноосновным ионитом (наличие CO_2 снижает рабочую емкость ионита).

Кислород O_2 , азот N_2 и диоксид углерода CO_2 попадают в воду вследствие контакта ее с воздухом. Кроме того, высокие концентрации CO_2 возникают в воде в результате ее обработки Н-катионированием или путем подкисления. Водород обычно является продуктом коррозии металла оборудования. Аммиак NH_3 вводится в питательную воду при ее аминировании, газообразный хлор используется при обработке охлаждающей воды и т. п.

Концентрация растворенных газов в воде зависит от множества факторов: природы газа, температуры воды, степени минерализации воды, парциального давления газа над водой, рН воды и др.

Все известные способы удаления из воды растворенных газов основаны на двух принципах: *десорбции*, *химического связывания* с превращением газов в иные безвредные вещества.

Процессы выделения газов из воды (*десорбция*) и растворения газов в воде (*абсорбция*) подчиняются общим законам массопередачи в системе «жидкость–газ» и протекают до тех пор, пока не будет достигнуто равновесие, зависящее от температуры, давления и концентраций в обеих фазах. В условиях равновесия процессы десорбции и абсорбции подчиняются *закону Генри*, который утверждает, что при данной температуре концентрация растворенного газа в жидкости пропорциональна давлению этого газа над жидкостью:

$$C_r = k_r p_r, \quad (6.1)$$

где C_r – концентрация газа в воде, моль/дм³; k_r – коэффициент абсорбции характеризует объем газа, растворяющегося при стандартных условиях в единице объема раствора; p_r – давление данного газа над водой, Па.

Из уравнения (6.1) следует, что для осуществления массообмена между водой и газом парциальное давление в газовой фазе должно либо уменьшаться, либо увеличиваться в зависимости от требуемого направления массообмена. Полного удаления газов ($C_r = 0$) можно достичь при $p_r = 0$ или $p_r = p_{H_2O}$. Это достигается созданием над поверхностью воды либо вакуума, либо атмосферы, не содержащей удаляемого газа, в частности, путем нагрева воды до кипения, когда парциальное давление паров воды становится равным общему давлению, что равносильно снижению парциального давления удаляемого газа до нуля.

Химическое связывание газов с превращением их в безвредные соединения реализуется путем дозирования в воду специальных химических реагентов. Чаще всего для этой цели применяются различные восстановители (для связывания кислорода) или основания (для связывания CO_2).

Эффективность таких методов дегазации определяется законами химической кинетики, а полнота связывания растворенных газов зависит от природы и избытка добавляемого реагента, температуры, состава примесей обрабатываемой воды и продолжительности взаимодействия газа и реагента.

Рассмотренные закономерности десорбционного метода удаления газов положены в основу конструирования и приемов эксплуатации *декарбонизаторов, термических и вакуумных деаэраторов*.

Удаления из воды свободного диоксида углерода CO_2 *методом аэрации* широко применяется на ВПУ. Осуществляется это в специальных аппаратах – декарбонизаторах – путем продувки воды воздухом, подаваемым вентилятором. В декарбонизаторе осуществляется избирательная десорбция диоксида углерода CO_2 . Это достигается согласно закону Генри снижением парциального давления данного газа над водой без снижения общего давления и подогрева воды, что уменьшает энергетические потери. Практически это реализуется продувкой воды газом (или смесью газов), в составе которого десорбируемый газ или отсутствует, или, что чаще, его концентрация чрезвычайно низка.

Декарбонизатор представляет собой колонну, заполненную насадкой (деревянная, керамические кольца Рашига и др.) для дробления потока воды, подаваемой сверху на стекающие пленки, что увеличивает поверхность контакта воды и воздуха. Воздух, нагнетаемый вентилятором, движется в насадке навстречу потоку воды и затем вместе с выделившимся CO_2 выводится через верхний патрубок. Большое значение на эффективность процесса декарбонизации оказывает значение pH: с уменьшением pH увеличивается эффективность декарбонизации воды. При $\text{pH} > 8,5$ CO_2 полностью переходит в ионные формы, поэтому в декарбонизаторе не удаляется.

Термическая деаэрация – это процесс десорбции газа, при котором происходит переход растворенного газа из жидкости в находящийся с ней в контакте пар. Удаление газов при термической деаэрации происходит в результате диффузии и дисперсного выделения их. При этом должны быть созданы условия перехода газов из воды в паровое пространство. Одним из таких условий является увеличение площади поверхности контакта воды с паром, чтобы максимально приблизить частицы потока деаэрируемой воды к поверхности раздела фаз. Это достигается *дроблением* потока воды на тонкие струи, капли или пленки, а также при *барботаже* пара через тонкие слои воды.

Применяемые на ТЭС деаэраторы различают по рабочему давлению, при котором происходит выделение газов из воды: *деаэраторы повышенного давления* (0,6–1,2 МПа) типов ДСП-1600, ДСП-1000 и других с подогревом воды на 10–40 °С; *деаэраторы атмосферные* (0,12 МПа) типов ДА-300, ДА-150 и других с подогревом воды на 10–50 °С и *деаэраторы вакуумные* (0,0075–0,05 МПа) типов ДВ-2400, ДВ-2000 и других с подогревом воды на 15–25 °С (числа в типоразмерах указывают производительность, т/ч).

Деаэраторы различают также по способу контакта воды с паром: *пленочные, струйные, капельные, барботажные*. При этом часто используются комбинированные схемы контакта (например, струйно-барботажные).

Большинство деаэраторов выполняется в виде вертикальной цилиндрической колонки, которая размещается над баком-аккумулятором. Бак-аккумулятор предназначен в основном для аккумуляции запаса питательной (подпиточной) воды. Кроме того, в нем заканчивается процесс дегазации воды (выделение дисперсных газов и разложение гидрокарбонатов).

Струйные атмосферные деаэраторы широко распространены на электростанциях в комбинированных вариантах. Они просты по конструкции и имеют малое сопротивление при прохождении пара. Деаэрируемая вода подводится в верхнюю часть колонки. Дробление воды на струи осуществляется с помощью дырчатых тарелок, расположенных по высоте колонки на расстоянии 300–400 мм друг от друга. Тарелки имеют отверстия диаметром 5–7 мм, площадь сечения которых составляет около 8 % общей площади тарелки. В колонке устанавливаются тарелки двух типов – с проходом пара через центральное отверстие или по периферии. Чередуясь между собой, тарелки обеспечивают многократное пересечение потоком пара струй деаэрируемой воды. Число устанавливаемых тарелок определяется начальным и конечным содержаниями кислорода в деаэрируемой воде (обычно пять и более).

Струйное движение деаэрируемой воды обуславливает обязательную неравномерность интенсивности ее деаэрации, отнесенную к единице длины струи, что является существенным недостатком деаэраторов данного типа. Для его устранения колонки струйного типа выполняют большой высоты (3,5–4 м и более).

В *деаэраторных колонках пленочного типа* деаэрируемая вода разбивается на тонкие пленки, стекая вниз по поверхности насадки.

Насадка выполняется из вертикальных, наклонных или зигзагообразных листов, концентрических цилиндров, шаров, колец, Q-образных элементов и др.

В основном пленочные деаэраторы применяются для дегазации подпиточной воды тепловых сетей. Им присущи: большая чувствительность к перегрузкам, которые могут привести к обращенному движению воды и к гидроударам; как правило, недостаточная пропускная способность на единицу площади поперечного сечения колон-

ки, что вызывает необходимость использования нескольких параллельно работающих колонок; гидравлические и тепловые перекосы за счет смещения слоя насадки, уменьшения ее удельной площади поверхности под действием потоков воды и пара.

Наилучший эффект деаэрации достигается при использовании деаэраторов, сочетающих струйный, пленочный или капельный принцип распределения воды с барботажем. В барботажных устройствах контакт пара с водой происходит при ее дроблении. При проходе пара через слой воды происходит ее перегрев относительно температуры насыщения, соответствующей давлению в паровом пространстве над поверхностью воды. При этом пузырьки пара увлекают за собой слой воды, которая вскипает при движении вверх. Это способствует лучшему выделению из воды растворенных газов. В процессе барботажа интенсивно выделяется не только кислород, но и углекислота, которая в деаэраторах других типов полностью не удаляется из воды.

Практическая часть

Определение основано на связывании растворенного кислорода в котловой воде восстановленной формой лейко соединения индигокармина. Восстановленная форма лейко соединения индигокармина золотисто-желтого цвета, при окислении за счет растворенного в воде кислорода меняет свою окраску до темно-синей.

Концентрацию кислорода в воде определить визуальнометрическим методом, сравнивая окраску пробы анализируемой воды с образцами окраски контрольной шкалы.

Шкалы отградуированы по концентрациям:

– 0; 20; 60; 100 мкг/л (мкг/кг) – пленочная шкала;

– 0; 10; 20; 40; 60; 80; 100 мкг/л (мкг/кг) – в виде растворов эталонов-имитаторов.

Диапазон определяемых концентраций содержания кислорода в воде составляет 10–100 мкг/л (мкг/кг).

Необходимое лабораторное оборудование и реактивы: гранулированный цинк; раствор азотной кислоты (5%-й); химический стакан; ртуть (II) азотнокислая; колба 100 мл; дистиллированная вода; раствор индигокармина кислый (0,1–0,2 моль/л экв.); раствор аммиака (5 моль/л экв.); стандарт-титр серной кислоты (0,1 моль/л экв.); колба коническая для титрования на 250 мл; полимерные пипетки: пипетки градуированные вместимостью 2,0 мл; пипетка вместимостью 10,0 мл;

склянки ВПК; смешанный индикатор; шприц-дозатор для титрования; трубка-сифон; стойка-штатив; контрольная шкала образцов окраски «Кислород КВ» (пленочная).

Порядок выполнения работы

1. Подготовить редуكتور с амальгированным цинком к работе (выполняется непосредственно перед проведением анализа). Для этого в химический стакан поместить гранулированный цинк (85–90 г) и промыть его 5%-м раствором азотной кислоты. Затем промыть гранулированный цинк 10%-м раствором азотнокислой ртути (II) до образования на гранулах слоя блестящей амальгамы.

2. Перенести амальгированный цинк в редуكتور (бюретка на 25 мл с оттянутым концом в виде капилляра). Амальгированный цинк в редукторе промыть дистиллированной водой, и заполнить редуктор аммиачным раствором индигокармина.

Примечание. Редуктор заполнять только свежеприготовленным аммиачным раствором индигокармина. В редукторе при прохождении аммиачного раствора индигокармина через слой амальгированного цинка образуется восстановленная форма лейкосоединения индигокармина золотисто-желтого цвета.

3. Отобрать пробу анализируемой воды из пробоотборной точки, через шланг со стеклянным наконечником в склянку БПК, помещенную в специальное ведерко для отбора проб диаметром 120 мм и высотой 200 мм. Температура воды должна быть не выше 40 °С. Вода должна заполнить склянку и ведерко. Уровень воды в ведерке должен быть выше уровня горлышка склянки на 40–50 мм.

4. Извлечь из склянки пробоотборный наконечник и ввести в нее из редуктора 1,5 мл аммиачного раствора индигокармина, опуская наконечник редуктора в склянку на глубину 5–6 см. Закрывать склянку пробкой и стеклянным колпачком под водой. Раствор в склянке перемешать.

Примечание. Для правильного определения кислорода в воде вводить из редуктора аммиачный раствор индигокармина под слоем воды (без доступа воздуха)!

5. Провести визуальное колориметрирование пробы. Для этого сравнить интенсивность окраски испытуемой пробы воды с окраской растворов шкалы-имитаторов или образцами окраски контрольной шкалы. Выбрать наиболее близкий по окраске раствор шкалы эталон-имитаторов.

6. За результат анализа принимают значение концентрации растворенного кислорода (мкг/кг), соответствующее ближайшему по окраске раствору шкалы-имитаторов либо образцу окраски на контрольной шкале.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит и почему увеличивается концентрация растворенных газов в технической воде?
2. Классификация растворенных газов. Основное назначение дегазации.
3. Основные принципы известных способов удаления растворенных газов.
4. Как в соответствии с законом Генри можно уменьшить концентрацию газа в воде? Как увеличить степень дегазации?
5. Каким образом осуществляется химическое связывание кислорода и диоксида углерода? Что оказывает влияние на этот процесс?
6. Назначение и принцип работы декарбонизаторов. Какое влияние на декарбонизацию оказывает pH?
7. Особенности термической деаэрации, способы повышения ее эффективности.
8. Виды деаэраторов, применяемые на ТЭС.
9. Как определяется концентрация растворенного кислорода в технической воде?

Лабораторная работа № 7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НИТРАТОВ И ХЛОРИДОВ В ВОДЕ

Цель работы: приобрести практические навыки определения содержания нитратов визуально-колориметрическим методом и содержания хлоридов титриметрическим методом в лабораторных условиях.

Теоретическая часть

Нитраты – это соли азотной кислоты, наличие которых, как правило, вызвано поступлением в воду хозяйственно-бытовых и промышленных стоков, а также стоков воды с сельскохозяйственных

угодий, обрабатываемых азотосодержащими удобрениями, и с атмосферными осадками. В связи с этим концентрация нитратов часто наиболее высока в воде колодцев, неглубоких скважин, рек и озер.

Опасность нитратов обусловлена их токсичным действием на организм. Накапливаясь в организме человека, нитраты вызывают метгемоглобинемию, т. е. реагируют с гемоглобином крови, образуя метгемоглобин. Это вещество в отличие от гемоглобина не переносит кислород, что приводит к кислородному голоданию тканей. В результате ухудшается самочувствие, появляется вялость. При содержании метгемоглобина 20–50 % появляются одышка, тахикардия, потеря сознания, при метгемоглобинемии свыше 50 % наступает смерть.

Нитраты губительно воздействуют на нервную, сердечнососудистую систему, желудочно-кишечный тракт и другие органы. Особую опасность нитраты представляют для маленьких детей, у которых еще не сформирована восстанавливающая ферментная система.

По этим причинам необходимо ограничивать поступление нитратов в организм – минимизировать потребление нитратсодержащих продуктов и не употреблять воду с повышенной концентрацией нитратов (более 45 мг/л).

Наиболее широкое распространение получили два метода очистки воды от нитратов: с помощью установок обратного осмоса и с помощью специальных фильтров с анионными ионообменными материалами.

Хлориды – это соли соляной кислоты. Все природные воды содержат в своем составе хлориды, чаще всего встречающиеся в виде натриевых, магниевых и кальциевых солей. Их естественное содержание в грунтовых и артезианских водах обусловлено вулканическими выбросами, а также результатами кругового взаимодействия атмосферных осадков с почвами и обмена через атмосферу с океаном.

Хлориды, содержащиеся в значительном количестве в воде, могут быть следствием вымывания хлористых соединений или поваренной соли из пластов, соприкасающихся с водой.

ПДК хлоридов в питьевой воде составляет 350 мг/л.

Влияние хлоридов на организм человека и оборудование:

- раздражаются слизистые оболочки, глаза, кожные покровы, дыхательные пути;
- нарушается водно-солевой баланс;
- возникает вероятность развития заболеваний системы кровообращения;

- появляется склонность к возникновению новообразований мочеполовых органов, органов пищеварения, желудка, пищевода и т. д.;
 - ввиду агрессивности воды с избыточным содержанием хлоридов увеличивается интенсивность коррозии металлических поверхностей;
 - растворенные в избыточном количестве хлориды кальция и магния придают воде повышенную жесткость, которая способствует возникновению накипи (осадка) в трубах и на стенках отопительных котлов;
 - ввиду меньшей теплопроводности накипи, по сравнению с металлом, из которого изготовлены трубы и нагревательные приборы происходит большая затрата энергии и времени на подогрев воды;
 - низкая теплоотдача служит причиной перегрева нагревательных элементов, на которых появляются деформации, трещины и вздутия, ведущие к поломке оборудования;
- При высоких концентрациях хлоридов в воде, как правило, применяется обратный осмос.

Практическая часть

Необходимое оборудование: градуированные пробирки с пробками на 15 мл; склянки для колориметрирования с меткой «10 мл»; шприц-дозатор; полимерная пипетка; шпатель; раствор α -нафтиламина; раствор сульфаниловой кислоты; порошок восстановителя; нитрат аммония; контрольная шкала образцов окраски проб для визуального колориметрирования «Нитрат-анионы» (0,0; 1,0; 5,0; 10,0; 20,0; 45 мг/л); раствор азотнокислого серебра; раствор серной кислоты (0,1 моль/л экв.); раствор хромата калия (10%-й); раствор индикатора фенолфталеина; колба коническая для титрования вместимостью 250 мл; мерный цилиндр вместимостью 100 мл; стойка-штатив; пипетка для титрования вместимостью 10 мл.

Порядок проведения эксперимента

Определить содержание нитратов в воде визуально-колориметрическим методом:

1. Ополоснуть градуированную пробирку несколько раз анализируемой водой. В пробирку отобрать 6 мл анализируемой воды (проба 1 – исходная вода, проба 2 – Na-катионированная вода), прибавить дистиллят до метки «11 мл», перемешать.

2. Добавить к содержимому пробирки 2 мл свежеприготовленного реактива на нитрат-анионы, закрыть пробирку пробкой и встряхнуть для перемешивания раствора.

3. Добавить в пробирку около 0,2 г порошка восстановителя, используя шпатель. Закрыть пробирку пробкой и перемешать раствор.

4. Оставить пробирку на 5 мин для полного протекания реакции.

5. Перелить часть раствора из пробирки в склянку для колориметрирования до метки «10 мл».

6. Провести визуальное колориметрирование пробы. Результат анализа представить в виде « ___ мг/л ».

Определить содержание хлоридов в воде титриметрическим методом:

1. Налить в коническую колбу необходимый объем анализируемой воды (проба 1 – исходная вода, проба 2 – вода после очистки методом обратного осмоса).

2. Добавить 2 капли раствора фенолфталеина. Если раствор в колбе приобрел розовую окраску, добавить по каплям раствор серной кислоты до исчезновения окраски.

3. Добавить 1 мл раствора хромата калия, раствор перемешать.

4. Постепенно титровать пробу раствором азотнокислого серебра при постоянном перемешивании до появления не исчезающей бурой окраски. Определить объем раствора, израсходованный на титрование.

5. Рассчитать концентрацию хлорид-анионов:

$$C_{\text{хл}} = \frac{(V - 0,2)N \cdot 35,5}{V_{\text{пр}}} 1000, \text{ мг/л} \quad (7.1)$$

где V – объем азотнокислого серебра, израсходованный на титрование, мл; 0,2 – поправочный коэффициент на окраску раствора в точке эквивалентности, мл; N – концентрация раствора азотнокислого серебра, моль/л; 35,5 – эквивалентная масса хлора, г; $V_{\text{пр}}$ – объем пробы, взятый для анализа, мл; 1000 – коэффициент пересчета в мг/л.

Контрольные вопросы

1. Причины возникновения нитратов.
2. Вредное воздействие нитратов на организм человека.
3. Возникновение хлоридов в воде.
4. Влияние хлоридов на организм человека и оборудование.
5. Методы очистки воды от нитратов и хлоридов.

Лабораторная работа № 8я **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФАТОВ**

Цель работы: изучить методику определения содержания фосфатов, приобрести навыки экспериментального определения содержания фосфатов воды, используемой в теплоэнергетических установках.

Теоретическая часть

Соединения фосфора встречаются во всех живых организмах, регулируя энергетические процессы клеточного обмена. Фосфор является одним из главных биогенных компонентов, определяющих продуктивность водоема. Нарастание концентрации соединений фосфатов в воде нарушает биологическое равновесие, приводит к процессам эвтрофикации водоема, т. е. к резкому повышению его биологической продуктивности, в частности, к «цветению» воды.

Фосфат-ион, как и сульфат-ион, является информативным индикатором антропогенного загрязнения, которому способствует широкое применение фосфорных удобрений (суперфосфат и др.) и полифосфатов (как моющих средств). Соединения фосфора поступают в водоем при биологической очистке сточных вод.

Фосфаты отнесены к третьему классу опасности (опасны по органолептическому признаку). Санитарная норма содержания фосфатов

в питьевой воде (ПДК) – не более 3,5 мг/дм³.

Общее токсическое действие солей фосфорной кислоты возможно лишь при весьма высоких дозах и чаще всего обусловлено примесями фтора. Для очистки воды от фосфатов используется обратный осмос. Содержание соединений фосфора подвержено значительным сезонным колебаниям, поскольку оно зависит от соотношения интенсивности процессов фотосинтеза и биохимического окисления органических веществ. Минимальные концентрации фосфатов в поверхностных водах наблюдаются обычно весной и летом, максимальные – осенью и зимой, в морских водах – соответственно весной и осенью, летом и зимой. Антропогенными источниками фосфатов в окружающей среде являются: удобрения, стиральные порошки, необработанные сточные воды.

Если питательная вода содержит фосфаты, то илистые отложения в воде котлов могут также содержать фосфаты магния и кальция. Фосфатные отложения образуются в котлах, использующих реагенты

для внутренней очистки от фосфатов. Фосфатные отложения обычно являются мягкими, обладают коричневым или серым цветом и легко удаляются обычными методами очистки. Они являются «предпочтительными» продуктами реакции, когда для воды с высокой жесткостью используются реагенты для осаждения фосфатов. Фосфат кальция (гидроксиапатит) обычно является преобладающим соединением, обнаруживаемым при анализе отложений в котлах.

В паровых котлах при высокой кратности испарения и сравнительно небольших водяных объемах в котловой воде настолько возрастает концентрация солей, что даже при незначительной жесткости питательной воды возникает опасность образования накипи на поверхности нагрева. Поэтому в котлах производится обычно «доумягчение» посредством фосфатирования.

Ионы PO_4^{3-} с катионом кальция котловой воды образуют нерастворимый комплекс, выпадающий в осадок в виде шлама, не прилипающего к поверхности нагрева и легко удаляемого из котла с продувочной водой. Одновременно путем фосфатирования может поддерживаться определенная щелочность и рН котловой воды, обеспечивающая защиту металла от коррозии. Избыток фосфатов в котловой воде должен поддерживаться постоянно в количестве, достаточном для образования шламовых солей жесткости. Однако превышение содержания фосфатов по сравнению с нормами также не допускается, так как при наличии большого количества железа и меди в котловой воде могут образовываться феррофосфатные отложения и накипи фосфата магния, который обладает способностью прикипать к поверхности нагрева, образуя мало-теплопроводную вторичную накипь, трудно удаляемую механическими способами.

Метод определения фосфатов в котловой воде основан на реакции взаимодействия фосфатов с раствором молибдата аммония в кислой среде (рН = 0,5–1,0) с образованием гетерополикислоты, которая в присутствии восстановителей образует интенсивно окрашенное соединение синего цвета.

Для определения фосфатов используется метод визуального сравнения. Пробу катионированной воды, не содержащей фосфатов, титруют стандартным раствором однозамещенного фосфата калия до тех пор, пока окраска титруемого раствора не совпадет с окраской испытуемой пробы котловой воды.

Диапазон определяемых значений массовых концентраций фосфатов составляет от 1 до 100 мг/л (мг/кг) и более.

Практическая часть

Необходимое лабораторное оборудование и реактивы: раствор молибдата аммония; раствор хлорида натрия (30%-й); основной раствор хлорида олова; стандартный раствор (100 мг/л по фосфат-аниону); стандартное вещество – калия фосфат однозамещенный (навеска 0,1433 г); колба коническая для титрования вместимостью 250 мл; полимерные пипетки вместимостью 1 и 3 мл; пипетка градуированная вместимостью 5 мл; бумага универсальная индикаторная; мерная склянка с метками «2,5; 5; 10» мл; шприц-дозатор; термометр; трубка-сифон; стойка-штатив. Для выполнения анализа необходима дистиллированная и катионированная вода.

Порядок проведения работы

1. Поместить 5 мл анализируемой котловой воды в коническую колбу вместимостью 250 мл, 1 мл раствора хлористого натрия и дистиллированную воду до метки «100». Раствор в колбе перемешать (первая проба).

2. В другую коническую колбу поместить 5 мл катионированной воды, упаренной, примерно, до солесодержания котловой воды, 1 мл раствора хлористого натрия и дистиллированной воды до метки «100». Раствор в колбе перемешать (вторая проба). Объем пробы может быть уменьшен до 1 мл при высоком содержании фосфат-анионов.

3. Нагреть обе колбы до 50 ± 5 °С на водяной бане.

4. Прибавить в каждую колбу пипетками по 5 мл раствора молибдата аммония и по 1 мл 1%-го раствора хлористого олова. Раствор перемешать. При наличии фосфат-анионов раствор в колбе с анализируемой водой приобретает синюю окраску (первая проба).

5. Градуированную пипетку, закрепленную в стойке-штативе, заполнить стандартным раствором однозамещенного фосфата калия, через 1 мин вторую пробу (с катионированной водой) медленно по каплям титровать стандартным раствором, пока окраска титруемого раствора не совпадет с окраской раствора первой пробы (анализируемой воды).

Обработка результатов измерений

Рассчитать по формуле концентрацию фосфат-анионов в мг/л или мг/кг:

$$C_{\phi} = \frac{V_{\text{ст}} \cdot 0,1 \cdot 1000}{V_{\text{пр}}}, \quad (8.1)$$

где $V_{\text{ст}}$ – объем стандартного раствора однозамещенного фосфата калия израсходованный на титрование в мл; 0,1 – содержание фосфат-анионов в мг в 1 мл стандартного раствора; 1000 – коэффициент пересчета концентрации фосфатов из мг/мл в мг/л; $V_{\text{пр}}$ – объем котловой воды, взятый на анализ в мл.

Контрольные вопросы

1. Образование фосфатов в воде.
2. Методы удаления фосфатов.
3. С какой целью проводят фосфатирование котловой воды?
4. Механизм «доумягчения» ионами PO_4^{3-} .
5. К чему приводит превышение содержания фосфатов сверх норм?
6. Метод определения фосфатов.

Лабораторная работа № 9 УМС Г) ЕНННВОДНМНОДМННОНОННОННО ОБМЕНА

Цель работы: закрепить теоретические знания по умягчению воды методом катионного обмена; изучить устройство и принцип действия механических фильтров, фильтров обезжелезивания и Na-катионитных фильтров; произвести определение жесткости, щелочности и общего железа анализируемых проб воды.

Теоретическая часть

Область применения установки умягчения: докотловая обработка воды; подпитка систем горячего водоснабжения; очистка воды, поступающей на технологические цели промышленных предприятий; очистка воды, поступающей на хозяйственно-питьевое водоснабжение.

Механическая очистка воды на установках марки ФМ осуществляется методом прохождения исходной воды через слой механической загрузки (кварцевый песок).

Механический фильтр состоит из корпуса, слоя фильтрующего материала, поддерживающего слоя гравия, дренажно-распределитель-

ной системы, многоходового переключателя потока воды (управляющего клапана) для управления процессами фильтрации, регенерации, обратной и прямой промывки.

Исходная вода поступает на установку фильтрации в направлении сверху вниз, протекает через слой фильтрующего материала, который располагается в корпусе. При этом механические примеси при взаимодействии с гранулами фильтрующего материала оседают на нем. Когда грязеемкость фильтрующего материала исчерпана, должна быть осуществлена регенерация для того, чтобы восстановить свойства материала. Регенерация включает в себя обратную и быструю промывку. При обратной промывке (взрыхлении) объем фильтрующего материала промывается снизу вверх. Слой фильтрующего материала при этом разрыхляется и очищается от осевших механических частиц. Процесс быстрой промывки реализовывает эффективное промывание фильтрующего материала в направлении сверху вниз и в результате этого надежное отмывание от солевых остатков.

Обезжелезивание воды на установках марки Ф осуществляется методом каталитического окисления при прохождении исходной воды через слой каталитически активного материала. В фильтрах используются природные или синтетические материалы, содержащие диоксид марганца (зеленый песок). Обеспечивается качество обработанной воды по общему железу не более 0,3 мг/л.

Вода после механического фильтра поступает на фильтр обезжелезивания и в направлении сверху вниз протекает через слой фильтрующего материала. При этом растворенное железо при взаимодействии с гранулами фильтрующего материала окисляется и выпадает в осадок. Для восстановления каталитических свойств фильтрующего материала производят регенерацию, которая включает в себя четыре стадии: обратную промывку, пропуск раствора перманганата калия, медленную промывку и быструю промывку. При обратной промывке объем фильтрующего материала промывается снизу вверх. Фильтрующий слой при этом разрыхляется и очищается от выпавшего в осадок железа. Далее необходимый для регенерации рассол засасывается через клапан из отдельного резервуара для раствора перманганата калия и подается в направлении сверху вниз через объем фильтрующего материала, таким образом восстанавливаются каталитические свойства фильтрующего слоя. При медленной промывке водой в направлении сверху вниз фильтрующий материал отмывается от избытка перманганата калия. Процесс быстрой промывки реализовывает эффективное

промывание фильтрующего материала в направлении сверху вниз и в результате этого надежное отмывание от солевых остатков.

Умягчение воды на установках марки ФС осуществляется методом натрий-катионирования при фильтровании воды через слой ионообменной смолы. Используются сильнокислотные катионообменные смолы. Применение данной установки обеспечивает качество умягченной воды по общей жесткости не более $0,1 \text{ мг} \cdot \text{экв./л.}$

Катионированием называется процесс обмена катионов Na^+ между веществами, растворенными в воде, и твердым нерастворимым веществом, погруженным в эту воду и называемым катионитом. Катион, который отдает катионит в раствор взамен поглощаемых катионов, называется обменным. Свойства катионитов таковы, что в их состав могут быть введены разные обменные катионы (натрий, водород и аммоний). При натрий-катионировании обменным катионом является катион натрия. При фильтровании жесткой воды через слой Na^+ -катионита происходит обмен катионов Na^+ на кальций и магний. При натрий-катионировании изменяется только катионный состав обрабатываемой воды. Присутствующие в ней анионы HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- и другие переходят в умягченную воду. Следовательно, щелочность обрабатываемой воды не уменьшается, а сухой остаток несколько возрастает. После замены всех обменных катионов натрия катионами кальция и магния катионит истощается, т. е. теряет способность умягчать воду. В связи с этим можно отметить, что свежий катионит обладает некоторой емкостью по отношению к поглощаемым катионам, которая называется рабочей обменной емкостью и обозначается $E(f)$. Она измеряется количеством грамм-экв. катионов, поглощаемых 1 м^3 катионита ($\text{г} \cdot \text{экв./м}^3$). Для восстановления рабочей обменной емкости катионита необходимо удержанные катионитом катионы жесткости кальция и магния удалить из него и заменить обменным катионом натрия. Этот процесс называется регенерацией (восстановлением обменной емкости) катионита. Он производится раствором поваренной соли NaCl . Регенерация включает себя четыре операции: обратную промывку, пропуск раствора поваренной соли, медленную промывку и быструю промывку. В качестве фильтрующего материала установки умягчения используется ионообменная смола, которая представляет собой высокочистый катионит гелевого типа, обладающий полистиролдивинилбензольной матрицей. Она отличается высокой механической прочностью частиц, отличной химической и физической стабильностью, а также низким уровнем вымываемой из частиц органики.

Порядок выполнения работы

1. Включить блок управления установкой умягчения воды (рис. 9.1) в электрическую сеть, установить текущее время и запрограммировать периодичность регенераций.

2. Открыть вентиль В1 на трубопроводе подачи исходной воды примерно на 1/3. Вентиль В6 на трубопроводе умягченной воды должен быть закрыт. После того как из трубопровода сброса сточных вод от установки умягчения в канализацию пройдет плотная компактная струя без воздушных пузырей, полностью открыть вентиль на трубопроводе подачи исходной воды.

3. Поочередно открывая вентили В2, В3, В4 и В5, отобрать в колбы 100 мл исходной воды, пробы воды после механического фильтра, пробы воды после фильтра обезжелезивания и умягченной воды соответственно. По окончании умягчения вентиль В1 закрыть.

4. Произвести анализ отобранных проб воды, состоящей в определении общей жесткости, щелочности и общего железа.

5. Сравнить полученные значения с нормативными, сделать соответствующий вывод об эффективности работы установки.

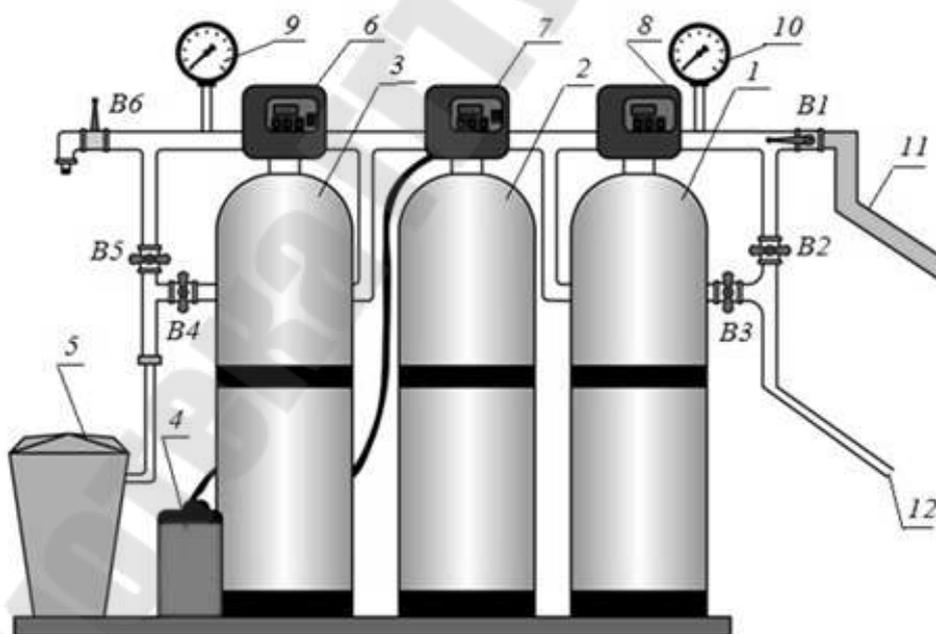


Рис. 9.1. Схема установки умягчения воды:

- 1 – механический фильтр; 2 – фильтр обезжелезивания;
- 3 – Na-катионитный фильтр; 4 – реакгентный бак с раствором перманганата калия; 5 – бак-солеорастворитель; 6–8 – управляющие клапаны; 9, 10 – манометры; 11 – вход воды; 12 – дренаж;
- В1–В6 – вентили

Результаты испытаний и вычислений свести в таблицу.

Таблица 9.1

Результаты анализов проб воды, мг · экв./л

Показатель	Исходная вода	Вода после механического фильтра	Вода после фильтра обезжелезивания	Умягченная вода
Общая жесткость J_o				
Общая щелочность $Щ_o$				
Общее железо				

Контрольные вопросы

1. Области применения установки умягчения.
2. Конструкция и принцип работы механического фильтра.
3. Обезжелезивание воды методом каталитического окисления.
4. Сущность метода Na-катионирования.
5. Фильтрующие материалы.
6. Регенерация механического фильтра, фильтра обезжелезивания и Na-катионитного фильтра.
7. Достоинства и недостатки ионообменного метода очистки воды.

Лабораторная работа № 10 О) ИСТКАЯ ВОДА МЕТОДОМ ОБРАТНОГО ОСМОСА

Цель работы: закрепить теоретические знания по очистке воды методом обратного осмоса; изучить устройство и принцип действия установки обратного осмоса; произвести определение жесткости и щелочности анализируемых проб воды.

Теоретическая часть

Принцип обратного осмоса (рис. 10.1) основан на явлении *осмоса* – самопроизвольного перехода растворителя через полупроницаемую мембрану в раствор. Вода, прошедшая обратный осмос, может использоваться для паровых котельных. Установка обратного осмоса обеспечивает качество подготовленной воды по всем параметрам, так как

в среднем степень удаления растворенных солей составляет 95–99 % от исходного состава, при этом из воды удаляются нитраты, натрий, силикаты, гидрокарбонаты и др.

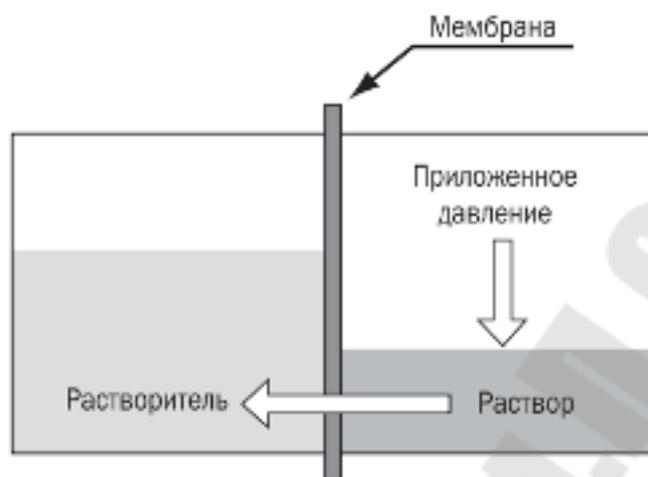


Рис. 10.1. Принцип обратного осмоса

Процесс работы фильтра для воды с установкой системы обратного осмоса (рис. 10.2) включает следующие этапы:

- 1) предочистку воды;
- 2) пропуск воды через мембрану обратного осмоса;
- 3) накопитель очищенной воды;
- 4) финишную очистку воды.

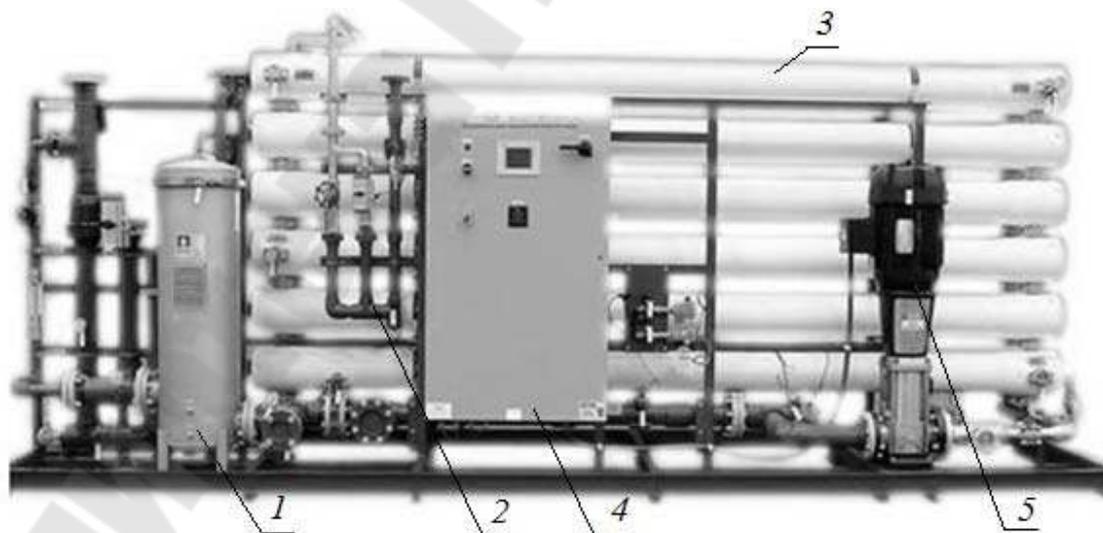


Рис. 10.2. Система очистки воды обратным осмосом:
1 – фильтр механический предварительной очистки 1–5 мкм;
2 – трубная обвязка; 3 – мембранные элементы; 4 – шкаф управления с контроллером; 5 – станция для дозирования метабисульфита натрия и нейтрализации хлора

Для обеспечения длительной безотказной работы установок обратного осмоса необходимо предусмотреть *предварительную подготовку воды*, поступающей на вход установок: очистка воды от железа, нефтепродуктов, взвешенных частиц, солей жесткости, активного хлора. В противном случае произойдет необратимое засорение мембран осадками солей жесткости, взвешенными частицами и другими загрязнениями. Самым дорогостоящим сменным элементом системы является обратноосмотическая мембрана. Срок ее службы напрямую зависит от качества воды поступающей в систему фильтрации. На этапе предочистки используются три фильтра, их задача подготовить воду перед ее прохождением через мембрану обратного осмоса. Первый механический пятимикронный полипропиленовый фильтр очищает воду от нерастворенных частиц размером не менее 0,5 микрон, удаляет ржавчину, песок и другие механические примеси. Далее угольный фильтр очищают воду от химических и органических примесей, в первую очередь от хлора и его соединений, а также пестицидов, нефтепродуктов, тяжелых металлов, растворенного железа и иных органических и неорганических веществ. Последний одномикронный механический фильтр удаляет механические примеси размером менее 1 микрона.

Основные требования к подаваемой на установку обратного осмоса воде:

- жесткость: менее 0.18 мг · экв./л;
- содержание железа: менее 0,1 мг/л;
- содержание взвешенных частиц: менее 0,5 мг/л;
- содержание свободного хлора: менее 0,01 мг/л;

После предварительного этапа очистки вода попадает в корпус установки обратного осмоса с мембранными элементами (рис. 10.3). Непосредственно через мембрану проходит, как правило, только чистая вода. А органические, ионные, бактериальные и коллоидные загрязнения удаляются вместе с концентрированным раствором. Другими словами, в системе на выходе всегда образуются два непрерывных потока: очищенная вода (пермеат) и концентрат.

Очищение воды происходит при фильтровании через одну или несколько искусственных пористых мембран, изготовленных из синтетических материалов скрученных рулоном. Размер пор в мембране составляет 0,0001 микрон, соответственно, через мембрану обратного осмоса проходят только молекулы воды. Давление исходной воды, при котором начинает наблюдаться явление обратного осмоса, называется *осмотическое давление*.

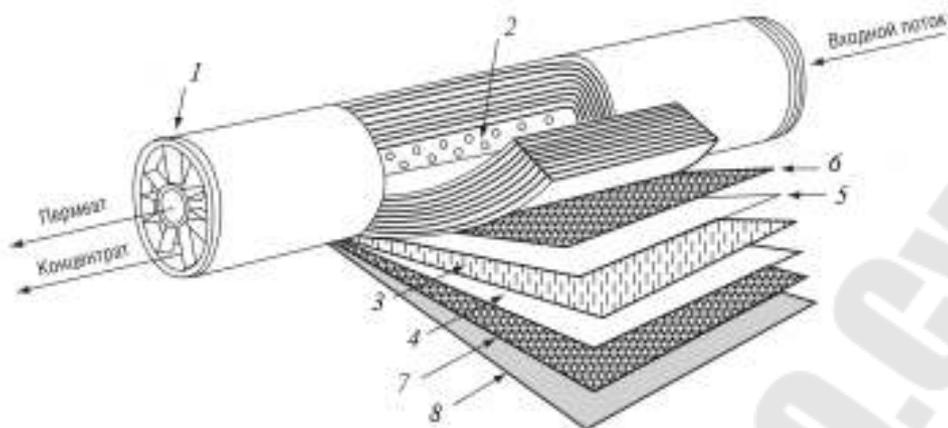


Рис. 10.3. Обратносмотическая мембрана:

- 1 – антителископическое устройство; 2 – перфорированная центральная трубка; 3 – пермеатоотводящий материал; 4, 5 – мембрана; 6, 7 – сепарационная сетка; 8 – внешнее покрытие

Отфильтрованная вода накапливается в *накопительном баке*. По мере того как используется чистая вода, фильтр автоматически добавляет новую порцию отфильтрованной воды в бак. Внутри бак делится на две камеры силиконовой мембраной. В нижнюю камеру закачан под давлением воздух, благодаря этому, по мере уменьшения в верхней камере воды, силиконовая мембрана раздувается и в баке поддерживается давление до полного слива воды.

Постфильтр служит дополнительной гарантией чистоты полученной воды, которая поступает из бака непосредственно к потребителю.

Преимущества систем обратного осмоса перед ионообменными технологиями:

- очень высокое качество получаемой воды;
- обессоленная вода без применения химических реагентов;
- удаляет ионные, органические, коллоидные и бактериальные загрязнения;
- низкие эксплуатационные расходы;
- не требует утилизации стока;
- нет простоя на регенерацию;
- электронный контроль качества продукта;
- компактная конструкция.

Недостатки промышленного обратного осмоса:

- необходима тщательная предподготовка воды;
- большие капитальные затраты;
- вода на выходе деминерализована, без солей, необходимых для человека, безвкусна.

Практическая часть

Провести испытания на бытовой установке обратного осмоса (рис. 10.4) и результаты свести в таблицу.

Показатель	Исходная вода	Очищенная вода
Общая жесткость J_0		
Общая щелочность $Щ_0$		

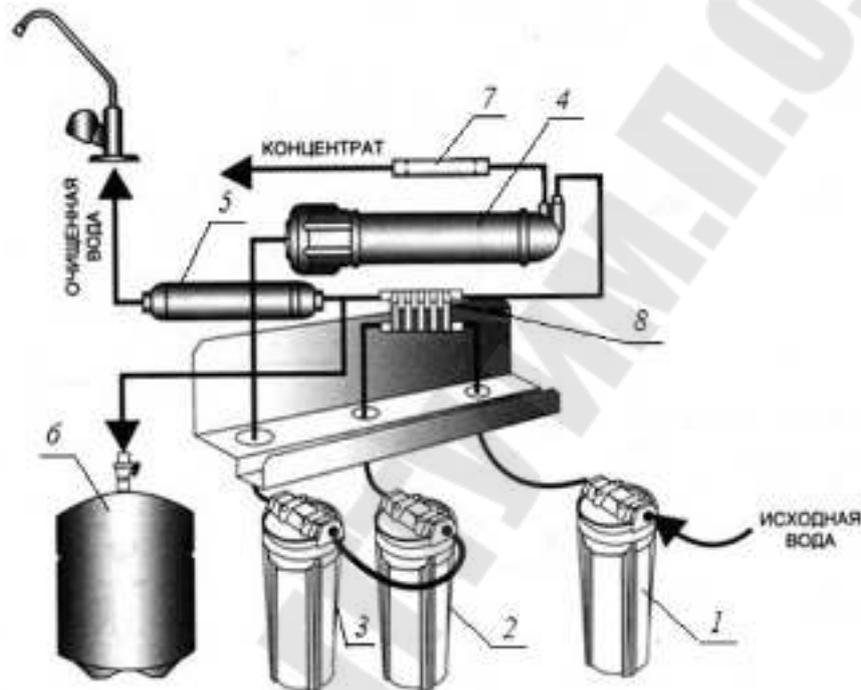


Рис. 10.4. Схема бытовой системы обратного осмоса:

- 1 – механический фильтр первичной очистки; 2 – угольный фильтр;
3 – одномикронный механический фильтр; 4 – обратноосмотическая мембрана; 5 – угольный пост-фильтр; 6 – накопительный бак;
7 – ограничитель потока; 8 – автоматический запорный клапан

Контрольные вопросы

1. Принцип обратного осмоса.
2. Этапы работы установки обратного осмоса.
3. Требования, предъявляемые к качеству воды, подаваемой в систему обратного осмоса.
4. Что собой представляют обратноосмотические мембраны?
5. Преимущества и недостатки систем обратного осмоса.

Литература

1. Водоподготовка : справочник / под ред. С. Е. Беликова. – М. : Аква-Терм, 2007. – 240 с.
2. Белан, Ф. И. Водоподготовка / Ф. И. Белан. – М. : Энергия, 1979.
3. Дойников, В. Б. В помощь персоналу по организации водного режима котлов и очистки их от накипи (в вопросах и ответах) / В. Б. Дойников, Ю. П. Прохнич. – Минск : БОИМ, 2001. – 186 с.
4. Лифшиц, О. В. Справочник по водоподготовке котельных установок малой мощности / О. В. Лифшиц. – М. : Энергия, 1973.
5. Овсянник, Н. В. Водоподготовка и водный режим котельных установок : лаборатор. практикум по одноим. курсу для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / Н. В. Овсянник, Е. Н. Волкова, Д. С. Трошев. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 43 с.
6. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов / М-во по чрезвычайн. ситуациям, Госпромнадзор. – Минск : Инженер. центр ОО «БОИМ», 2013. – 193 с.
7. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов с давлением пара не более 0,07 МПа (0,7 кгс/см²) и водогрейных котлов с температурой нагрева воды не выше 115 °С. – Минск : Энергопресс, 2014. – 103 с.

Приложение Я

Таблица П.1.1

Предельные значения соледержания котловой воды для промышленных котельных установок

Тип котла	Давление, МПа	Солесодержание, мг/кг		
		без ступенчатого испарения		при ступенчатом испарении (в солевом отсеке)
		с паропере- гревателем	без паропере- гревателя	
ДКВР	1,37	1500	3000	6000–10000*
ГМ-50-14/250	1,37	–	–	7350
БГМ-35М/440	3,92	–	–	5000
ГМ-50-1	3,92	–	–	5000
БКЗ-75-36	3,92	–	–	3000
ДЕ и КЕ	1,37	–	3000	–

Примечание. Больше значение относится к котлам с выносными циклонами.

Таблица П.1.2

Нормы качества питательной воды для промышленных котельных установок

Нормируемый показатель	Давление, МПа			Примечание
	до 1,4	до 2,4	до 4,0	
Общая жесткость, мкг · экв./л	20/15	15/10	10/5	В числителе указаны значения для котлов, работающих на твердом топливе с локальными тепловыми нагрузками поверхностей нагрева до 300 кВт/м ² , в знаменателе – для котлов, работающих на газообразном, жидком и твердом топливе с локальными нагрузками более 300 кВт/м ²
Взвешенные вещества, мг/кг	5	5	Не допускается	
Соединения железа, мкг/кг	Не нормируется/300	200/100	100/50	
Соединения меди, мкг/кг	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется/10	
Растворенный кислород, мкг/кг	50/30	50/20	30/20	
Свободная углекислота, мкг/кг	Не допускается	Не допускается	Не допускается	
Содержание СО ₂ , мкг/кг	Не нормируется	Не нормируется	20	
Содержание масел, мкг/кг	3	3	0,5	
Значение РН при t = 25 °С	8,5–9,5	8,5–9,5	–	

**Предельные нормы качества питательной воды
энергетических барабанных котлов**

Нормируемый показатель	Давление, МПа			Примечание
	до 4,0	4,0–10,0	выше 10,0	
Общая жесткость, мкг · экв./кг	5	3	1	На жидком топливе
	10	5	1	На других видах топлива
Содержание кремния (в пересчете на SiO ₂), мг/кг	–	70	40	ГРЭС и отопительные ТЭЦ
	–	По данным испытаний	120	ТЭЦ с производственным отбором пара
Содержание кислорода, мкг/кг	20	20	10	–
Содержание соединений железа, мкг/кг	100	50	20	На жидком топливе
	200	100	30	На других видах топлива
Содержание соединений меди, мкг/кг	10	10	5	На жидком топливе
	20	20	5	На других видах топлива
Содержание масел, мкг/кг	1	0,3	0,3	–
Содержание CO ₂ , мкг/кг	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	–
Содержание аммиака, мкг/кг	1000	1000	1000	–
Значение РН при $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$9,1 \pm 0,1$	$9,1 \pm 0,1$	$9,1 \pm 0,1$	–

Таблица П.1.4

Предельные нормы качества питательной воды прямоточных котлов сверхкритических параметров

Нормируемый показатель	Численное значение	Нормируемый показатель	Численное значение
Жесткость общая, мкг · экв./кг	0,2	Растворенный кислород	10
Соединения натрия в пересчете на Na, мкг/кг	5	Кремниевая кислота, мкг/кг	15
Соединения железа в пересчете на Fe, мкг/кг	10	Значение pH при $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	6,9... (9,1 \pm 0,1) (в зависимости от водного режима)
Соединения меди в пересчете на Cu, мкг/кг	5	Масло	Следы

Таблица П.1.5

Нормы качества воды для подпитки тепловых сетей

Нормируемый показатель	Содержание при подогреве воды, $^\circ\text{C}$		
	до 75	75–150	151–200
Остаточная общая жесткость при использовании продувочной воды (в закрытых системах теплоснабжения), мг · экв./кг	–	0,05	0,05
Карбонатная жесткость, мг · экв./кг	1,5	0,7	0,4
Свободная углекислота, мг/кг	Отсутствует	Отсутствует	–
Взвешенные вещества, мг/кг	5	5	5
Растворенный кислород, мг/кг	0,1	0,05	0,03
Значение pH при $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	6,5–8,5	6,5–8,5	
Масло, мг/кг	1	1	1

Примечание. При открытой системе теплоснабжения в сетях для горячего водоснабжения, кроме указанных требований, к воде предъявляются требования ГОСТ 2874–82 «Вода питьевая».

Содержание

Методические указания по выполнению и оформлению лабораторных работ	3
<i>Лабораторная работа № 1. Определение водородного показателя (рН) и солесодержания воды.....</i>	<i>5</i>
<i>Лабораторная работа № 2. Определение прозрачности и мутности воды</i>	<i>11</i>
<i>Лабораторная работа № 3. Определение щелочности воды.....</i>	<i>14</i>
<i>Лабораторная работа № 4. Определение жесткости воды.....</i>	<i>17</i>
<i>Лабораторная работа № 5. Определение содержания общего железа в воде</i>	<i>22</i>
<i>Лабораторная работа № 6. Дегазация технической воды. Определение содержания кислорода.....</i>	<i>26</i>
<i>Лабораторная работа № 7. Определение содержания нитратов и хлоридов в воде</i>	<i>32</i>
<i>Лабораторная работа № 8. Определение содержания фосфатов</i>	<i>36</i>
<i>Лабораторная работа № 9. Умягчение воды методом ионного обмена.....</i>	<i>39</i>
<i>Лабораторная работа № 10. Очистка воды методом обратного осмоса</i>	<i>43</i>
Литература	48
Приложение	49

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Овсянник Наталья Владимировна
Макеева Екатерина Николаевна
Степанишина Юлия Александровна

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНЫЙ РЕЖИМ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Практикум
по одноименному курсу для студентов
специальностей 1-43 01 05 «Промышленная
теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая
эксплуатация энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения

Электронный аналог печатного издания

Редактор
Компьютерная верстка

Н. Г. Мансурова
Н. Б. Козловская

Подписано в печать 25.02.16.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 3,42.

Изд. № 14.

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение
Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого.
Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя
печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48