

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

Водоподготовка и водный режим котельных установок

Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Водоподготовка и водный режим котельных установок» для студентов специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения

Витебск
2024

Составители:

А. С. Ковчур, В.И. Столяренко

Одобрено кафедрой «Теплоэнергетика» УО «ВГТУ»,
протокол № 3 от 11.10.2023.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским
советом УО «ВГТУ», протокол № 4 от 27.12.2023.

Водоподготовка и водный режим котельных установок: методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. А. С. Ковчур, В. И. Столяренко. – Витебск: УО «ВГТУ», 2024. – 37 с.

Методические указания по выполнению лабораторных работ содержат задания и методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Водоподготовка и водный режим котельных установок» для студентов специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения.

Издание в электронном виде расположено в репозитории библиотеки УО «ВГТУ».

УДК 621.311.22

© УО «ВГТУ», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторная работа 1 Определение водородного показателя (рН)	5
Лабораторная работа 2 Определение прозрачности воды	8
Лабораторная работа 3 Определение щелочности воды	11
Лабораторная работа 4 Определение жесткости воды	14
Лабораторная работа 5 Определение общего железа в воде.....	16
Лабораторная работа 6 Изучение схемы водоподготовки и дегазации воды	19
Лабораторная работа 7 Определение содержания кислорода	24
Лабораторная работа 8 Умягчение воды методом ионного обмена	26
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	31
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Охрана труда при проведении лабораторных занятий на участке водоподготовки котельной «южная»	32
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Нормы качества воды котельной «южная»	33
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Сн 4.02.04-2019 Требования к качеству сетевой и подпиточной воды системы теплоснабжения	35

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания содержат методику определения основных показателей качества воды в условиях процесса водоподготовки котельной действующего производственного предприятия. В результате выполнения лабораторных работ, обучающиеся освоят практические навыки лабораторного анализа технологических свойств воды на отдельных этапах водоподготовки производственной котельной.

При подготовке к лабораторной работе необходимо изучить соответствующие разделы теоретического курса дисциплины «Водоподготовка и водный режим котельных установок» по учебной литературе и лекционным записям. Важной частью подготовки являются ответы на вопросы для самостоятельной проверки знаний. Методика проведения лабораторных работ связана с оборудованием и реактивами, представляющими повышенную опасность, в связи с чем перед началом занятий обучающиеся обязаны изучить правила обеспечения личной безопасности при проведении работ (приложение А).

Выполнение работ начинается с изучения лабораторного оборудования. В ходе работы преподаватель индивидуально каждому обучающемуся определяет тип воды и методику проведения анализа. Экспериментальную часть лабораторных работ обучающиеся выполняют самостоятельно в соответствии с выданным заданием под контролем преподавателя и с соблюдением техники безопасности. Полученные данные необходимо проанализировать, выполнить расчеты и занести результаты работы в итоговую таблицу.

По результатам выполненной лабораторной работы каждый обучающийся составляет отчет о выполненной работе. Отчёт должен содержать: название, цель и методику проведения лабораторной работы, основные теоретические зависимости и расчетные формулы с числовыми примерами, анализ полученных результатов и заключение о выполненной работе. Отчет завершается выводом, включающим оценку степени достижения поставленных целей, методики проведения работы и результатов лабораторного исследования. При анализе результатов лабораторного исследования целесообразно оценить влияние качества исследуемой воды на работу теплоэнергетического оборудования (образование накипи, шлама, коррозии). При анализе качества воды рекомендовано пользоваться нормами качества воды, приведёнными в Инструкции по эксплуатации водоподготовки котельной «Южная»: руководство для персонала ХВО цеха №146 ОАО «Витязь», разработанной на основе ГОСТ 20995-75 «Котлы паровые стационарные давлением до 3,9 МПа. Показатели качества питательной воды и пара» и СН 4.02.04-2019 Строительные нормы Республики Беларусь (Котельные установки).

Лабораторная работа 1

Определение водородного показателя (рН)

Цель работы: определить значение рН исходной, осветленной и очищенной (подпиточной и питательной) воды.

Теоретическая часть

Величина рН – один из важнейших показателей качества воды для определения ее стабильности, накипеобразующих и коррозионных свойств, прогнозирования химических и биологических процессов, происходящих в природных и технологических водах.

Если рассматривать чистую воду без примесей, то физическая сущность показателя рН выглядит следующим образом. В воде происходит непрерывный обратимый процесс диссоциации молекул воды на ионы H^+ и гидроксильные ионы OH^- [1].



Одновременно диссоциирует весьма небольшое число молекул (около десятиmillionной части всех молекул). Однако в результате диссоциации в воде находится определенное равновесное число ионов водорода и гидроксильных ионов. Согласно закону действия масс в водных растворах, произведение активности ионов водорода и гидроксильной группы является величиной постоянной и называется ионным произведением воды [1]:

$$\alpha_{H^+} \cdot \alpha_{OH^-} = K_{H_2O} = 10^{-14} . \quad (1.2)$$

В чистой воде концентрация водородных ионов всегда равна концентрации гидроксильных ионов [1].

$$\alpha_{H^+} = \alpha_{OH^-} = 10^{-7} . \quad (1.3)$$

Величина рН определяется количественным соотношением в воде ионов H^+ и OH^- , образующихся при диссоциации воды. Так как оперировать числами с отрицательной степенью весьма неудобно, то концентрацию водородных ионов в воде принято выражать десятичным логарифмом этого числа, взятым с обратным знаком, и обозначить рН (от лат. pondus Hydrogenii – вес водорода). На практике вычисляется как отрицательный десятичный логарифм активности водородных ионов, выраженный в молях на литр [2]:

$$pH = -\lg[H^+] . \quad (1.4)$$

Следовательно, для абсолютно чистой воды рН=7.

При наличии в воде растворенных веществ указанное равенство нарушается. Если в воде растворено какое-либо вещество, являющееся источником ионов H^+ или OH^- (HCl , H_2SO_4 , $NaOH$), то концентрации H^+ или OH^- не будут равны, но их произведение будет постоянно [2].

$$K_{H_2O} = 10^{-14}. \quad (1.5)$$

При рН, меньшем 7, концентрация ионов водорода увеличивается, что свидетельствует о кислой реакции воды. Избыток ионов H^+ определяет кислотные свойства раствора, в то время как избыток ионов OH^- определяет основные свойства раствора [3].

Вывод: среди веществ, которые растворяются в воде можно выделить 2 главных класса: кислоты – вещества, которые при растворении в воде способны выделять ион водорода H^+ , основания – вещества, которые при растворении в воде забирают ион водорода и выделяют отрицательно заряженный гидроксил ион OH^- .

Контроль над уровнем рН особенно важен для системы водоочистки, так как его "уход" в ту или иную сторону может существенно повлиять на эффективность водоочистных мероприятий.

Очень часто показатель рН отождествляют с такими параметрами, как кислотность и щелочность воды. Важно понимать разницу между ними. Разница заключается в том, что рН – показатель интенсивности, но не количества, т. е. рН отражает степень кислотности или щелочности среды, в то время как кислотность и щелочность характеризуют количественное содержание в воде веществ, способных нейтрализовать соответственно щелочи или кислоты [2].

Оборудование и реактивы: лабораторная посуда и защитные принадлежности, универсальная индикаторная бумага (рН = 1-10); растворы индикаторов: фенолфталеина и метилоранжа; ионметр лабораторный И-160М.

Ход работы

1. Предварительно сполоснуть 2 раза мерный стакан объёмом 150–200 мл исследуемой водой, налить в него 100 мл заданной пробы воды.
2. Определить рН воды индикаторной бумагой. Универсальную индикаторную бумагу опустить в заданную пробу воды и сравнить ее окраску со шкалой эталонов, имеющейся в пакете для этой бумаги, определить рН воды.
3. Определить рН воды колориметрическим методом (индикатором по контрольной шкале образцов). Индикатор выбрать из таблицы 1.1 на основании информации о типе пробы воды, так чтобы при предполагаемом значении рН индикатор изменил окраску. Добавить 2–3 капли индикатора в 100 мл ранее приготовленной пробы воды и по окраске индикатора, используя контрольную шкалу индикаторов, определить величину рН.

Таблица 1.1 – Изменение окраски индикаторов в зависимости от рН

Индикаторы	Окраска индикатора при рН					
	<5	5–6	6–7	7–8	8–9	>9
Фенолфталеин	Бесцветная	Бесцветная	Бесцветная	Бесцветная	Слабо розовая	Ярко розовая
Метилоранж	Розовая	Оранжевая	Соломенная	Желтая	Желтая	Желтая

4. Определить рН заданной пробы воды с помощью иономера лабораторного И-160М.
5. Предварительно проверить калибровку прибора, для чего сполоснув мерный стакан 2 раза дистиллированной водой, налить в него 100 мл дистиллированной воды и поместить в данный образец нулевой пробы электроды прибора. Кнопками управления настроить прибор на величину рН = 7.
6. Предварительно сполоснув мерный стакан 2 раза исследуемой водой, налить в него 100 мл заданной пробы воды и поместить в него электроды прибора. Определить искомую величину рН воды.
7. Результаты опытов занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Величина уровня рН

Тип пробы	Индикаторная бумага	Колориметрический метод (индикатором)	рН-метр
Исходная вода			
Осветлённая вода			
Подпиточная вода			
Питательная вода			
Конденсат			

Контрольные вопросы

1. Дайте определение водородного показателя рН?
2. В чем отличие рН от показателя величины кислотности воды?
3. Чему равна концентрация ионов водорода чистой воды?
4. Дайте определение ионного произведения воды?

Лабораторная работа 2

Определение прозрачности воды

Цель работы: приобрести практические навыки определения прозрачности исходной, осветленной подпиточной и питательной воды в лабораторных условиях.

Теоретическая часть

Концентрация грубодисперсных (взвешенных) веществ (ГДВ) в воде может быть достаточно точно определена фильтрованием определенного объема воды через бумажный фильтр с последующим его высушиванием при $t = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы. Однако на практике предпочитают использовать экспресс-методы определения ГДВ по прозрачности воды [3].

Прозрачность – 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. Прозрачность столба пробы воды дает возможность приближенно оценить содержание в ней взвешенных веществ. Существуют несколько методов определения прозрачности воды [4].

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 не начнут размываться. Линейкой замеряют высоту столба воды в см [4].

Метод «по шрифту» применяется для оценки механических и химических примесей в лабораторных условиях. Под цилиндр высотой 60 см и диаметром 3–3,5 см подкладывают стандартный шрифт (Calibri, либо Times New Roman 14 пт), исследуемую пробу наливают в цилиндр до уровня, чтобы можно было еще прочесть шрифт, и определяют высоту столба воды [4].

Метод количественного определения прозрачности основан на определении высоты водяного столба, при которой еще можно визуально различить (прочесть) стандартный черный шрифт на белом фоне или увидеть юстировочную метку (например, черный крест с шириной линии 1 миллиметр на белой бумаге). Используемый метод является унифицированным и соответствует ИСО 7027 [4].

Прозрачность воды определяют также фотометрическим путем сравнения проб воды со стандартными суспензиями. Результат измерений выражают в мг/дм^3 (мг/л) при использовании основной стандартной суспензии каолина (мутность по каолину) или в ЕМ/дм^3 (единицы мутности на $1\text{ дм}^3 = 1\text{ литр}$) при использовании основной стандартной суспензии формазина. Последнюю единицу измерения называют также Единица Мутности по Формазину (ЕМФ) или в зарубежной терминологии FTU (Formazine Turbidity Unit) $1\text{ FTU} = 1\text{ ЕМФ} = 1\text{ ЕМ/дм}^3$ [4].

Оборудование и реактивы: лабораторная посуда и защитные принадлежности, проволочное кольцо диаметром 1–1,5 см, ламинированный образец шрифта, стакан градуированный для определения прозрачности ($L = 60$ см, $d = 7$ см), шприц-дозатор с трубкой, экран светонепроницаемый.

Ход работы

1. Определить прозрачность заданной преподавателем пробы воды методом «**по шрифту**»: для чего поместить ламинированный образец стандартного шрифта на дно стакана и надеть на него темный экран. Установить четкую видимость шрифта, приподняв экран на 1–2 см.
2. Тщательно перемешать заданную пробу воды и залить ее в стакан до отметки 60 см. С помощью шприца с трубкой понижать уровень водяного столба до тех пор, пока шрифт не станет четко видимым (читаемым).
3. Снять экран и определить по делениям на стакане высоту водяного столба с точностью до 1 см.
4. Определить прозрачность заданной преподавателем пробы воды методом «**кольца**». Поместить кольцо на дно стакана, надеть на него темный экран. Установить четкую видимость кольца приподняв экран на 1–2 см.
5. Перемешать заданную пробу и залить в стакан до отметки 60 см. Отбирать воду из стакана шприцом с трубкой до тех пор, пока не станут четко видимыми контуры кольца.
6. Снять экран и по делениям на стакане определить высоту водяного столба с точностью до 1 см.
7. В соответствии с таблицей 2.1, сделать вывод о качестве воды по показателю прозрачности.

Таблица 2.1 – Характеристика качества воды по показателю прозрачности

Качества воды по показателю прозрачности	Высота столба, см
Прозрачная	Более 30
Маломутная	25–30
Средней мутности	20–25
Мутная	10–20
Очень мутная	Менее 10

8. По градуированному графику (рис. 2.1), определить мутность воды в по формазину и каолину.

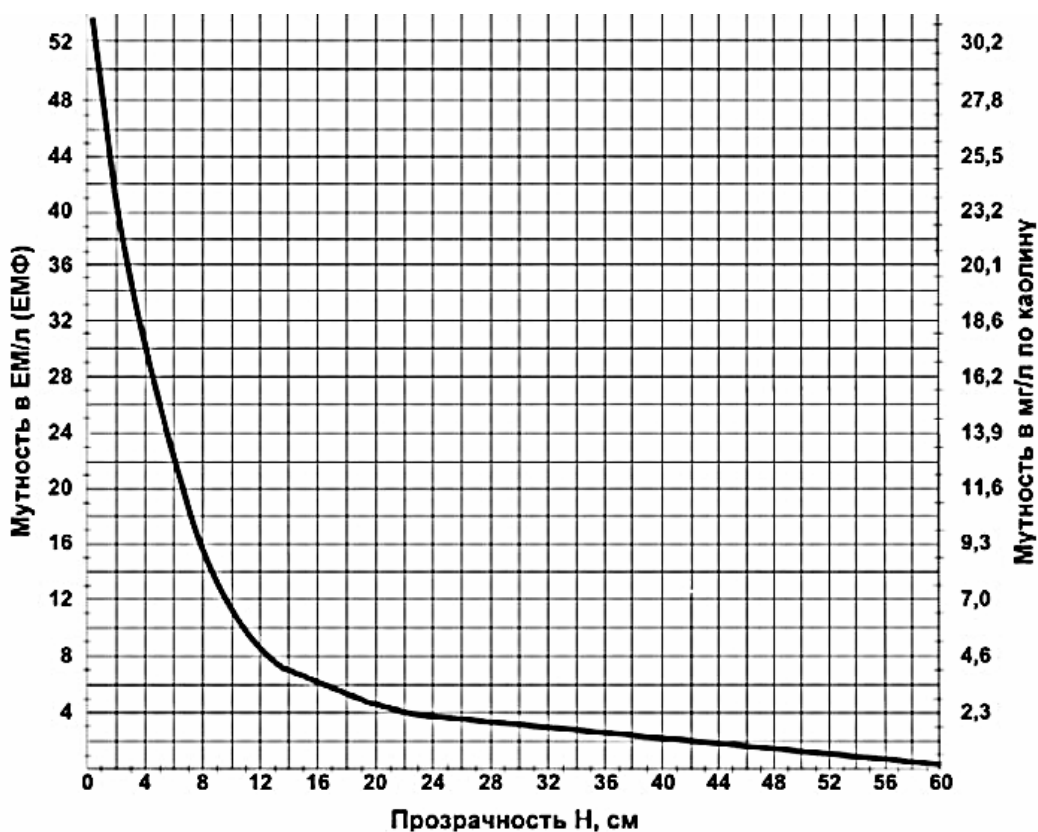


Рисунок 2.1 – Градуированный график определения прозрачности воды

9. Результаты внести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты определения прозрачности воды

Характеристика качества воды	Значение
Тип пробы	
Высота столба воды, см	
Прозрачность по таблице 2.1	
Мутность по каолину, (мг/л)	
Мутность по формазину, (ЕМ/л)	

Контрольные вопросы

1. Дайте определение прозрачности воды.
2. Приведите краткое описание методов определения прозрачности воды.
3. Назовите единицы измерения прозрачности воды.
4. Назовите показатель качества воды, связанный с прозрачностью.

Лабораторная работа 3

Определение щелочности воды

Цель работы: закрепить теоретические знания о щелочности воды и приобрести навыки определения общей щелочности: исходной воды, осветленной воды, подпиточной воды, питательной воды и конденсата.

Теоретическая часть

Общей щелочностью воды $Щ_o$ называется выраженная в мг-экв/л или мкг-экв/л суммарная концентрация содержащихся в воде анионов слабых кислот OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , PO_2^- , HSiO_3^- , SiO_3^- , некоторых слабых органических кислот (гуматов) и гидроксильных ионов OH^- . Общую щелочность часто называют буферной емкостью воды, имея в виду способность последней нейтрализовать коррозионное воздействие кислот.

Различают щелочность: гидратную, карбонатную, бикарбонатную, фосфатную, силикатную, гуматную и др., следовательно, общая щелочность [2]:

$$Щ_o = Щ_{\text{бк}} + Щ_{\text{к}} + Щ_{\text{с}} + Щ_{\text{е}} + Щ_{\text{ф}}. \quad (3.1)$$

1 мг-экв/л щелочности воды соответствует содержанию 40,01 мг/л NaOH (гидроксида натрия) или 53 мг/л Na_2CO_3 (карбоната натрия), или 84,02 мг/л NaHCO_3 (гидрокарбоната натрия) [2].

В практике эксплуатации котельных установок и в нормативных требованиях к качеству котельной воды используется так называемая относительная щелочность, определяемая по формуле [1]:

$$Щ_{\text{отн}} = \frac{Щ_o \cdot 40}{S_{\text{кв}}} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

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

Обычно в природных водах бикарбонатная щелочность существенно преобладает над другими видами щелочности, поэтому ее значение с небольшой погрешностью выражает щелочность общую. В редких случаях при $\text{pH} > 8,5$ возникает гидратная щелочность [1].

$$Щ_o \approx Щ_{\text{бк}}. \quad (3.3)$$

Определение щелочности воды основано на титровании растворенных в воде щелочных соединений кислотой в присутствии индикаторов, меняющих свою окраску в зависимости от реакции среды [1].

Общая щелочность воды при титровании 0,1 н раствором кислоты, мг-экв/л рассчитывается по формуле [1]:

$$Щ_o = \frac{0,1 \cdot a \cdot 1000 \cdot k}{V}, \quad (3.4)$$

где a – расход 0,1 н кислоты, мл; 0,1 – содержание кислоты в 1 мл 0,1 н раствора кислоты, мг-экв/л; k – коэффициент децинормальности кислоты (децинормальный раствор – это 10 % от нормального раствора, для 0,1 н раствора кислоты $k = 1$); V – объем воды, взятый для определения, мл.

При титровании 0,01 н раствором кислоты общая щелочность равна:

$$Щ_o = \frac{0,01 \cdot a \cdot k \cdot 1000}{V}. \quad (3.5)$$

Оборудование и 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, лабораторная посуда и защитные принадлежности.

Ход работы

1. Для осветленной, умягченной (питательной и подпиточной) или исходной воды. Налить 100 мл заданной пробы воды в коническую колбу вместимостью 250 мл, добавить две-три капли (1%-го) спиртового раствора фенолфталеина и при появлении красного окрашивания (что указывает на наличие в воде гидратных ионов OH^-) титровать 0,1 н раствором соляной кислоты до обесцвечивания. Титрование следует вести при интенсивном и частом перемешивании воды, а кислоту прибавлять по каплям. Отметить расход кислоты. Ввести 3 капли (0,1%-го) метилоранжа и титровать до перехода окраски от желтой к оранжевой (не красной), вновь отметить расход кислоты общий, (т. е. с самого начала титрования). Данные занести в таблицу 3.1.
2. Если вода не окрасилась в красный или розовый цвет после добавления фенолфталеина (т. е. в воде отсутствуют ионы OH^-), ввести две капли раствора (0,1%-го) метилоранжа и титровать до перехода окраски от желтой к оранжевой.
3. Для определения щелочности конденсата повторить последовательность действий пунктов 2 и 3, используя для титрования 0,01 н раствор соляной кислоты.
4. Выполнить расчеты по формулам 3.4 и 3.5. Данные занести в таблицу 3.1.
5. Обозначить через Φ количество кислоты, израсходованной при титровании по фенолфталеину, а через M – по метилоранжу. По таблице 3.2 определить

вид щелочности и присутствие в воде ионов – OH^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} . Данные занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты измерений

Название пробы воды	Расход кислоты на титрование, мл			Вид щелочности и присутствие ионов OH^- , HCO_3^- , CO_3^{2-}
	по фенолфталеину	по метилоранжу	общий расход	
Исходная				
Осветленная				
Подпиточная				
Питательная				
Конденсат				

6. Сравнить полученные результаты с нормами качества воды. Нормы качества воды приведены в приложении Б или В. Сделать вывод о годности воды для использования в соответствии с ее назначением.

Таблица 3.2 – Данные для определения вида щелочности в зависимости от соотношения Φ и M

Соотношение Φ и M	Присутствуют ионы	Щелочность		
		гидратная	карбонатная	бикарбонатная
$M = \Phi$	OH^-	$M = \Phi$		
$M < 2\Phi$	OH^- и CO_3^{2-}	$2\Phi - M$	$2(\Phi - M)$	
$M = 2\Phi$	CO_3^{2-}		$M = 2\Phi$	
$M > 2\Phi$	CO_3^- и HCO_3^-		2Φ	$M - 2\Phi$
$\Phi = 0$	HCO_3^-			M

Контрольные вопросы

1. Дайте определение общей щелочности воды.
2. Перечислите индикаторы, применяемые для определения общей щелочности воды.
3. В чем суть метода титрования в присутствии индикаторов?
4. Что показывает щелочность по фенолфталеину и метилоранжу?

Лабораторная работа 4

Определение жесткости воды

Цель работы: закрепить теоретические знания о жесткости воды; приобрести навыки определения жесткости исходной, котловой, обработанной (подпиточной и питательной) воды и конденсата.

Теоретическая часть

Все двухвалентные катионы в той или иной степени влияют на жесткость. Однако на практике Fe, Mn, Sr оказывают на жесткость столь небольшое влияние, что ими пренебрегают. Поэтому понятие жесткости воды принято связывать с катионами Ca^{2+} , Mg^{2+} . Общей жесткостью воды называют суммарное содержание в ней катионов кальция и магния, выраженное в эквивалентных единицах (мг-экв/л или мкг-экв/л). Один миллиграмм-эквивалент жесткости соответствует содержанию 20,04 мг/л Ca^{2+} или 12,6 мг/л Mg^{2+} [2].

Карбонатная жесткость – часть общей жесткости, обусловленная растворенными в воде бикарбонатами и карбонатами кальция и магния, в основном $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. При нагревании или кипячении воды бикарбонаты переходят в нерастворимые карбонаты, выпадающие в осадок, при этом жесткая вода умягчается [2].

Некарбонатная жесткость – величина жесткости, равная разности общей и карбонатной жесткости, в основном обусловлена растворенными в воде CaSO_4 , CaCl_2 , CaSiO_3 , MgSO_4 , MgCl_2 , MgSiO_3 [2].

Общая жесткость воды $\mathcal{J}_{\text{общ}}$ выражается как сумма карбонатной и некарбонатной жесткости

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_k + \mathcal{J}_н . \quad (4.1)$$

Госстандартом в качестве единицы жесткости воды установлен моль на кубический метр (моль/м³). Один моль на кубический метр или 1 мг-экв/л жесткости воды соответствует содержанию в 1 л воды 20,04 мг иона кальция Ca^{2+} или 12,16 мг иона магния Mg^{2+} . Числовое значение жесткости, выраженное в молях на кубический метр, равно числовому значению жесткости, выраженному в миллиграмм-эквиваленте на литр (или кубический дециметр), т. е. 1 моль/м³ = 1 ммоль/л = 1 мг-экв/л = 1 мг-экв/дм³ [3].

Сущность трилометрического метода определения жесткости воды. Трилон-Б-динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты ($\text{Na}_2\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8 \times 2\text{H}_2\text{O}$ или $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_2(\text{COOH})_2 \times (\text{COONa})_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$) образует растворимые в воде внутрикомплексные соединения с катионами различных двух- и трехвалентных металлов. Эти комплексы обладают различной прочностью и получают при определенных для каждого катиона значениях pH. В качестве индикаторов при определении концентрации в воде катионов кальция и магния применяют хромоген черный или хром темно-синий. Данные

индикаторы с катионами Ca^{2+} и Mg^{2+} образуют окрашенные комплексные соединения. Прочность таких индикаторных комплексов значительно меньше, чем прочность комплексов катионов с трилоном Б. Поэтому добавление раствора трилона Б к окрашенному раствору, содержащему комплексы Ca^{2+} и Mg^{2+} с индикаторами, разрушает их, восстанавливая цвет свободного индикатора [1].

Трилонометрическое определение жесткости требует соблюдения определенного значения рН воды, лучше всего от 8,0 до 9,0. Для создания этих условий используют аммиачно-буферный раствор в количестве 5 мл раствора на 100 мл анализируемой пробы воды. Таким образом, если в раствор, содержащий катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , ввести индикатор, дающий непрочное окрашенное комплексное соединение с ионами этих металлов (винно-красный цвет пробы), то при добавлении трилона Б к такому окрашенному раствору в эквивалентной точке произойдет разрушение слабых индикаторных комплексов с образованием прочных комплексов Ca^{2+} и Mg^{2+} и восстановлением цвета свободного индикатора. При использовании индикатора хромогена черного цвет раствора станет синим, а при использовании хрома тёмно-синего – синева-сиреневым [4].

Оборудование и реактивы: аммиачно-буферная смесь рН 10 (раствор гидроксида аммония NH_4OH и хлорида аммония NH_4Cl), раствор трилона Б 0,1 н и 0,01 н концентрации, растворы индикаторов 0,5%-го хрома темно-синего или хромогена черного, раствор сульфида натрия 2%-й концентрации, лабораторная посуда и защитные принадлежности для персонала.

Ход работы

1. Залить 100 мл заданной преподавателем пробы воды в мерный стакан вместимостью 250 мл предварительно сполоснув его 2 раза заданной водой.

2. Для исходной, осветленной, подпиточной и питательной воды в пробу добавить 5 мл аммиачно-буферной смеси, 7–8 капель (0,5%-го) индикатора хром темно-синий и 0,1 н раствором трилона Б титровать пробу воды до перехода лилово-красной окраски в синюю.

3. Для конденсатных вод в пробу добавить 5 мл сернистого натрия (сульфида натрия) (2%-й раствор) и 5 мл аммиачно-буферной смеси. Добавить 7–8 капель индикатора 0,5%-й хром темно-синий и 0,01 н раствором трилона Б титровать пробу воды до перехода лилово-красной окраски в синюю.

4. Вычислить J_o жесткость общую в мг-экв/л по формуле:

$$J_o = \frac{a \cdot k \cdot N \cdot 1000}{V}, \quad (4.2)$$

где a – расход трилона Б, мл; k – коэффициент децинормальности раствора трилона Б, для 0,1 н раствора трилона Б $k = 1$; N – нормальность раствора трилона Б; V – объем взятой для анализа пробы воды, мл.

5. Результаты титрования занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты определения общей жесткости воды трилонометрическим методом

Название пробы воды	Объем пробы, мл	Объем раствора трилона Б, мл	Жесткость общая, мг-экв/л	Нормальность раствора трилона Б
Исходная				
Подпиточная				
Питательная				
Конденсат				

6. Сравнить полученные результаты с нормами качества воды. Нормы качества воды приведены в приложении Б или В. Сделать выводы о годности воды для использования в соответствии с ее назначением.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение жесткости воды.
2. Назовите единицы жесткости воды.
3. Из чего состоит общая жесткость воды?
4. С какой целью вводят аммиачно-буферный раствор при трилонометрическом определении общей жёсткости воды?

Лабораторная работа 5 Определение общего железа в воде

Цель работы: приобрести навыки определения содержания общего железа в обратной сетевой, подпиточной и питательной воде.

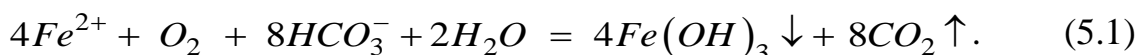
Теоретическая часть

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 железо накипных 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 [2].

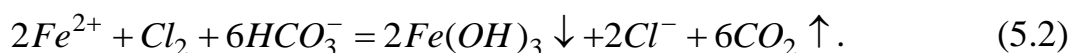
Железо может встречаться в природных водах в следующих видах: истинно растворённом виде (двухвалентное железо), нерастворённом виде (трёхвалентное железо), коллоидном состоянии или тонкодисперсной взвеси

(окрашенная желтовато-коричневая переливающаяся вода, осадок не выпадает даже при длительном отстаивании). Суммарную концентрацию в воде всех растворенных форм железа выражают показателем «железо общее» [2].

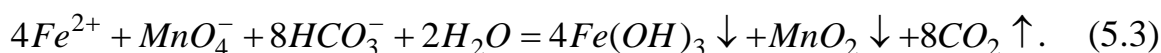
Методы удаления железа. Метод окисления железа путем упрощенной аэрации основан на способности воды, содержащей двухвалентное железо и растворенный кислород, при фильтровании через зернистый слой выделять железо на поверхности зерен, образуя каталитическую пленку из ионов и оксидов, двух и трехвалентного железа. Эта пленка, активно интенсифицирует процесс окисления и выделения железа из воды. По стехиометрии на окисление 1 мг железа (II) расходуется 0,143 мг растворенного в воде кислорода, щелочность воды при этом снижается на 0,036 мг-экв/л [3].



Реагентный метод обезжелезивания воды следует применять при низких значениях рН, высокой окисляемости, нестабильности воды. По стехиометрии на окисление 1 мг железа (II) расходуется 0,64 мг хлора; щелочность воды при этом снижается на 0,018 мг-экв/л. Реакция окисления протекает по следующему уравнению [3]:



При обработке воды перманганатом калия реакция окисления и последующего гидролиза протекает по уравнению [3]:



По стехиометрии на окислении 1 мг железа (II) расходуется 0,71 мг перманганата калия; щелочность воды при этом уменьшается на 0,036 мг-экв/л [3].

Оборудование и реактивы: лабораторная посуда и защитные принадлежности для персонала, шкаф сухо-тепловой Витязь ГП 80-400, шкаф вытяжной ШВ-02-МСК, колориметр фотоэлектрический концентрационный КФК-2. Необходимые реактивы: раствор сульфосалициловой кислоты (30%-й); раствор аммиака (10%-й), персульфат аммония кристаллический $(NH_4)_2S_2O_8$, концентрированная 27,5%-я соляная кислота HCl, дистиллированная вода.

Ход работы

1. Налить в мерный стакан вместимостью 250 мл, предварительно сполоснув его 2 раза исследуемой водой, 100 мл заданной пробы воды, добавить 1 грамм кристаллов пересульфата аммония и 3 мл соляной концентрированной кислоты, после чего выпарить пробу до 3 мл в сушильном шкафу.

2. Ввести пипетками-капельницами в выпаренную пробу 2 мл (30%-го) раствора сульфосалициловой кислоты и 8 мл (10%-го) раствора аммиака до перехода цвета из светло-розового до желтого. После чего закрыть пробирку пробкой, перемешать раствор и добавить дистиллированной воды до 50 мл. Оставить пробирку на 10 мин для полного протекания реакции.
3. Параллельно второй обучающийся готовит нулевую пробу. Предварительно сполоснув мерный стакан объемом 250 мл дистиллированной водой залить в него 50 мл дистиллированной воды, добавить 1 грамм кристаллов пересульфата аммония и 3 мл соляной концентрированной кислоты. Ввести пипетками-капельницами в пробирку 2 мл (30%-го) раствора сульфосалициловой кислоты и 8 мл (10%-го) раствора аммиака до перехода цвета из светло-розового в желтый. Закрыть пробирку пробкой, перемешать раствор и оставить пробирку на 10 мин для полного протекания реакции.
4. Включить прибор КФК-2 и откалибровать, для чего установить светофильтр (на основе априорных данных лаборатории рекомендуется светофильтр синий) и скорректировать установку «100», вместо светофильтра поместить кювету с нулевой пробой и скорректировать установку 0.
5. Заменить кювету с нулевой пробой на кювету с исследуемым раствором. Снять показания оптической плотности опытного раствора (A_x) 3 раза и записать среднее значение.
6. Используя график, находящийся в лаборатории на рабочем месте, найти значение оптической плотности пробы воды A_x на оси ординат, а затем на оси абсцисс – соответствующее ей значение концентрации C_x .
7. Результат занести в таблицу 5.1. Сделать выводы о годности воды в соответствии с типом отобранной пробы. Нормы годности приведены в приложении Б или В.

Таблица 5.1 – Концентрация железа мкг/л

Параметр	Обратная сетевая вода	Подпиточная вода	Питательная вода
Концентрация ионов железа в анализируемой воде в мкг/кг (мкг/л)			

Контрольные вопросы

1. Какое влияние оказывает растворенное в воде железо на оборудование котельной?
2. В каком виде железо встречается в природных водах?
3. Дайте определение показателя «общее железо».
4. Приведите основные методы обезжелезивания.

Лабораторная работа 6

Изучение схемы водоподготовки и дегазации воды

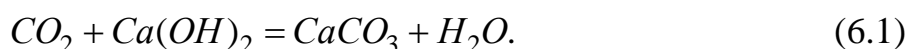
Цель работы: изучить схему водоподготовки и дегазации котельной, принцип действия деаэраторов и их характеристики.

Теоретическая часть

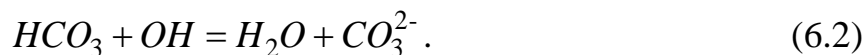
Описание технологического процесса водоподготовки и дегазации воды котельной «Южная».

Водоподготовка котельной предназначена для получения воды, для питания котлов ГМ-50/14 и подпитки теплосети. Исходной водой является вода из реки Западная Двина. Исходная вода проходит первичную обработку на предочистке, где удаляются взвешенные и коллоидные примеси, частично снижаются органические вещества, свободная углекислота, гидрокарбонатный ион и карбонатный ион – до остаточного содержания 0,5–0,8 мг-экв/л, соединения железа менее 0,1 мг/л [5].

Далее вода проходит обработку на ионообменной части ВПУ. Вода, идущая на подпитку теплосети, проходит только через первую ступень, а на подпитку котлов проходит первую и вторую ступень натрий-катионирования. Конденсат пара, поступающий на ВПУ, очищается на механических и водород-катионитных фильтрах. Первой стадией очистки является осветление воды, включающее известкование, коагуляцию, и осаждение коллоидных примесей. При известковании воды происходят следующие процессы: из воды удаляется свободная углекислота, которая, связываясь с известью, образуется углекислый кальций CaCO_3 , выпадающий в осадок[5]:



При введении извести в большем количестве, чем это нужно для связывания свободной углекислоты, в воде повышается концентрация гидроксильных ионов, что ведет к превращению бикарбонат ионов в карбонат ионы по уравнению реакции [5]:

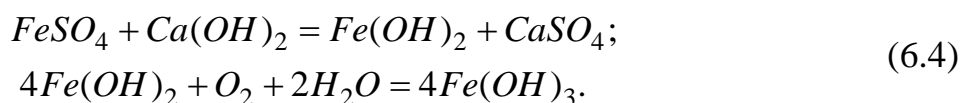


Карбонаты образуются с находящимися в воде с избытком ионами кальция [5]:



Концентрация известкового молока не более 2 %. Концентрация коагулянта для подачи в осветлитель 1,5 %. Контроль над работой осветлителя ведется по графику отбора проб, приведенному в приложении Б. В качестве

коагулянта используется железный купорос. При введении в воду железного купороса совместно с известью, происходит его гидролиз, т. е. окисление растворенным в воде кислородом с образованием гидроокиси железа по реакции [5]:



Коагулянт образует нерастворимый осадок, имеющий пористую поверхность. Если вместе с коллоидными веществами в воде имеются взвешенные грубодисперсные частицы (глина, ил, песок), образовавшиеся хлопья с коагулированных коллоидов обволакивают эти взвешенные частицы и вместе с ними выпадают в осадок. При добавлении флокулянта (полиакриламида) ПАА в воду, в которой уже возникли хлопья коагулянта или находится осаждаемая взвесь, происходит укрупнение и утяжеление хлопьев, что ускоряет их осаждение. Механический фильтр служит для удаления не осевших мелкодисперсных взвешенных примесей. Контроль за работой механического фильтра производить по показателям и графику отбора проб, приведенным в приложении Б [5].

Режим эксплуатации натрий-катионитных фильтров

Взрыхление. Вода для взрыхления подается в фильтр через нижнюю дренажную систему под давлением 0,2–0,25 мПа, вода проходит снизу-вверх через слой катионита и сбрасывается через верхний дренаж в канализацию до тех пор, пока не прекратится вынос загрязнений и мелких частиц катионита, и проба воды не станет прозрачной [5].

Регенерация. Регенерация фильтров I степени производится 6–8%-м раствором поваренной соли, фильтров II степени – 10–12%-м раствором соли [5].

Отмывка. Контроль над отмывкой фильтра производится по жесткости отмывочных вод. Фильтр 1-ой степени отмывают до жесткости 700–1000 мкг-экв/л. Фильтр 2-ой степени – до жесткости 10 мкг-экв/л [5].

Умягчение (рабочий цикл фильтра). Режимная карта работы фильтра представлена в таблице 6.1. Фильтры I степени останавливаются на регенерацию при достижении жесткости умягченной воды 700–1000 мкг-экв/л, фильтры II степени при жесткости 15 мкг-экв/л. Контроль над работой натрий-катионитовых фильтров ведется по показателям аналитического контроля, приведенного в приложении Б [5].

Эксплуатация конденсатоочистки. Установка конденсатоочистки предназначена для очистки конденсата, возвращаемого с производства и конденсата с мазутного хозяйства. Обезмазучивание конденсата производится на механических фильтрах и фильтре, загруженном активированным углем. Водород-катионитовые фильтры (4 шт.) предназначены для снижения жесткости конденсата и содержания в нем железа [5].

Таблица 6.1 – Режимная карта натрий-катионитных фильтров

Операция	Продолжительность, мин.	Скорость фильтрования, м/час	Расход на фильтре, м/час	Давление на фильтре, МПа	Перепад давления на фильтре, МПа
Фильтр 1 ступени					
Умягчение	≥ 8 час.	5–25	26–130	до 0,6	0,05–0,06
Взрыхление	30–45	8–12	40–60	1,15–0,2	не более 0,05
Регенерация	40–45	3–4	15–21	0,01–0,02	–
Отмывка а) в резервуары промстоков б) в бак оборотной воды	15	6–8	31–41	до 0,6	–
	15–25	6–8	31–41	до 0,6	–
Фильтр II ступени					
Умягчение	10–15 сут.	5–40	26–208	до 0,6	до 0,13
Взрыхление	30–45	8–12	40–60	0,2–0,25	0,05

Взрыхление. Взрыхление производится химочищенной водой с 1 ступени умягчения. Вода для взрыхления подается в фильтр через нижнюю дренажную систему под давлением 2 ати, вода проходит снизу-вверх через слой катионита и сбрасывается через верхний дренаж в канализацию до тех пор, пока не прекратится вынос загрязнений и мелких частиц угля, и проба воды не станет прозрачной [5].

Регенерация. Регенерация фильтров производится 3%-м раствором серной кислоты H_2SO_4 плотностью $1,83 \text{ кг/м}^3$ [5].

Отмывка. Контроль над отмывкой фильтра производится по жесткости смывочных вод. Отмывка заканчивается при жесткости 10 мкг-эquiv/л [5].

Водород-катионирование. Рабочий цикл фильтра приведен в таблице 6.2. При повышении жесткости до 10 мкг-эquiv/л фильтр останавливается на регенерацию. График аналитического контроля показателей фильтров представлен в приложении Б [5].

Таблица 6.2 – Режимная карта Н-катионитных фильтров

Операция	Продолжительность, мин	Скорость фильтрования, м ³ /час	Расход на фильтре, м ³ /час	Давление на фильтре, МПа	Перепад давления МПа
Н-катионирование	1440	5–30	4–23	до 0,6	до 0,13
Взрыхление	30–35	4	3–4	0,08–0,1	до 0,05
Регенерация	20–25	6–8	4–6	0,01–0,02	–
Отмывка	35–45	10	7–8	до 0,6	–

Дегазация. Далее вода следует на деаэратор, где происходит удаление из воды растворенных газов (дегазация) путем уменьшения парциального давления газа над поверхностью жидкости. Схема работы деаэратора атмосферного давления приведена на рисунке 6.1 [4].

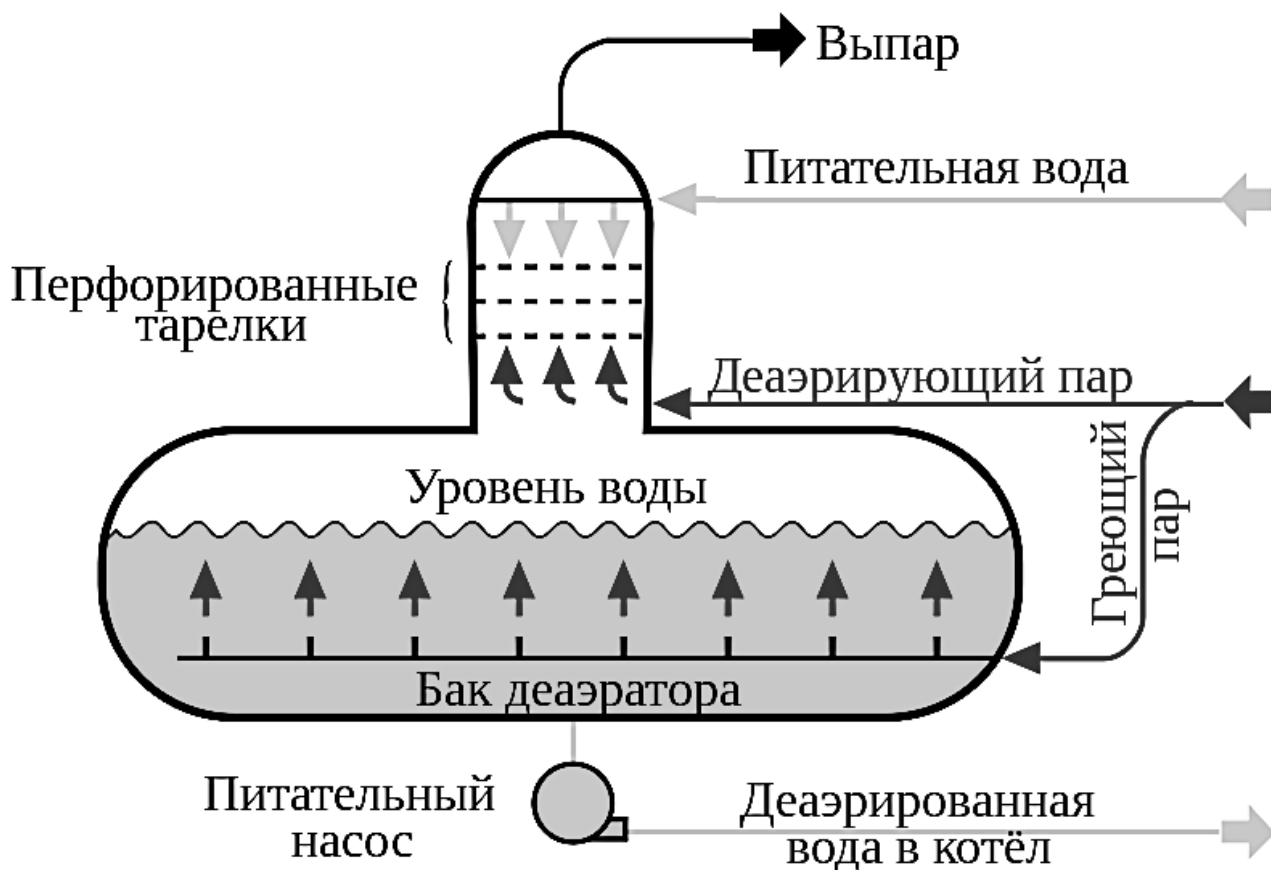


Рисунок 6.1 – Схема работы деаэратора атмосферного давления

Деаэрация питательной воды паровых котлов и подпиточной воды тепловых сетей является обязательной для всех котельных. Деаэрируемую воду, стекающую струйками, нагревают протекающим навстречу паром. Для обеспечения максимального температурного напора создают противоток пара и этими же средствами добиваются увеличения скорости десорбции газа из воды. Для достижения минимального парциального давления газа в пространстве над

водой осуществляют непрерывное удаление газов (с примесью паров) из рабочего пространства деаэратора через специальный штуцер для отвода выпара деаэратора [5].

Ход работы

1. Изучить технологический процесс водоподготовки и дегазации воды в котельной «Южная». Сделать вывод о типе схемы водоподготовки.
2. Начертить блок-схему участка водоподготовки котельной «Южная» (рис. 6.2), определить на участке водоподготовки точки отбора проб и отметить их на схеме.

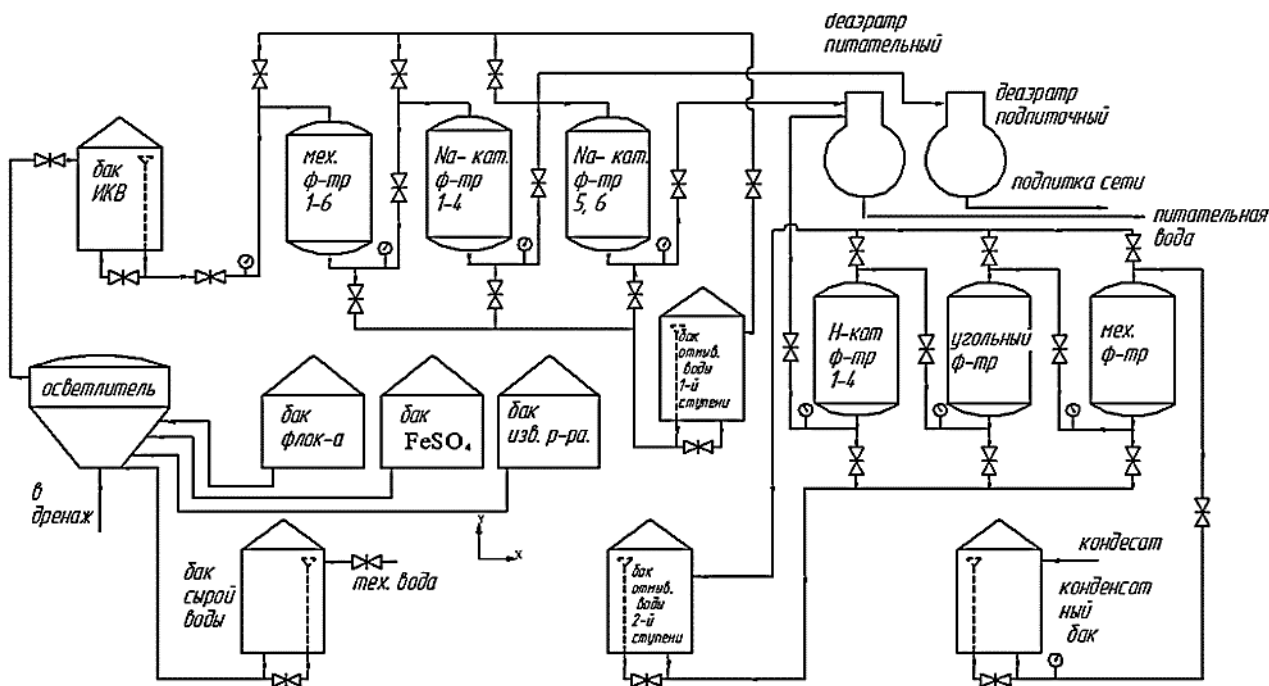


Рисунок 6.2 – Пример графического изображения схемы участка водоподготовки

3. Занести, на основании анализа данных журнала отбора проб участка водоподготовки, в сводную таблицу 6.3 данные реальных показателей качества воды в проботборных точках и требований, предъявляемых к качеству воды в проботборных точках (см. приложение Б).

Таблица 6.3 – Сводная таблица

Наименование проботборных точек	Нормируемый показатель	Единица измерения	Норма качества	График отбора проб	Показатель качества воды, мг-экв/л

4. Изучить принцип действия и устройство деаэраторов, используемых в котельной «Южная». В отчете указать тип деаэраторов, их количество, принцип действия, технические характеристики и привести схему их работы.
5. Сделать вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Перечислите этапы очистки воды в котельной «Южная».
2. Как происходит процесс регенерации фильтра?
3. Для чего установлен водородный фильтр в системе очистки конденсата?
4. Как происходит деаэрация воды?

Лабораторная работа 7

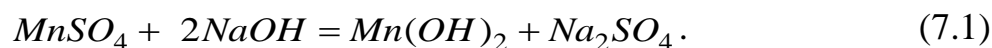
Определение содержания кислорода

Цель работы: определение концентрации кислорода в конденсате, котловой, подпиточной и питательной воде.

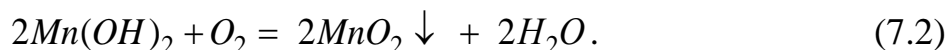
Теоретическая часть

Основной целью удаления из воды растворенных газов является предотвращение коррозии оборудования. Как правило, основной окислитель поверхностей оборудования котельной – это кислород. Кислород (O_2) – это самый распространенный на Земле элемент. Кислород – это сильный окислитель, взаимодействующий практически со всеми элементами таблицы Менделеева, образуя, при этом, оксиды. В пресной и морской воде содержится до 88 % по массе всего связанного кислорода планеты [2, 3].

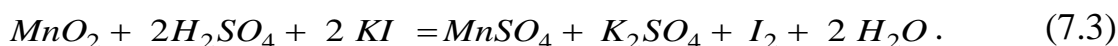
Определение концентрации растворенного кислорода, чаще всего, проводится по методу йодометрического титрования. Метод основан на использовании растворенного кислорода, содержащегося в определенном объеме воды, для окисления гидроксида марганца (II) в оксид марганца (IV). К исследуемой воде добавляют хлорид или сульфат марганца и гидроксид натрия для того, чтобы получить легко окисляющийся осадок гидроксида марганца (II) [1]:



Гидроксид марганца (II) окисляется кислородом в оксид марганца (IV) [1]:



Оксид марганца (IV) окисляет в кислой среде с образованием свободного иода в количестве, эквивалентном кислороду [1]:



Выделяющийся йод титруют раствором тиосульфата натрия в присутствии крахмала [1].



Предел обнаружения растворенного кислорода составляет 0,05 мг/дм³ [1].

Отметим, что, хотя метод йодометрического титрования и отнесен к стандартным химическим методам анализа растворов, но провести с помощью него оперативный анализ концентрации кислорода в полевых условиях затруднительно. Именно поэтому, для оперативного измерения концентрации растворенного кислорода в воде были разработаны анализаторы растворенного кислорода, или оксиметры. Принцип работы обычного анализатора растворенного кислорода основан на электрохимическом методе определения концентрации кислорода [1].

Определение содержания кислорода в воде по методике, реализуемой на промышленных котельных, основано на связывании растворенного кислорода восстановленной формой метилового голубого индикатора. Восстановленная форма метилового голубого индикатора прозрачная, при окислении за счет растворенного в воде кислорода меняет свою окраску до темно-синей. Концентрацию кислорода в воде можно определить визуально колориметрическим 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) [4].

Оборудование и реактивы: лабораторная посуда и защитные средства, склянка с пробкой; ведро для отбора проб, редуктор, пипетки, склянки; индикатор метиловый голубой 97%-й, (3,7-бисдиметиламинофенотиоцианит хлорид); 40%-й раствор глюкозы, глицерин суспензия, шприц-дозатор; трубка-сифон; стойка-штатив; контрольная шкала образцов окраски.

Ход работы

1. Приготовить раствор метилового голубого индикатора для чего взять: 250 мл 97%-го метилового голубого индикатора, 2,4 грамма глюкозы, 50 мл глицерина и дистиллированную воду. Заполнить дно колбы слоем глицерина. Залить ингредиенты: метиловый голубой индикатор, глюкозу и довести объем раствора до 1 литра, добавляя дистиллированную воду.
2. Отобрать заданную пробу воды из пробоотборной точки, через шланг со стеклянным наконечником в склянку, помещенную в специальное ведро для отбора проб диаметром 120 мм и высотой 200 мм, уровень воды в

ведерке должен быть выше уровня горлышка склянки на 40–50 мм. Температура воды должна быть не выше 40 °С.

3. Извлечь из склянки пробоотборный наконечник и ввести в нее из редуктора 1,5 мл раствора метиленового голубого индикатора, опуская наконечник редуктора в склянку на глубину 5–6 см под слоем воды (без доступа воздуха). Закрывать склянку пробкой под водой. Раствор в склянке перемешать интенсивным встряхиванием.
4. Извлечь пробу из ведерка и провести визуальное колориметрирование пробы сравнив окраску пробы воды с образцами окраски контрольной шкалы индикатора.
5. За результат анализа принять значение концентрации растворенного кислорода (мкг/кг), соответствующее ближайшему по окраске образцу на контрольной шкале. Результат записать в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Концентрация кислорода

Параметр	Конденсат	Котловая вода	Подпиточная вода	Питательная вода
Концентрация ионов железа в анализируемой воде в мкг/кг (мкг/л)				

6. Сделать вывод о годности воды для питания паровых котлов и для подпитки теплосети. Нормы годности приведены в приложении Б или В.

Контрольные вопросы

1. На чем основан метод йодометрического титрования?
2. Для чего удаляется кислород из питательной воды?
3. Какими методами определяется концентрация растворенного кислорода в технической воде?
4. На чем основан принцип работы оксиметра?

Лабораторная работа 8 Умягчение воды методом ионного обмена

Цель работы: закрепить теоретические знания по умягчению воды методом ионного обмена, научиться анализировать результаты контрольных замеров качества воды и определять причину отклонения параметров качества воды.

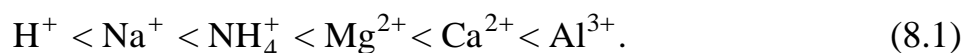
Теоретическая часть

Обработка воды методом ионного обмена принципиально отличается от обработки воды методами осаждения тем, что удаляемые из нее примеси не образуют осадка, требующего постоянного удаления, и тем, что такая

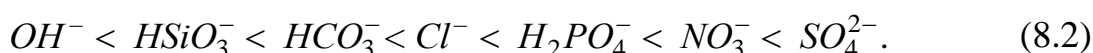
обработка не требует непрерывного дозирования реагентов. Метод ионного обмена основан на использовании специальных ионообменных материалов – ионитов [3].

Сущность ионного обмена заключается в использовании способности некоторых специальных материалов (ионитов), изменять в желаемом направлении, ионный состав примесей воды. При ионном обмене сорбция из раствора ионов одного вида обязательно сопровождается переходом ранее сорбированных ионов другого вида в раствор. Таким образом, при ионном обмене ионы одного вида заменяются ионами другого вида. В основе этих материалов лежит каркас (матрица), несущий положительный или отрицательный заряд, и подвижный противоион, заряд которого компенсирует заряд матрицы. Подвижный противоион способен извлечь из раствора ион такого же заряда и обменяться с ним, изменяя в желаемом направлении ионный состав воды [1, 3, 4]

Реакции ионного обмена подчиняются правилам, характерным для реакций электролитов – эквивалентности обмена ионов и обратимости этого процесса. Таким образом, ионный обмен представляет собой процесс стехиометрический, и на каждый эквивалент одного иона, поглощаемого из раствора, ионит отдает в раствор один эквивалент другого иона того же знака. Важную роль в технологии ионного обмена играет также селективность – способность ионита к преимущественной адсорбции одних видов ионов по сравнению с другими. Для катионов на сильнокислотном катионите ряд селективности выглядит следующим образом [4]:



Ниже представлен ряд селективности для анионов на высокоосновном анионите:



Катионирование – удаление из воды катионов. В зависимости от обменного иона процессы получили название: натрий-катионирование (обменный катион Na^+); водород-катионирование (обменный катион H^+); аммоний-катионирование (обменный катион NH_4^+). Принятые обозначения: HR , NaR , NH_4R , где R – комплекс матрицы и функциональной группы. Анионирование – удаление из воды анионов. Обменными анионами при анионировании являются анионы OH^- и Cl^- . Обозначения процессов ROH , RCl .

Полный цикл работы фильтра натрий-катионитового фильтра состоит из следующих процессов [3]:

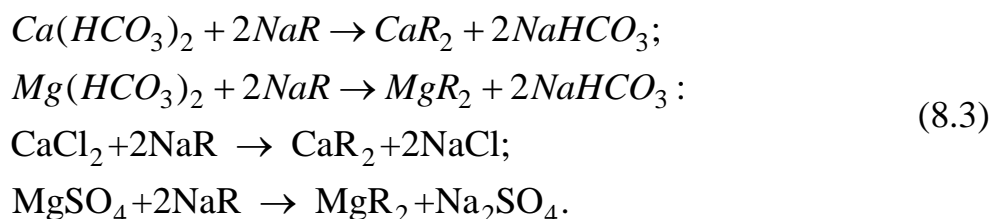
- умягчение воды;
- взрыхление слоя катионита;
- пропуск регенерационного раствора (10%-й раствор NaCl);
- отмывка катионита.

При натрий-катионировании изменяется только катионный состав воды. Присутствующие в ней анионы переходят в умягченную воду. Следовательно, щелочность обрабатываемой воды не уменьшается, а сухой остаток несколько возрастает [3].

Достоинства: высокое качество очистки и умягчения воды, простота эксплуатации и обслуживания.

Недостатки: высокие расходы на восстановление химических реагентов, необходимость правильной утилизации использованных реагентов.

Процесс умягчения воды происходит по следующим реакциям обмена [4]:

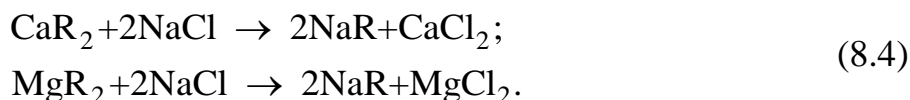


По мере пропуска воды через фильтр происходит ее умягчение, т. е. катионы жесткости Ca^{2+} и Mg^{2+} замещаются на натрий ионы. Остаточная жесткость воды при умягчении ее методами катионного обмена обычно составляет 0,015–0,020 мг-экв/л, (15–12 мкг-экв/л). Со временем слой катионита истощается и начинается пропуск катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в фильтрат. В технологии водоподготовки обычно не допускается остаточная жесткость воды свыше 0,05 мг-экв/л. Когда концентрация катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в фильтрате становится равной 0,05 мг-экв/л, фильтр отключают на регенерацию. Для восстановления рабочей обменной емкости катионита из него необходимо извлечь задержанные катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , заменив их обменными катионами Na^+ [4].

Процесс регенерации состоит из трех этапов: взрыхление, пропуск регенерационного раствора, отмывка катионита. Процесс регенерации фильтра.

Взрыхление катионита необходимо для устранения слежавшихся слоев и удаления из него механических загрязнений. При взрыхлении воду подают на фильтр снизу-вверх. Скорость подачи воды увеличивают постепенно, так, чтобы весь катионит пришел во взвешенное состояние, исключая выброс его из фильтра. Процесс взрыхления занимает около 10 мин [4].

После окончания процесса взрыхления переходят к процессу пропуска регенерационного раствора: в данном случае 10%-го раствора NaCl . Вследствие относительно высокой концентрации катионов Na^+ в регенерационном растворе поглощенные ранее катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} из диффузионного слоя катионита начинают переходить в раствор, а их место в диффузионном слое занимают катиониты Na^+ согласно следующим реакциям [4]:



Далее определяют необходимый приготовленный объем 10%-го раствора NaCl, пропускают через фильтр сверху вниз.

Отмывка катионита. Данный процесс имеет целью удалить из слоя катионита продукты регенерации CaCl₂ и MgCl₂, а также избыток поваренной соли NaCl. Отмывку производят умягченной водой, полученной в процессе умягчения, подавая ее сверху вниз. Через некоторое время после начала отмывки (примерно через 5–10 минут) отбирают пробы воды и проверяют на жесткость. Отмывку производят до значения жесткости около 10 мкг-экв/л. [4].

Ход работы

1. Изучить и кратко изложить в отчете полный цикл Na-катионитного фильтра.
2. Выписать в таблицу 8.1 показатели жесткости и щелочности воды из журнала контрольных проб натрий-катионитных фильтров первой степени за полный цикл обработки между регенерациями, начав с момента времени сразу после регенерации фильтра.
3. Записать в таблицу 8.1 периодичность отбора проб и требования к качеству воды на данном этапе водоподготовки в соответствии с технологическим процессом котельной «Южная» (см. приложение Б).
4. Выписать время и значение пиковых значений параметров жесткости и щелочности воды (максимальных и минимальных) из таблицы 8.1 в таблицу 8.2.
5. Сравнить значения пиковых значений параметров жесткости и щелочности воды с нормативными, сделать выводы о годности воды в период пикового значения параметра.

Таблица 8.1 – Результаты анализа воды

Дата и время отбора проб	Общая жесткость J_o , мкг-экв/л	Норма качества J_o , мкг-экв/л	Общая щелочность $Ш_o$, мкг-экв/л	Норма качества $Ш_o$, мкг-экв/л	Периодичность отбора проб

Таблица 8.2 – Пиковые значения результатов анализа воды, мкг-экв/л

Показатель	Значение, мкг-экв/л	Время отбора проб	Ранг предельного состояния (пика)	Соответствие норме да, (нет)
Общая жесткость J_o			Максимум	
Общая щелочность $Ш_o$			Максимум	
Общая жесткость J_o			Минимум	
Общая щелочность $Ш_o$			Минимум	

5. Проанализировать причины возникновения пиковых значений жесткости и щелочности воды.
6. Сделать выводы о результатах работы натрий-катионитного фильтра и причинах возникновения пиковых значений жесткости и щелочности воды. Привести преимущества и недостатки схемы натрий-катионирования.

Контрольные вопросы

1. Что лежит в основе ионообменного способа умягчения воды?
2. Приведите основные отличия методов ионного обмена от методов осаждения.
3. Приведите основные достоинства и недостатки ионообменного метода очистки воды.
4. Является ли ионный обмен обратимой реакцией?

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС. Лабораторный практикум: учеб. пособие / В. А. Чиж [и др.]. – Минск: Выш. шк., 2012. – 159 с.
2. Белан, Ф. И. Водоподготовка: учебник / Ф. И. Белан. – 3-е изд., перераб. – Москва: Энергия, 1979. – 208 с.
3. Вихрев, В. Ф. Водоподготовка: учебник для вузов / В. Ф. Вихрев, М. С. Шкроб. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергия, 1973. – 416 с.
4. Лапотышкина, Н. П. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей: учебное пособие / Н. П. Лапотышкина, Р. П. Сазонов. – Москва: Энергоиздат, 1982. – 201 с.
5. Инструкция по эксплуатации водоподготовки котельной «Южная»: руководство для персонала ХВО цеха № 146 ОАО «Витязь» / разработал А. С. Селиванов; согласовано В. Ю. Мовсесян. – Витебск: ОАО «Витязь», 2018. – 18 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ОХРАНА ТРУДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ НА УЧАСТКЕ ВОДОПОДГОТОВКИ КОТЕЛЬНОЙ «ЮЖНАЯ»

Общие положения

К проведению лабораторных занятий допускаются обучающиеся, прошедшие инструктаж, не имеющие противопоказаний по состоянию здоровья. Обучающиеся должны соблюдать правила поведения, расписание учебных занятий, установленные режимы обучения и отдыха.

Лаборатория оснащена медицинской аптечкой с набором необходимых медикаментов и перевязочных средств. Обучающиеся обязаны соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения аптечки и первичных средств пожаротушения. О каждом несчастном случае пострадавший или очевидец обязан немедленно сообщить преподавателю или лаборанту. При неисправности оборудования, приспособлений и инструментов прекратить работу и сообщить об этом преподавателю. В процессе работы обучающиеся должны соблюдать порядок проведения лабораторных занятий, правила личной гигиены, содержать в порядке рабочее место. Обучающиеся, допустившие невыполнение или нарушение инструкции по охране труда, отстраняются от проведения работы и с ними проводится внеплановый инструктаж.

Требования безопасности в аварийных ситуациях

При разливах растворов, рассыпании твердых веществ немедленно сообщить преподавателю или лаборанту. Запрещается самостоятельно убирать любые химические вещества. При разливах легковоспламеняющихся или органических веществ немедленно погасить открытый огонь, сообщить об этом преподавателю или лаборанту. По его указанию покинуть помещение. При разбитии лабораторной посуды не собирать осколки незащищенными руками, а использовать щетку и совок. В случае возникновения травм, немедленно оказать первую помощь пострадавшему и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

НОРМЫ КАЧЕСТВА ВОДЫ КОТЕЛЬНОЙ «ЮЖНАЯ» [5]

Таблица Б.1 – Характеристики воды из реки Западная Двина (исходная вода)

Показатель	Значение
Жесткость общая, мг-экв/л	1,7–2,5
Щелочность общая, мг-экв/л	1,5–2,3
Содержание железа, мг/л	600–1200
Показатель рН	7,2–7,7
Содержание взвешенных веществ, мг/л	10–80
Солесодержание, мг/л	108–224

Таблица Б.2 – Показатели контроля качества работы осветлителя

Нормируемый показатель	Единица измерения	Норма	Проботборная точка и периодичность отбора проб
Прозрачность по кольцу	см	20–40	III – 2 ч
Содержание взвеси	мг/л	10–20	III – 2 ч
Реакция рН	–	10,2–10,3	VIII – 2ч
Гидратная щелочность	мг-экв/л	0,05–0,2	VIII – 2ч
Доза коагулянта	мг-экв/л	0,6–0,8	I – 2ч
Остаточная жесткость общая	мг-экв/л	$0,7+Ж^{И.В.}+0,7$	III – 2ч
Щелочность общая	мг-экв/л	0,6–1,3	III – 2ч

Таблица Б.3 – Показатели контроля качества работы механического фильтра

Нормируемый показатель	Единица измерения	Норма	Периодичность отбора проб
Жесткость общая	мг-экв/л	$0,7\div 1,3Ж+0,7$	2 ч
Щелочность общая	мг-экв/л	0,7–1,3	1 раз в смену
Значение рН	–	9,5–10,4	1 раз в смену
Прозрачность по шрифту	см	не более 40	1 раз в смену

Таблица Б.4 – График отбора проб и показатели контроля качества работы Na-катионитовых фильтров

Наименование стадии процесса и место отбора проб	Показатель	Единица измерения	Норма	Периодичность отбора проб
Na-катионированная вода: после 1 ступени умягчения	жесткость щелочность	мкг-экв/л	700–1000 0,5–1,3	1 ч
после 2 ступени умягчения	жесткость щелочность		15 0,5–1,3	2 ч
Вода для подпитки т/сети	жесткость щелочность	мкг-экв/л	50 0,5-1,3	1раз в смену

Таблица Б.5 – График отбора проб и показатели контроля качества работы H-катионитовых фильтров

Место отбора пробы	Показатель	Единица измерения	Норма	Периодичность отбора проб
Конденсат до H-катионитового фильтра	жесткость	мкг-экв/л	50	1раз в смену
Конденсат после H-катионитового фильтра			10	2 ч

Таблица Б.6 – Качество котловой (продувочной) воды котла ГМ-50/14

Показатель	1-я ступень испарения	2-я ступень испарения
Солесодержание (сухой остаток), мг/кг, не более	2000	3000
Относительная щелочность, %, не более	5–8	7–10

ПРИЛОЖЕНИЕ В

СН 4.02.04-2019 ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ СЕТЕВОЙ И ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Качество воды для подпитки тепловых сетей должно удовлетворять следующим значениям.

- Содержание свободной углекислоты – 0.
- Значение рН для систем теплоснабжения: открытых 8,3–9,0; закрытых 8,3–10,5.
- Содержание растворенного кислорода не более 50 мкг/л. Содержание взвешенных веществ не более 5 мг/л.
- Содержание нефтепродуктов, мг/дл, не более: открытых систем 0,1; закрытых систем 1,0.

Минимальные карбонатные накипеобразования с интенсивностью не более 0,1 г/(м²·ч) определяются карбонатным индексом I_k , где I_k – предельное значение произведения общей щелочности и кальциевой жесткости воды в зависимости от температуры, показателя рН и условий нагрева сетевой воды. Карбонатный индекс I_k сетевой воды при нагреве ее в сетевых подогревателях не должен превышать значений, приведенных в таблице Б.7. Карбонатный индекс I_k сетевой воды при нагреве ее в водогрейных котлах не должен превышать значений, приведенных в таблице Б.8.

Таблица В.1 – Карбонатный индекс I_k сетевой воды при нагреве ее в сетевых подогревателях

Температура нагрева сетевой воды, °С	I_k , (мг-экв/л) ² , при значениях рН			
	до 8,5	от 8,51 до 8,8	от 8,81 до 9,2	от 9,21 до 10,5
От 70 до 100	4,0	2,6	2,0	Не более 0,1 – для подпиточной воды. Не более 0,15 – для сетевой воды
От 101 до 120	3,0	2,1	1,6	
От 121 до 140	2,5	1,9	1,4	
От 141 до 150	2,0	1,5	1,2	
От 151 до 200	1,0	0,8	0,6	

Таблица В.2 – Карбонатный индекс I_k сетевой воды при нагреве ее в водогрейных котлах

Температура нагрева сетевой воды, °С	I_k , (мг-экв/л) ² , при значениях рН			
	до 8,5	от 8,51 до 8,8	от 8,81 до 9,2	от 9,21 до 10,5
От 70 до 100	3,2	2,36	1,8	Не более 0,1 – для подпиточной воды. Не более 0,15 – для сетевой воды
От 101 до 120	2,0	1,5	1,2	
От 121 до 140	1,5	1,2	1,0	
От 141 до 150	1,2	1,0	0,8	
От 151 до 200	0,8	0,7	0,5	

Качество подпиточной воды для закрытых систем теплоснабжения должно быть таким, чтобы обеспечить нормативное значение I_k для сетевой воды. С учетом присосов водопроводной воды значение I_k подпиточной воды закрытых систем теплоснабжения рассчитывают по формуле:

$$I_{кп} = I_{кс} / \left(1 + \frac{0,5}{100} \right), \quad (B.1)$$

где $I_{кп}$ – нормативное значение карбонатного индекса подпиточной воды закрытых систем теплоснабжения; $I_{кс}$ – нормативное значение карбонатного индекса сетевой воды; принимают по таблице Б.7 или Б.8; 0,5 – доля присосов водопроводной воды, %;

Качество подпиточной воды открытых систем теплоснабжения и горячего водоснабжения в данном методическом указании не рассматриваются, так как котельная не работает с данной системой теплоснабжения.

Учебное издание

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНЫЙ РЕЖИМ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Методические указания

Составители:
Ковчур Андрей Сергеевич
Столяренко Владимир Ильич

Редактор *Р. А. Никифорова*
Компьютерная верстка *В. И. Столяренко*

Подписано к печати 15.012024. Формат $60 \times 90 \frac{1}{16}$. Усл. печ. листов 2,3.
Уч.-изд. листов 2,9. Тираж 2 экз. Заказ № 24.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.

Учебное издание

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНЫЙ РЕЖИМ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Методические указания

Составители:
Ковчур Андрей Сергеевич
Столяренко Владимир Ильич

Редактор *Р. А. Никифорова*
Компьютерная верстка *В. И. Столяренко*

Подписано к печати 15.012024. Усл. печ. листов 2,3.
Уч.-изд. листов 2,9. Заказ № 25.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.

Составители:

А. С. Ковчур, В.И. Столяренко

Одобрено кафедрой «Теплоэнергетика» УО «ВГТУ»,
протокол № 3 от 11.10.2023.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским
советом УО «ВГТУ», протокол № 4 от 27.12.2023.

Водоподготовка и водный режим котельных установок: методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. А. С. Ковчур, В. И. Столяренко. – Витебск: УО «ВГТУ», 2024. – 37 с.

Методические указания по выполнению лабораторных работ содержат задания и методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Водоподготовка и водный режим котельных установок» для студентов специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.311.22

© УО «ВГТУ», 2024