

Федеральное агентство по образованию

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ГОУ ВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой энергетики

_____ Н.В. Савина

«_____» _____ 2007 г.

ВОДОПОДГОТОВКА

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ

для специальности 140101 – «Тепловые электрические станции»

Составитель: ст. преп. Храмцова Н.Н.

Благовещенск

2007 г.

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
энергетического факультета
Амурского государственного
университета

Храмцова Н.Н.

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Водоподготовка» для студентов специальности 140101 «Тепловые электрические станции». – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007. – 36 с.

Учебно-методический комплекс предназначен для оказания помощи студентам специальности 140101 «Тепловые электрические станции» в изучении дисциплины «Водоподготовка»: научить студентов современным технологическим приемам подготовки воды на ТЭС, АЭС в зависимости от ее качества и объекта водопотребления методам расчета и выбора основного оборудования водоподготовительных установок ТЭС

© Храмцова Надежда Николаевна

© Амурский государственный университет, 2007

АННОТАЦИЯ

В рамках направления 650800 «Теплоэнергетика» на кафедре Энергетики реализуется подготовка дипломированного специалиста по специальности 140101. Государственный образовательный стандарт подготовки инженера по специальности 140101 "Тепловые электрические станции" включает изучение дисциплины "Водоподготовка" в разделе ОПД.Ф.09.

Согласно учебному плану специальности данная дисциплина изучается на четвертом курсе обучения (седьмой семестр), предусмотрены следующие виды занятий и формы контроля

Наименование	Всего часов
Лекции	32
Лабораторные занятия	32
Самостоятельная работа	36
Вид итогового контроля	экзамен
Общая трудоемкость дисциплины	100

Учебно-методический комплекс дисциплины «Теоретические основы теплотехники. Термодинамика» включает в себя:

1. Рабочую учебную программу дисциплины «Водоподготовка» (Амурский государственный университет, кафедра «Энергетика», 2006. Автор –Горбуленко В.В., доцент каф. «Энергетика»);
2. Настоящий учебно-методический комплекс.

В настоящем учебно-методическом комплексе приведен краткий конспект лекций, методические рекомендации лабораторных занятий, график самостоятельной работы, а также материалы по контролю качества образования (методические указания по организации контроля знаний студентов, критерии оценки знаний студентов).

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

1.1. Цель преподавания дисциплины

Целью дисциплины является развитие инженерного мышления в технологии очистки воды от различных примесей и обеспечение нормативных показателей качества воды в процессе проектирования и эксплуатации ее на электростанциях.

1.2. Задачи изучения дисциплины

Задачи дисциплины – научить студентов современным технологическим приемам подготовки воды на ТЭС, АЭС в зависимости от ее качества и объекта водопотребления методам расчета и выбора основного оборудования водоподготовительных установок ТЭС, ознакомить студентов с действующей НТД в области водоподготовки, пользоваться справочными литературными источниками.

1.3. Связь с другими дисциплинами специальности

Высшая математика: решение систем алгебраических уравнений, математическая статистика.

Физика: электричество, магнетизм.

Химия: химия воды, органическая химия.

Математические модели и методы расчета на ЭВМ: моделирование случайных процессов, методы нечеткой логики.

Основы научных исследований: постановка эксперимента и обработка его результатов, методы оптимизации.

2. КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Тема 1

Введение.

Предмет и задачи курса, связь курса с другими дисциплинами. Требования к качеству питательной воды и пару, применяемые на ТЭС, АЭС.

Тема 2

Примеси природных и контурных вод. Использование водного теплоносителя и его потери в теплоэнергетических установках.

Основные источники загрязнения, влияние примесей воды на надежность работы оборудования. Основные требования к качеству контурных и добавочных вод парогенерирующих и охлаждающих систем с целью минимизации отложений и коррозии. Нормативные показатели. Поступление примесей в

природную воду. Закономерности изменения количественного состава примесей по районам, сезонам для поверхностных и подземных вод. Технологические показатели качества природных и контурных вод. Поведение примесей с повышением температуры. Понятие о растворимости и произведение растворимости.

Тема 3

Классификация основных технологических процессов обработки воды.

Предварительная очистка воды. Осветление воды. Обработка воды методом ионного обмена. Очистка воды от растворенных газов.

Тема 4

Основные понятия о сточных водах и ПДК загрязняющих примесей.

Сбросные воды систем охлаждения; шламовые, регенерационные и промывочные воды водоизготовительных установок и конденсатоочисток; сточные воды систем гидрозолоудаления (ГЗУ); воды, загрязненные нефтепродуктами; отработанные растворы после химической очистки стационарного оборудования и его консервации; воды от обмывки конвективных поверхностей ТЭС, сжигающих мазут; воды от гидравлической уборки помещений; дождевые и талые воды с территории энергообъекта; сточные воды систем водопонижения. Понятие ПДК.

Тема 5

Технология и аппараты предварительной очистки воды. Физико-химические процессы протекающие при коагуляции примесей воды.

Изменение химического состава примесей воды при коагуляции. Оптимизация процесса. Сущность методов осаждения и основные химические реакции. Расчет дозы известки, изменение показателей качества воды при известковании. Технологическая схема известкования воды, условия ее применения.

Тема 6

Электромагнитные фильтры конструкции, область применения.

Конструкция и область применения электромагнитных фильтров. Управление технологическим режимом электромагнитного фильтра.

Тема 7

Технология ионообменной очистки природных, контурных вод.

Строение ионообменных материалов, закономерности ионнообмена. Характеристика сильных и слабодиссоциирующих ионитов. Технология Na – катионирования. Особенности противоточной и 2-х ступенчатой регенерации. Технология H-катионирования. Технологические схемы H-Na-катионирования.

Тема 8

Осветление воды методами фильтрования

Технология осветления воды на насыпных фильтрах. Очистка конденсатов электромагнитными фильтрами. Очистка конденсатов на намывных фильтрах.

Тема 9

Мембранная технология водообработки

Общие сведения. Технология обратного осмоса и ультрафильтрации. Технология электродиализа.

Тема 10

Очистка воды от растворенных газов.

Технология удаления диоксида углерода в декарбонизаторе. Технология удаления газов в деаэраторах. Химические методы связывания кислорода и диоксида углерода.

Тема 11

Обработка охлаждающей воды.

Системы охлаждения и стабильность охлаждающей воды. Предотвращение образования минеральных отложений. Предотвращение биологических обрастаний.

Тема 12

Термическая водоподготовка

Включение испарителей в тепловую схему электростанций. Определение производительности испарительных установок. Конструкция испарителей. Очистка пара в испарителях и паропреобразователях. Тепловой расчет испарителей. Малосточные технологии на ТЭС с термической водоподготовкой.

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

3.1. Методические указания по выполнению лабораторных работ

Перед выполнением работ необходимо изучить основные теоретические положения, ознакомиться с лабораторными стендами, записать метрологические характеристики используемых средств измерений (в лабораторных работах 1, 2, 3 и 5 следует записать диапазон измерения, цену деления и допустимую погрешность бюреток, мерных стаканов и колб; в лабораторной работе 4 - диапазон измерения, цену деления и класс точности рН-метра).

После завершения лабораторных работ каждый студент должен составить отчет, в котором приводятся основные теоретические положения, рисунок лабораторной установки, по результатам опытов следует выполнить расчеты и сопроводить их необходимыми пояснениями, дать оценку погрешности измерения каждого параметра, а численные значения погрешностей занести в таблицы для записи результатов измерений и расчетов. Отчет завершается аргументиро-

ванным выводом. Методы оценки результатов измерений и расчетов приведены в описании работ.

Отчет представляется студентом при сдаче зачета по данной дисциплине.

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 электростанций, работающих на ядерном 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.

Вместо лабораторных работ, предложенных в данных указаниях, студенты могут выполнить работы исследовательского характера, связанные с подготовкой и использованием воды в условиях своего предприятия, направленные на совершенствование работы водоподготовительного

оборудования и оборудования котельного цеха (котельная установка, деаэраторы, различного типа подогреватели). Содержанием этих исследовательских работ может быть:

- а) определение характеристик воды (солесодержания, кремнесодержания, содержания свободной углекислоты, хлоридов, сульфатов, кислотности, общей жесткости и др.);
- б) рассмотрение технологии обессоливания воды (химического, термического, электроионитного и др.); определение присоса охлаждающей воды в конденсаторе паровой турбины; влияние существующей подготовки воды на работу котельной установки;
- в) теплехимические испытания котельной установки и др.

3.2. Техника безопасности при проведении лабораторных работ

К работе на лабораторных установках допускаются студенты, имеющие теоретическую подготовку по дисциплине, прошедшие инструктаж по технике безопасности и расписавшиеся в соответствующем журнале.

При проведении лабораторных работ необходимо строго выполнять следующие правила:

1. Запрещается заливать воду в емкости, содержащие концентрированный

раствор серной кислоты.

2. При попадании кислоты высокой концентрации на открытые участки тела необходимо удалить сухой тряпкой или ватой кислоту с пораженного участка, промыть место ожога 2% раствором бикарбоната натрия или водой, срочно обратиться в пункт медицинской помощи. Если кислота попала на слизистую оболочку глаза, его необходимо промыть большим количеством воды, затем 0,5% раствором бикарбоната натрия и срочно обратиться в пункт медицинской помощи.

3. В случае попадания щелочи на открытые участки тела или в глаза для промывания можно использовать соответственно 1% раствор уксусной кислоты и 2% раствор борной кислоты.

4. Запрещается использовать лабораторную посуду не по назначению.

5. Запрещается исследовать реактивы на вкус.

6. При определении запаха следует воздух с парами веществ подгонять к носу взмахами ладони.

7. Во время работы с огнеопасными веществами необходимо следить, чтобы поблизости не было открытого огня или сильно нагретых предметов.

8. При ожогах пораженные участки нельзя промывать водой и скрывать волдыри.

По окончании лабораторных работ необходимо привести в порядок рабочее место. Студенты, не выполняющие правила техники безопасности, отстраняются от проведения лабораторных работ.

3.3. Лабораторная работа №1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ ЩЕЛОЧНОСТИ ВОДЫ И ОТДЕЛЬНЫХ ФОРМ ЩЕЛОЧНОСТИ

I. Цель работы

Практическое освоение методики аналитического контроля общей щелочности воды и отдельных форм щелочности; приобретение навыков анализа воды, используемой в теплоэнергетических установках.

II. Основные теоретические положения

Щелочность - свойство воды, обусловленное присутствием в ней бикарбонатов, гидратов и некоторых солей слабых органических кислот-гуматов.

Общая щелочность $Щ_0$ обуславливается присутствием в воде суммы анионов OH^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , $HSiO_3^-$, SiO_2^{2-} и гуматов. Общей щелочностью $Щ_0$ называется выраженная в мг-экв/кг (мг-экв/л) суммарная концентрация содержащихся в воде анионов OH^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , $HSiO_3^-$, SiO_2^{2-} и некоторых солей слабых органических кислот (гуматов). Определяется она количеством соляной кислоты, затраченной на титрование анализируемой пробы воды в присутствии индикатора (метилоранжа) при $pH=3...4$ (определение pH - лабораторная работа 4). Общую щелочность воды подсчитывают по формуле, мг-экв/л

$$Щ_0 = \frac{K \cdot n \cdot V_A \cdot C_1 \cdot 1000}{V}, \quad (1)$$

где K - коэффициент децинормальности кислоты;
 n - нормальность кислоты, мг-экв/л;

A - количество 0,1 н раствора кислоты, пошедшей на титрование, мл;
V - объем анализируемой пробы, мл.

Знание общей щелочности бывает иногда недостаточным для выбора, например, метода обработки воды с целью получения вполне определенных показателей ее качества. В подобных случаях возникает необходимость определения отдельных форм щелочности. Основные формы щелочности: $\text{Щ}_к$

- **гидратная щелочность** - обуславливается присутствием в воде гидроксильных ионов OH^- ; $\text{Щ}_к$ - **карбонатная щелочность** - обуславливается присутствием в воде карбонатных ионов CO_3^{2-} ; **Щб** - **бикарбонатная щелочность** - обуславливается присутствием в воде бикарбонатных ионов HCO_3^- .

Анализы по определению отдельных форм щелочности основаны на том, что при титровании пробы воды сильной кислотой, реакции, протекающие между кислотой и различными анионами, обуславливающими форму щелочности, заканчиваются при различных значениях pH раствора.

Титрование проводится в присутствии двух индикаторов, каждый из которых рассчитан на определенный диапазон значений pH. Одним индикатором является метилоранж, окраска которого изменяется на желтую в кислой среде при $\text{pH}=3\text{...}4$, вторым - фенолфталеин, окраска которого изменяется на розовую в щелочной среде при $\text{pH} > 8,4$. Следует особо отметить, что значение $\text{pH}=8,4$ имеют растворы чистых гидрокарбонатов (HCO_3^-), постоянно присутствующих в водах. При анализе пробы воды на первом этапе используется фенолфталеин, а на втором - метилоранж.

Оценка отдельных форм щелочности производится в соответствии с полученными при титровании данными. При этом возможны следующие случаи:

1) фенолфталеин не дает розового окрашивания, т.е. $\Phi=0$, где Φ - расход соляной кислоты, пошедшей на титрование пробы, окрашенной фенолфталеином, мл. Метилоранж дает желтое окрашивание пробы, которая затем титруется соляной кислотой до изменения окраски. В этом случае в воде присутствуют только бикарбонаты (бикарбонатная щелочность) Щб , которая подсчитывается по формуле (1), где $A=M$, а M - расход кислоты на титрование пробы воды, окрашенной метилоранжем, мг-экв/л;

2) фенолфталеин дает розовое окрашивание, причем при титровании пробы оказалось, что $2\Phi < M$. В этом случае в воде присутствуют как бикарбонаты, так и карбонаты. Расчет $\text{Щ}_б$ производится по формуле (1), где $A = M - 2\Phi$, для расчета $\text{Щ}_к$ следует принять $A = 2\Phi$;

3) фенолфталеин дает розовое окрашивание, причем $2\Phi = M$. В этом случае в воде присутствуют только карбонаты; для расчета $\text{Щ}_к$ в формулу (1) следует подставить $A = 2\Phi$;

4) фенолфталеин дает розовое окрашивание, причем $2\Phi > M$. В этом случае в воде присутствуют карбонаты и гидраты. Для расчета $\text{Щ}_к$ в формулу (1) следует подставить $A=2(M-\Phi)$, а для расчета $\text{Щ}_г$ - $A = (2\Phi - M)$;

5) фенолфталеин дает розовое окрашивание, причем $M=0$ (т.е. после обесцвечивания фенолфталеина дальнейшее увеличение объема метилоранжа

сразу вызывает оранжевую окраску пробы воды). В этом случае присутствуют только гидраты; для расчета Щ_r в формулу (1) следует подставить $A=\Phi$.

При $K_n=0,1$ мг-экв/л и $V=100$ мл для определения формы и численного значения щелочности удобно пользоваться таблицей.

Оценка точности значений щелочности, вычисленных по формуле (1), производится в случае однократного измерения с учетом погрешностей измерения объемов анализируемой пробы A_v , мл, и кислоты A_A , мл, пошедшей на титрование, мг-экв/л

$$\pm \frac{100 \cdot ж}{V} \sqrt{\Delta_A^2 + \frac{A^2}{V^2} \cdot \Delta_v^2} \quad (2)$$

Зависимость форм щелочности от реакции на метилоранж и фенолфталеин

Реакция только на метилоранж	Реакция на метилоранж и фенолфталеин					Реакция только на фенолфталеин
	$2\Phi < M$	$2\Phi < M$	$2\Phi = M$	$2\Phi > M$	$2\Phi > M$	
$\Phi = 0$	$2\Phi < M$	$2\Phi < M$	$2\Phi = M$	$2\Phi > M$	$2\Phi > M$	$M = 0$
$A = M$	$A = M -$	$A = 2\Phi$	$A = 2\Phi$	$A = 2(M - \Phi)$	$A = 2\Phi - M$	$A = \Phi$
Щб	Щб	Щк	Щк	Щк	Щг	Щг

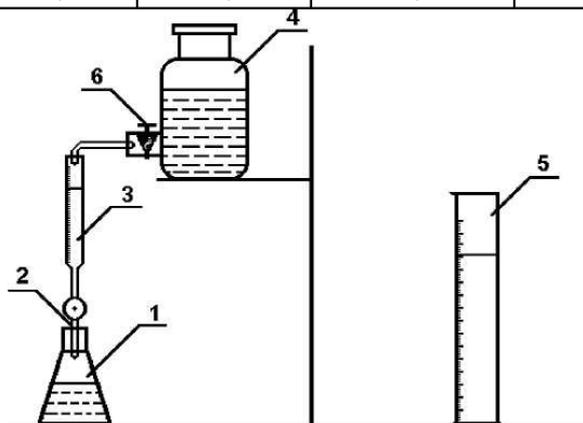


Рис. 1. Лабораторная установка

IV. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомьтесь с лабораторной установкой, назначением и порядком включения двухходового крана-6, конструкцией и порядком работы со сливным устройством-2 бюретки-3.

2. Записать технические и метрологические характеристики средств измерений, используемых в работе.

3. Определить общую щелочность анализируемой пробы воды; для этого:

а) мерной колбой-5 отмерить 100 мл воды и перелить ее в колбу-1, добавить туда же 2-3 капли фенолфталеина до появления розовой окраски (при отсутствии реакции на фенолфталеин выполнить п."б" и переходить сразу к п."г");

б) открыть двухходовой кран-6 и заполнять бюретку-3 до тех пор, пока середина мениска кислоты в бюретке не совпадет с любой оцифрованной отметкой в диапазоне 15...20 мл; перекрыть кран, записать значение начального объема A_n в таблицу; в эту же таблицу занести результаты последующих опытов и расчетов;

№ опыта	Начальный объем кислоты в бюретке, мл	A_n , мл	Объем кислоты, затраченный на титрование фенолфталеином, $A_{ф}$, мл	Объем кислоты, затраченный на титрование метилоранжу, A_m , мл	Щелочность общая, $Щ_0$, мг-экв/л
1					
2					
3					

в) поставить колбу-1 под сливное устройство бюретки-3, сжимая пальцами шарик сливного устройства-2, титровать пробу соляной кислотой до обесцвечивания пробы; прекратить титрование, занести в таблицу значение объема кислоты, затраченной на титрование $A_{ф}$;

г) добавить в анализируемую пробу воды 2-3 капли метилоранжа. Если проба воды окрасилась в оранжевый цвет, эксперимент считается законченным, следует занести в таблицу значение объема кислоты затраченной на титрование $A_m=0$, и перейти к расчетам, как это указано в п."д"; при появлении желтой окраски следует титровать пробу, как это указано в п."в", до появления оранжевой окраски; прекратить титрование, занести в таблицу значение объема кислоты, затраченной на титрование

д) вычислить расход кислоты Φ , затраченной на титрование пробы воды, окрашенной фенолфталеином; расход кислоты M , затраченной на титрование пробы воды, окрашенной метилоранжем; суммарный расход кислоты A ; общую щелочность $Щ_0$;

е) повторить еще два раза опыты и расчеты, как это указано в пп. "а...д", вычислить среднеарифметическое значение щелочности $Щ_0$, доверительные границы и записать окончательный результат;

4. Определить отдельные формы щелочности и вычислить, пользуясь таблицей по, их численные значения.

V. Содержание отчета

1. Краткое описание лабораторной установки, технические и метрологические характеристики средств измерений, краткие пояснения проводимых опытов.
2. Результаты опытов и расчетов, таблицы.
3. Выводы по работе и анализ результатов.

3.4. Лабораторная работа №2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ

I. Цель работы

Практическое освоение методики аналитического контроля общей, кальциевой и магниевой жесткости; приобретение навыков анализа воды, используемой в теплоэнергетических установках.

II. Основные теоретические положения

Одним из наиболее важных показателей качества воды является жесткость, численное значение которой зависит от концентрации в воде ионов кальция и магния. Именно жесткость в значительной степени обуславливает возникновение шлама в воде и отложений (накипи) на внутренних поверхностях труб и в проточной части турбин.

Различают следующие формы жесткости общую J_0 , кальциевую J_{Ca} , магниевую J_{Mg} , карбонатную J_K и некарбонатную J_{HK} .

Общая жесткость воды J_0 мг-экв/л может быть определена как сумма кальциевой и магниевой:

$$J_0 = J_{Ca} + J_{Mg}, \quad (7)$$

или карбонатной и некарбонатной:

$$J_0 = J_K + J_{HK} \quad (8)$$

Установлена следующая классификация жесткости:

$J_0 < 1,5$ мг-экв/л - малая жесткость;

$J_0 = (1,5 \dots 3,0)$ мг-экв/л - средняя;

$J_0 = (3,0 \dots 6,0)$ мг-экв/л - повышенная;

$J_0 = (6,0 \dots 12,0)$ мг-экв/л - высокая;

$J_0 > 12,0$ мг-экв/л - очень высокая.

Определяют общую жесткость титрованием анализируемой пробы воды при определенном значении pH трилоном Б (комплексом III) в присутствии индикатора. При наличии в пробе ионов кальция и магния индикатор окрашивает воду в розовый цвет; при исчезновении из воды ионов кальция и магния (связывание их в комплекс трилоном Б (комплексом III)) анализируемая проба изменяет свою окраску на зеленовато-голубую, что свидетельствует о завершении реакции. В качестве индикатора используют кислотный хромтемносиний, или кислотный хром-синий К, или эриохромчерный Т.

Так как каждый миллилитр 0,1 н раствора трилона Б (комплексона III) соответствует 0,1 мг-экв/кальция и магния (жесткости), то общая жесткость анализируемой пробы воды может быть вычислена по формуле, мг-экв/л

$$J_0 = \frac{a \cdot K \cdot n \cdot 1000}{V} \quad (9)$$

где a - объем раствора трилона Б (комплексона III), пошедшего на титрование, мл; K - коэффициент децинормальности этого раствора; n - нормальность раствора, мг-экв/л; V - объем анализируемой пробы воды, мл.

Жесткость воды, обусловленная присутствием в ней только ионов кальция, называется кальциевой жесткостью J_{Ca} мг-экв/л. Ионы кальция Ca^{2+} в маломинерализованных водах по количеству занимают первое место. Определение J_{Ca} производится по тому же методу, что и определение J_0 . Разница заключается только в том, что проба воды должна быть сильнощелочная, поэтому к ней добавляют раствор КОН, в присутствии которого ионы Mg^{2+} практиче-

ски полностью выпадают из раствора, а в качестве индикатора используют мурексид, окрашивающий щелочной раствор в присутствии ионов Ca^{2+} в красный цвет, а при отсутствии ионов кальция в лиловый.

Численное значение J_{Ca} определяется по формуле (9).

Магния жесткость J_{Mg} , мг-экв/л, обуславливается наличием в пробе воды только ионов магния Mg^{2+} . Эта жесткость характерна для высокоминерализованных вод, где концентрация ионов Mg^{2+} может достигать нескольких граммов на литр.

Численное значение J_{Mg} определяется из выражения (7) при известных J_0 и J_{Ca} .

Карбонатная жесткость J_{K} , мг-экв/л, обуславливается наличием в воде бикарбонатов кальция и магния

Численное значение J_{K} и значение ее погрешности принимаются равными значениями общей щелочности и погрешности ее определения.

Некарбонатная жесткость $J_{\text{НК}}$, мг-экв/л, обуславливается наличием в воде хлоридов, сульфатов и других некарбонатных солей кальция и магния. ($\text{CaCl}_2, \text{MgCl}_2, \text{CaSO}_4, \text{CaSiO}_3$ и другие.)

Численное значение определяется из выражения (8) при найденных J_0 и $J_{\text{K}} = \text{Щ}_0$ погрешность определения можно вычислить по формуле, мг-экв/л,

$$\Delta_{J_{\text{НК}}} = \pm \sqrt{\Delta_{J_{\text{OK}}}^2 + \Delta_{J}^2} \quad (10)$$

где, $\Delta_{J_{\text{K}}} = \varepsilon_p$ из лабораторной работы 1; $\Delta_{J_0} = \varepsilon_p$ из лабораторной работы 2.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 2) состоит из колбы -1, бюретки -3 со сливным устройством -2, емкости -4 с 0,1 н раствором трилона Б, мерной колбы-5, пипеток с индикатором и буферным раствором (на рисунке не показаны).

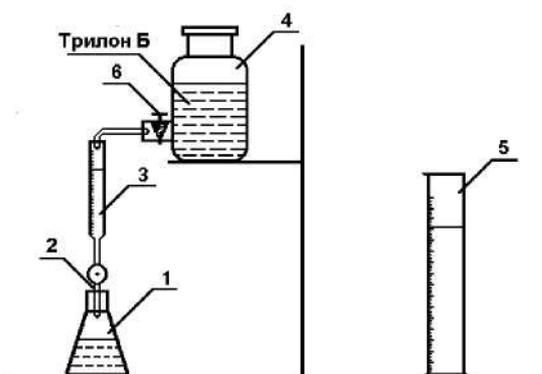


Рис. 2. Лабораторная установка

IV. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, порядком заполнения бюретки раствором трилона Б, конструкцией и порядком работы со сливным устройством.

2. Записать технические и метрологические характеристики средств изме-

рений, используемых в работе.

3. Определить общую жесткость воды, для этого:

а) открыть двухходовой кран емкости-4 и заполнить бюретку трилоном Б до тех пор, пока середина мениска жидкости в бюретке не совпадет с любой оцифрованной отметкой, но не ниже 10, после чего перекрыть кран и занести начальное значение объема в таблицу;

№ опыта	Начальный объем трилона Б в бюретке, мл	Конечный объем трилона Б в бюретке, мл	α , мл	Жесткость общая J_0 , мг-экв/л
1				
2				
3				

б) в колбу-1 отмерить 100 мл исследуемой воды мерной колбой-5, добавить 5 мл аммиачного буферного раствора (для создания определенного значения pH) и 7-8 капель индикатора эриохромчерного Т; при этом анализируемая проба окрашивается в розовый цвет;

в) поставить колбу-1, сжимая пальцами шарик сливного устройства-2, медленно титровать пробу воды трилоном Б (все время интенсивно перемешивая) до изменения розовой окраски воды на зеленовато-голубую; прекратить титрование, занести в таблицу значение оставшегося в бюретке объема раствора трилона Б;

г) вычислить расход раствора трилона Б и общую жесткость воды;

д) повторить еще 2 раза весь опыт, как это указано в пп. "а"... "г", вычислить среднее арифметическое значение жесткости J_0 , доверительные границы ϵ_p и записать окончательный результат; эти расчеты производить, используя выражения (3)...(6), подставляя вместо щелочности $Щ_0$ жесткость.

4. Определить кальциевую жесткость воды, для этого:

а) проделать операции п. 3а;

б) в колбу-1 отмерить 100 мл исследуемой воды мерной колбой-5, добавить 2 мл 2 н раствора NaOH (для создания сильно щелочной среды) и 10...15 мг сухой смеси (2-5 капель жидкости) индикатора мурексид; при этом анализируемая проба окрашивается в красный цвет;

в) проделать операции по п. 3в до перехода красной окраски в лиловую, прекратить титрование, занести конечное значение объема трилона Б в таблицу;

г) вычислить расход раствора трилона Б и кальциевую жесткость J_{Ca} , используя формулу (9); эксперимент и вычисление произвести однократно.

5. Определить магниевую жесткость воды, используя выражение (7), где J_0 принять равным среднему значению J_0 (см. п.2д), определить также карбонатную жесткость, используя результаты работы 1, и некарбонатную.

V. Содержание отчета

1. Краткое описание лабораторной установки, технические и метрологические характеристики средств измерений, краткие пояснения проводимых опытов.
2. Результаты опытов и расчеты, рисунки, таблицы.
3. Выводы по работе и анализ результатов.

3.5. Лабораторная работа №3.

УДАЛЕНИЕ ИЗ ВОДЫ КОЛЛОИДНЫХ ПРИМЕСЕЙ МЕТОДОМ КОАГУЛЯЦИИ

I. Цель работы

Приобретение навыков обработки воды методом коагуляции; практическое освоение методики удаления коллоидных примесей из воды, используемой в теплоэнергетических установках.

II. Основные теоретические положения

Обработка воды для дальнейшего использования ее в теплоэнергетических установках (в целях восполнения потерь пара и конденсата на тепловых электростанциях) начинается с очистки воды от грубодисперсных и коллоидных примесей, которые могут явиться причиной вторичной накипи на поверхностях нагрева, ухудшения качества пара и загрязнения ионитных материалов.

Удаление из воды грубодисперсных примесей (с диаметром частиц более 100 нм) достигается осветлением исходной воды путем её отстаивания и фильтрования. Отстаивание исходной воды осуществляется в осветлителях, где грубодисперсные частицы осаждаются под действием собственной силы тяжести. Фильтрование исходной воды производится в осветлительных фильтрах, загруженных зернистым фильтрующим материалом. При пропуске через них воды, фильтрующий материал задерживает грубодисперсные частицы.

Такого осветления достаточно, если вода загрязнена только грубодисперсными веществами. Обычно исходная вода содержит значительное количество коллоидных (тонкодисперсных) веществ с диаметром частиц от 1 до 100 нм. Частицы таких размеров не осаждаются в осветлителях и не задерживаются осветлительными фильтрами.

Для полного осветления воды необходимо укрупнить коллоидные частицы. Укрупнение частиц достигается их коагуляцией. Коагуляция - это слипание коллоидных частиц и образование грубодисперсных хлопьев под воздействием специально вводимых в исходную воду веществ, называемых коагуляторами. После коагуляции вода подвергается осветлению в осветлителях и фильтрах.

При правильно налаженных режимах коагуляции и осветления из воды удаляется 60...80 % органических веществ. Для более тонкой очистки коагулированная вода после осветления пропускается через фильтры, загруженные активированным углем или макросетчатыми ионитовыми смолами. При этом из воды удаляются почти все взвешенные вещества.

Веществами, образующими коллоидные растворы, являются органические соединения (гуминовые кислоты, танины) и неорганические (кремниевая кислота, соединения железа).

Коллоидные частицы (флокулы), содержащиеся в воде, находятся в беспорядочном броуновском движении. Между ними действуют силы межмолекулярного притяжения и одновременно электростатического отталкивания. Последнее объясняется тем, что однородные коллоидные частицы обладают значительной адсорбционной способностью, они адсорбируют на своей поверхности ионы одного знака и приобретают, таким образом, одинаковые электрические заряды.

Между движущимися заряженными коллоидными частицами и окружающим их раствором возникает электрокинетический потенциал (дзета-потенциал), знак которого зависит от природы вещества, образующего коллоидный раствор. Гуминовые вещества (являющиеся кислотами средней силы) и кремниевая кислота характеризуются отрицательным дзета-потенциалом, т.е. коллоидные частицы этих веществ заряжены отрицательно по отношению к жидкости.

Если к коллоидному раствору с отрицательным дзета-потенциалом прибавить другой раствор с положительным дзета-потенциалом, то коллоидные частицы лишатся электрических зарядов, а значит, и сил взаимного отталкивания. Между частицами будут действовать силы межмолекулярного притяжения. В этих условиях при столкновении двух или нескольких частиц они будут объединяться, образуя частицы больших размеров (мицеллы). Такой процесс носит название коагуляции, а вещества, вызывающие коагуляцию, называют коагуляторами.

В практике водоподготовки для коагуляции коллоидно-растворенных примесей исходной воды используют сернокислые соли алюминия или железа: $Al_2(SO_4)_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$.

При растворении в воде этих веществ происходит их гидролиз. Рассмотрим гидролиз сернокислого алюминия. При растворении $Al_2(SO_4)_3$ происходит полная диссоциация:



Вода, как известно, частично диссоциирована:



В зависимости от количества OH^- (рН воды) соединение OH^- и Al^{3+} может происходить следующим образом:



Гидроокись алюминия $Al(OH)_3$ трудно растворима в воде. Ионы $Al(OH)^{2+}$ и $Al(OH)_2^+$ образуют с сульфат-ионами SO_4^{2-} основные соли $Al(OH)SO_4$ и $[Al(OH)_2]_2SO_4$, также трудно растворимые. В результате образуется коллоидный раствор, дзета-потенциал которого положителен.

Аналогично протекает процесс гидролиза и образование коллоидных растворов солей железа. Наличие гидроокиси алюминия дополнительно и в большой степени способствует образованию крупных агрегатов (мицелл), удаляемых затем в осветителях и фильтрах. На рис. 3 показан механизм образова-

ния таких агрегатов при коагуляции. Частицы-2 гидроокиси алюминия сорбируются на поверхностях взвешенных в воде частиц-1, одновременно притягивая к себе более мелкие частицы-3 гуминовых веществ и, соединяясь между собой, захватывают воду 4.

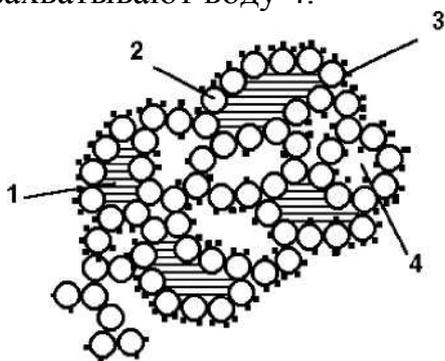


Рис.3. Механизм образования мицеллы

Процесс гидролиза, как видно из формул (11)...(15), сопровождается снижением концентрации OH^- и повышением концентрации OH^+ . Поэтому для достижения полноты гидролиза необходимо восполнять убыль OH^- , иначе говоря, поддерживать оптимальное значение pH раствора. Задача проведения процесса коагуляции определенной дозой коагулятора (выбранной на основании данных о концентрации коллоидных примесей в обрабатываемой воде) при одновременном условии поддержания оптимального значения pH может быть решена введением в воду одновременно с коагулятором какой-либо сильной кислоты или щелочи.

Таким образом, на практике при определении режима коагуляции следует решить две задачи:

- 1) установление оптимального значения pH, при котором необходимо проводить процесс коагуляции;
- 2) определение дозы коагулятора, необходимой для возможно полного снижения коллоидных примесей в обрабатываемой воде при найденном pH.

Эти задачи решаются опытным путем - проведением пробной коагуляции. Вначале в исходную пробу воды добавляют раствор $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и определяют дозу коагулятора из выражения, мг/л:

$$d_{\text{эКВ}} = (\text{Щ}_0 - \text{Щ}_{\text{осв}}) * 113, \quad (16)$$

где Щ_0 и $\text{Щ}_{\text{осв}}$ - щелочность воды до и после коагуляции, мг-эКВ/л; 113- коэффициент пересчета концентрации.

Затем определяется добавка щелочи АЩ_d или кислоты ДК_d , мг-эКВ/л, для поддержания оптимального значения pH:

$$\text{Щ}_d = \text{Щ}_{\text{min}} - \text{Щ}_0, \quad (17)$$

$$\text{К}_d = \text{Щ}_0 - \text{Щ}_{\text{min}}, \quad (18)$$

где $\text{Щ}_{\text{min}} = (d_{\text{кр}} / 113) + 0.4$, мг-эКВ/л.

Погрешность определения Щ_{\min} можно принять, мг-экв/л:

$$\Delta_{\text{Щ}_{\min}} = \pm \sqrt{\Delta^2_{\text{Щ}_{0\text{осв}}} + \Delta^2_{\text{Щ}}} \quad (20)$$

Погрешность определения добавок щелочи или кислоты в исходную воду при коагуляции, мг-экв/л

$$\Delta_{\text{Д}} = \pm \sqrt{2\Delta^2_{\text{Щ}_{0\text{осв}}} + \Delta^2_{\text{Щ}}} \quad (21)$$

III. Описание лабораторной установки

Установка (рис. 4) состоит из колбы-1, бюретки-3 со сливным устройством-2, емкости-4 с 0,1 н раствором HCl, мерной колбы-5, колбы для коагуляции-7, нагревательного устройства-8, ртутного термометра-9, устройства для осветления и фильтрования-10, мерных пипеток с индикаторами и емкости с раствором $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (на рисунке не показаны).

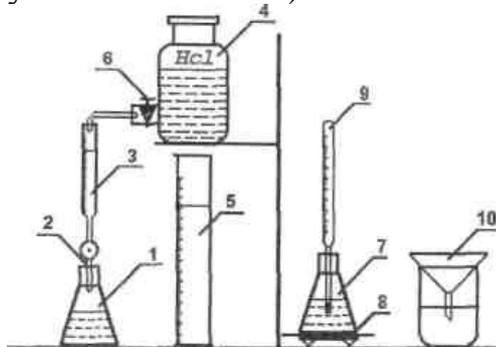


Рис. 4. Лабораторная установка.

IV. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, порядком включения нагревательного устройства.

2. Записать технические и метрологические характеристики средств измерений, используемых в работе.

3. Произвести коагуляцию исходной воды; для этого:

а) при помощи мерной колбы 5 отобрать анализируемую пробу исходной воды объемом 500 мл, перелить пробу в колбу 7 на нагревательном устройстве 8 до $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$; температуру измерять ртутным термометром 9;

б) добавить в анализируемую пробу 5 мл коагулятора (1% раствор $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), после чего пробу в колбе 7 осторожно перемешивать стеклянной палочкой в течение $(5 \pm 0,1)$ мин.; затем оставить в покое в течение $(30 \pm 0,1)$ мин.; за это время выполнить п.4, а по окончании вышеуказанного времени - п.5 и далее.

4. Определить общую щелочность исходной воды, используя для того лабораторную установку (рис.4) и методику, изложенную в лабораторной работе 1. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу.

5. Отфильтровать полученный раствор при помощи устройства 10, стараясь осторожно сливать в воронку отстоявшуюся в колбе 7 жидкость, и только к концу фильтрования перенести на фильтр коагулят (осадок).

6. Определить общую щелочность осветленной воды $\text{Щ}_{\text{осв}}$, как это указано в п. 4.

7. Определить дозу коагулятора $d_{\text{кг}}$, минимальную щелочность Щ_{min} , добавку щелочи $\Delta \text{Щ}_{\text{д}}$ или кислоты $\Delta \text{К}_{\text{д}}$.

8. Определить погрешности измерений и расчетов.

9. Результаты расчетов по пп. 7 и 8 занести в таблицу.

Определяемая величина		Погрешность определения величины	
Наименование, обозначение, размерность	Численное значение	Обозначение, размерность	Численное значение
Общая щелочность исходной воды $\text{Щ}_{\text{о}}$, мг-экв/л Общая щелочность осветленной воды $\text{Щ}_{\text{осв}}$, мг-экв/л Доза коагулятора d , мг/л Минимальная щелочность Щ_{min} , мг-экв/л Добавка щелочи (кислоты) $\Delta \text{Щ}_{\text{д}}$ ($\Delta \text{К}_{\text{д}}$), мг-экв/л			

V. Содержание отчета

1. Краткое описание лабораторной установки, технические и метрологические характеристики средств измерений.
2. Краткое описание сущности технологического процесса коагуляции и проводимых опытов.
3. Таблицы с результатами опытов и расчетов, необходимые рисунки.
4. Выводы по работе и анализ результатов.

3.6. Лабораторная работа №4.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ИОНОВ ВОДОРОДА (ЗНАЧЕНИЯ pH ВОДЫ)

I. Цель работы

Практическое освоение методики определения реакции воды (кислая, нейтральная, щелочная); приобретение навыков экспериментальной оценки качества воды, используемой в теплоэнергетических установках.

II. Основные теоретические положения

Все примеси, загрязняющие воду, можно разделить по степени дисперсности на три группы: 1) грубодисперсные с размерами частиц более 100 нм; 2) коллоидно-дисперсные с размерами частиц от 1 до 100 нм; 3) молекулярно- и ионно-дисперсные с размером частиц менее 1 нм. Водородные ионы -H^+ и гидроксильные ионы -OH^- появляются в воде в результате ее диссоциации со-

гласно уравнению (12). Водородные ионы могут также появиться в растворах в результате диссоциации кислот, например:



гидроксильные ионы - в результате диссоциации щелочей, например:



В химически чистой воде при температуре +23 °С концентрации ионов H^+ и OH^- равны друг другу и составляют 10^{-7} г-ион/кгс (т.е. $C_{\text{H}^+} = C_{\text{OH}^-} = 1 \cdot 10^{-7}$ г-ион/кг). В этом случае говорят, что вода химически нейтральна. При увеличении в растворе концентрации ионов водорода H^+ , например вследствие уменьшения концентрации ионов OH^- в процессе гидролиза, реакция воды кислая, а при увеличении концентрации ионов OH^- или, что то же самое, при уменьшении концентрации ионов H^+ (например, при взаимодействии последних с ионами HCO_3^- , всегда присутствующими в воде) реакция воды щелочная. Таким образом, нейтральная реакция воды при $\text{H}^+ = 10^{-7}$, кислая реакция при $\text{H}^+ > 10^{-7}$, щелочная реакция при $\text{H}^+ < 10^{-7}$.

На практике концентрация водородных ионов в воде выражается водородным показателем рН, численное значение которого равно отрицательному логарифму концентрации H^+ :

$$\text{pH} = -\lg \text{H}^+ \quad (24)$$

Численное значение рН воды, используемой в теплоэнергетике, взаимосвязано с другими характеристиками воды, влияющими на надежность работы теплоэнергетического оборудования: коррозионной активностью, склонностью к накипеобразованию и др. Подготовка подпиточной и питательной воды, выбор водных режимов котельных установок, очистка сточных вод и т.д. производятся при строго определенных значениях рН.

Например, коллоидные частицы, содержащиеся в воде, обладают амфотерными свойствами, т.е. способны в зависимости от рН диссоциировать в воде как кислоты или щелочи. Для коллоидных частиц одного вещества существует такое значение рН среды, при котором их молекулы не диссоциируют на ионы и заряды частиц равны нулю. Такое состояние коллоидной системы называется изоэлектрическим. Если рН среды больше рН изоэлектрического состояния, молекулы вещества диссоциируют как кислоты, если меньше - как щелочи (т.е. частицы приобретают соответственно отрицательный или положительный заряды). Подкисляя или подщелачивая воду, можно нейтрализовать заряды частиц, снизить устойчивость коллоидной системы и создать благоприятные условия для коагуляции раствора (см. лабораторную работу 3).

Определение активности ионов водорода (значения рН) проводят потенциометрическим методом, т.е. определяется разность потенциалов между измерительным и вспомогательным электродами, помещаемыми соответственно в исследуемый и в буферный растворы (рН последнего известен). В качестве измерительных используют электроды водородный, сурьмяный, хингидронный или стеклянный, в качестве вспомогательных - нормальный, водородный, каломельный или хлорсеребряный.

В случае использования лабораторного рН-метра искомое значение рН определяется из выражения

$$A = X + KY, \quad (25)$$

где X - цифра, на которую установлен переключатель "Начало шкалы"; Y - показание прибора, рН; K - цифра, на которую установлен переключатель "Размах шкалы".

Результат измерения следует записать в виде:

$$A_d = A \pm \Delta. \quad (26)$$

Приведенную погрешность однократного измерения можно вычислить по формуле, %

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} 100 \quad (27)$$

где X_N - диапазон измерения (характеристика шкалы прибора), рН.

III. Описание лабораторной установки

В качестве лабораторной установки используется лабораторный рН-метр типа рН-262, общий вид комплекта которого представлен на рис.5. Здесь: 1 - прибор рН-262; 2 - ручной термокомпенсатор ТКР-1; 3- штатив с рабочим комплектом принадлежностей. На рис.6 показаны используемые рабочие принадлежности: 1- вспомогательный (хлорсеребряный) электрод ЭВЛ-1МЗ; 2 - ба-чок проточного вспомогательного электрода; 3 - термометр; 4 - стеклянный измерительный электрод ЭСЛ-43(63)-07; 5 - наконечник электролитического ключа; 6 - стакан с испытуемым раствором; 7 - автоматический термокомпенсатор.

Наряду с комплектом рН-262 в лабораторной работе используются стаканы с пробами воды, анализируемыми в работах 2 и 3, а также нагревательное устройство (см. лабораторную работу 3). Стаканы с пробами воды, рН которой необходимо определить, нумеруются в следующем порядке: 1 -стакан с исходной пробой воды (см. лабораторную работу 2); 2 -стакан с этой же водой после добавления в нее буферного аммиачного раствора (см. лабораторную работу 2); 3 - стакан с исходной анализируемой пробой воды после добавления в нее NaOH (см. лабораторную работу 2); 4 - стакан с исходной анализируемой пробой воды (см. лабораторную работу 3); 5 -стакан с осветленной водой (см. лабораторную работу 3); 6 – стакан с осветленной водой после добавки в нее расчетного количества щелочи (кислоты)

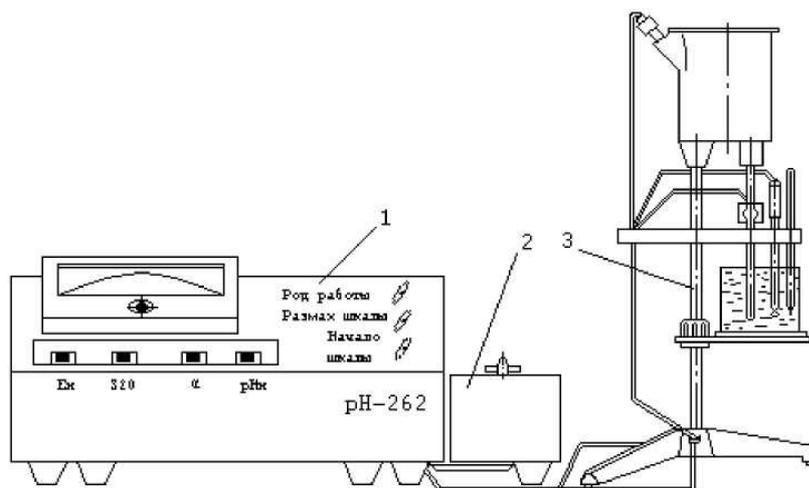


Рис. 5. Лабораторная установка

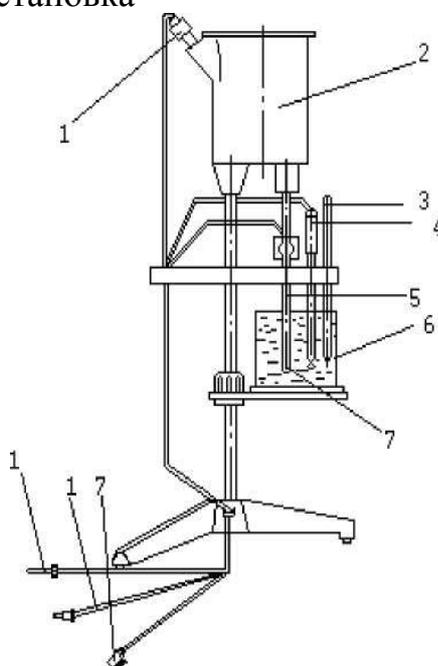


Рис. 6. Штатив с рабочим комплектом принадлежностей

IV. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, порядком установки в рабочее положение стакана с анализируемой пробой, порядком работы рН-метра.
2. Записать технические и метрологические характеристики средств измерений, используемых в работе.
3. Отрегулировать высоту столика штатива-3 (рис. 5) так, чтобы при измерении термометр-3, электрод-4, наконечник электролитического ключа-5 и термокомпенсатор-7 (рис. 6) погружались в анализируемую пробу воды в стакане 6 на 40 мм. Для этого необходимо отвести столик влево на 90° , подвести стакан под перечисленные преобразователи, вернуть столик на место, поставить на него стакан, добавить необходимое количество анализируемой пробы.
4. Включить прибор рН-262 и настроить его.

5. Измерить рН анализируемой пробы в стакане 1; для этого:
- нагреть пробу до $(80 \pm 1)^\circ\text{C}$, установить стакан с пробой на столике штатива;
 - измерить значения рН пробы по мере остывания раствора через 5°C , до температуры $+25^\circ\text{C}$;
 - определить погрешность измерения; результаты измерений и расчетов занести в таблицу.

№ опыта	Температура раствора, $^\circ\text{C}$	Показание прибора, рН	Абсолютная погрешность измерения, рН	Результат измерения, рН
1				
2				
3				

г) снять стакан 1 с пробой воды со столика штатива, промыть погружаемые в пробу воды части преобразователей 3, 4, 5, 6 (см. рис. 6) дистиллированной водой и удалить с них остатки воды фильтровальной бумагой.

6. Измерить рН анализируемых проб воды в стаканах 2, 3, 4, 5 и 6, как это описано в п.5.

V. Содержание отчета

- Краткое описание лабораторной установки, технические и метрологические характеристики средств измерений.
- Таблицы с результатами опытов и расчетов, необходимые рисунки, графики.
- Анализ результатов измерений и выводы по работе. Этот пункт необходимо увязывать с целями и задачами лабораторных работ 2 и 3.

3.7. Лабораторная работа №5.

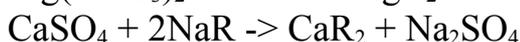
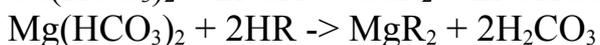
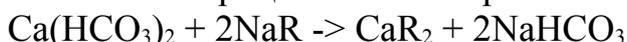
УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ МЕТОДОМ КАТИОННОГО ОБМЕНА

I. Цель работы

Практическое освоение метода получения умягченной воды; приобретение навыков работы с Н-катионитными и Na-катионитными фильтрами в системе подготовки воды для теплоэнергетических установок.

II. Основные теоретические положения

Для удаления молекулярно дисперсных (ионно дисперсных) примесей из исходной воды при подготовке добавочной воды для котельных установок, очистки конденсата и подготовке подпиточной воды для тепловых сетей широко используются методы ионного обмена (катионирование и анионирование). Сущность этого метода заключается в использовании специальных фильтров, наполненных ионитами - сульфо-углем или синтетическими смолами. Просачиваясь между зернами ионита, обрабатываемая вода обменивает часть ионов, содержащихся в ней на ионы ионита, в результате чего вода очищается, а ионит "загрязняется". В процессе катионирования происходят следующие реакции:





где R - обозначение катионита; NaR - натрий-катионит; HR -водород-катионит; Из выражений (28) видно, что при Na-катионировании растворенные в обрабатываемой воде бикарбонаты кальция и магния замещаются бикарбонатом натрия, а сульфаты и хлориды кальция и магния - хлористым и сернокислым натрием; в результате этого остаточная жесткость воды после Na-катионирования снижается до 10 мкг-экв/л и ниже, щелочность и анионный состав не изменяются, а солесодержание воды несколько возрастает.

При H-катионировании вместо солей карбонатной жесткости образуется углекислота, а вместо солей некарбонатной жесткости - соляная и серная кислоты; при этом общая жесткость H-катионированной воды снижается до 10 мкг-экв/л и ниже, карбонатная жесткость полностью удаляется, устраняется щелочность и снижается солесодержание.

В процессе умягчения подвижные катионы Na^+ или H^+ , окружающие нерастворимое в воде ядро катионита, переходят в воду, а на их место закрепляются катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} ; в результате насыщения зерен катионита катионами кальция и магния обменная способность катионита постепенно снижается, соли жесткости начинают "проскакивать" сквозь фильтр, катионит истощается. Обменная способность катионита может быть восстановлена путем регенерации. Процесс регенерации можно разделить на три фазы: взрыхление слоя катионита; регенерация катионита; отмывка катионита.

Взрыхление катионита производится водой, подаваемой в фильтры снизу вверх с определенной скоростью, достаточной для приведения слоя катионита во взвешенное состояние. При этом из слоя катионита вымываются и уносятся в дренаж частицы ионита, сработавшиеся до пылевидного состояния. Взрыхление считается законченным при полном осветлении уходящей из фильтра воды от пыли ионита (например, сульфогугля).

Регенерация катионита производится для восстановления обменной способности катионита. В процессе регенерации Na-катионита через его слой фильтруется раствор поваренной соли (NaCl), при этом происходит замена присоединенных ранее ядрами ионита катионов кальция и магния катионами натрия:



Известно, что для регенерации 1 м³ Na-катионита 100% раствором NaCl требуется 60 кг этого раствора. При известном объеме Na-катионита ($V_{\text{кат}}$) массовое количество 100% NaCl, необходимое для его регенерации, кг

$$G_{\text{NaCl}_{\text{кат}}}^{(100)} = V_{\text{NaCl}} g^{(100)} \quad (30)$$

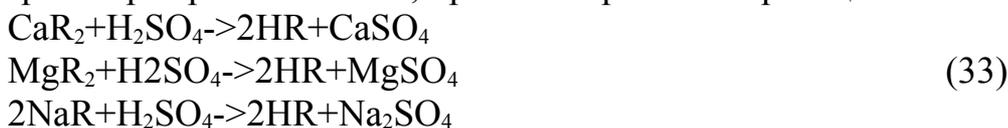
тогда массовое количество например, 10 % NaCl, необходимого для регенерации $V_{\text{кат}}$, кг:

$$G_{\text{NaCl}}^{(10)} = G_{\text{NaCl}}^{(100)} \cdot 0,1 \quad (31)$$

а объемное ее количество, мл

$$V_{\text{NaCl}}^{(10)} = 1000 \cdot G_{\text{NaCl}}^{(10)} / \rho_{\text{NaCl}}^{(10)} \quad (32)$$

В процессе регенерации Н-катионита через его слой фильтруется (1,0 ... 2,0) % раствор серной кислоты; при этом протекают реакции:



Для регенерации 1 м³ Н-катионита 100% раствором серной кислоты требуется 20 кг этого раствора. Для регенерации V_{кат} требуется массовое количество 100% H₂SO₄:

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(100)} = V_{\text{кат}} \cdot g_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(100)} \quad (34)$$

или 2% H₂SO₄, кг:

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(2)} = G_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(100)} \cdot 0,02$$

или 1% H₂SO₄, кг

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(1)} = G_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(100)} \cdot 0,01 \quad (35)$$

Объемное количество двух- или однопроцентной серной кислоты, необходимое для регенерации V_{кат} Н-катионита, мл

$$V_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(2)} = 10^3 \cdot G_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(2)} / g_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(2)} \quad (36)$$

$$V_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(1)} = 10^3 \cdot G_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(1)} / g_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(1)}$$

где g_{H₂SO₄} - плотность серной кислоты соответствующей концентрации.

Отмывка катионита производится водой со скоростью фильтрования W_{отм}, м/ч, отмывочная вода сбрасывается в дренаж. Этот процесс необходим для удаления из катионита продуктов регенерации и избытка регенерационного раствора.

Отмывка считается законченной, когда концентрации хлоридов в отмывочной воде Na-катионита и сульфатов в отмывочной воде Н-катионита станут равными концентрациям хлоридов и сульфатов в исходной воде; анализ воды на содержание хлоридов и сульфатов производится при определенной жесткости отмывочной воды, например Ж_о=0,2 мг-экв/л.

При оценке экономичности регенерации фильтров учитываются расходы воды на взрыхление и отмывку. Количество воды, пошедшее на взрыхление фильтра, л

$$V_{\text{взр}} = W_{\text{взр}} \cdot f_K \cdot T_{\text{взр}} \cdot 10^{-3} \quad (37)$$

где W_{взр} - скорость воды при взрыхлении, м/с; f_к - сечение катионитового фильтра, м²

$$f_K = \pi \cdot d_K^2 / 4$$

T_{взр} - время взрыхления, с.

Количество воды, пошедшее на отмывку фильтра, л

$$V_{\text{отм}} = W_{\text{отм}} \cdot t_{\text{отм}} \cdot 10^{-3} \quad (38)$$

где $W_{\text{отм}}$ - скорость воды при отмывке, м/с; $t_{\text{отм}}$ - время отмывки, с.

В процессе работы фильтров производятся анализы умягченной воды: определяются общая жесткость и общая щелочность Na-катионированной воды, общая жесткость и кислотность H-катионированной воды.

Доля и количество воды, которое необходимо пропустить через каждый из фильтров (Na- и H-катионирования) для получения смеси воды с заданными щелочностью и жесткостью, определяются расчетным путем и контролируются анализами смеси воды.

Жесткость смешанной воды определяют из выражения, мг-экв/л

$$J_{\text{см}} = X J_{\text{H}} + (1-X) J_{\text{ш}}, \quad (39)$$

где J_{H} - общая жесткость H-катионированной воды, мг-экв/л; J_{Na} - общая жесткость Na-катионированной воды, мг-экв/л; X - доля H-катионированной воды в смеси; $(1-X)$ - доля Na-катионированной воды в смеси

$$X = (J_{\text{к}} - \text{Щ}_{\text{ост}}) / J_{\text{H}} \quad (40)$$

где $J_{\text{к}}$ - жесткость карбонатная H-катионированной воды, мг-экв/л; $\text{Щ}_{\text{ост}}$ - заданная остаточная щелочность (например, 0,6 мг-экв/л)

$$(1-x) = (J_{\text{нк}} + \text{Щ}_{\text{ост}}) / J_{\text{Na}}, \quad (41)$$

где $J_{\text{нк}}$ - жесткость некарбонатная Na-катионированной воды.

Объем H-катионированной воды для получения 1 л смеси с заданной $\text{Щ}_{\text{ост}}$, мл

$$V_{\text{H}} = X \cdot 10^3; \quad (42)$$

объем Na-катионированной воды для получения 1 л смеси с заданной $\text{Щ}_{\text{ост}}$, мл

$$V_{\text{Na}} = (1-X) \cdot 10^3. \quad (43)$$

III. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис.7) состоит из двух фильтров (H- и Na-катионирования), заполненных сульфоуглем, бутылей с водой (H_2O), растворами кислоты (H_2SO_4) и поваренной соли (NaCl) заданной концентрации, трубопроводов и управляющих кранов 1...11. При выполнении настоящей работы используются также установки лабораторных работ 1 и 2 (рис. 1 и 2).

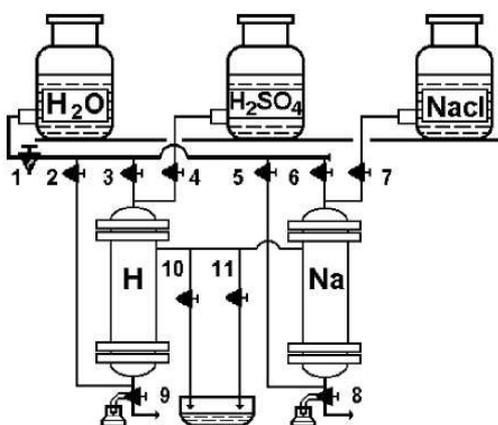


Рис. 7 Лабораторная установка

IV. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, порядком работы с фильтрами.
2. Записать технические и метрологические характеристики средств измерений, используемых в работе.
3. Определить общую щелочность исходной (до умягчения) воды; для этого:
 - а) отмерить в три колбы по $(100 \pm 0,5)$ мл исходной воды (три пробы воды);
 - б) для каждой пробы определить общую щелочность и погрешность определения общей щелочности, как это указано в п. 3 лабораторной работы 1;
 - в) записать результаты экспериментов и расчетов в таблицу.
4. Определить общую и некарбонатную жесткости исходной воды; для этого:
 - а) отмерить в три колбы по $(100 \pm 0,5)$ мл исходной воды (три пробы воды);
 - б) для каждой пробы определить общую жесткость, вычислить погрешность найденной общей жесткости исходной воды, как это указано в п. 3 лабораторной работы 2;
 - в) записать результаты экспериментов и расчетов в таблицу.
 - г) вычислить значение некарбонатной жесткости и погрешность этого значения, используя выражения (8) и (10).
5. Подготовить фильтры к регенерации; для этого:
 - а) открыть краны 2, 10, 5 и 11; медленно открывать кран 1, увеличивая скорость течения воды до тех пор, пока все зерна катионита не придут во взвешенное состояние, в этот момент зафиксировать начало процесса взрыхления; выдержать фильтры в таком состоянии до полного осветления выходящей из фильтра воды от сработанных до пылевидного состояния частичек сульфогля;
 - б) закрыть краны 1, 2, 10, 5, 11, зафиксировать время и подсчитать количество воды, необходимое для взрыхления катионита (принять скорость воды и диаметр фильтра по указанию преподавателя).
6. Произвести операцию регенерации фильтров; для этого:
 - а) рассчитать количество 1% серной кислоты, необходимой для регенерации H-катионитового фильтра, приняв $V_{\text{кат}}$ по указанию преподавателя;
 - б) рассчитать количество 10% раствора NaCl, необходимое для регенерации Na-катионитового фильтра, приняв $V_{\text{кат}}$ по указанию преподавателя;
 - в) открыть краны 4 и 9 и пропустить через H-катионитовый фильтр 1% раствор H_2SO_4 в количестве, вычисленном в п. 6а, после чего закрыть краны 4 и 9;
 - г) открыть краны 7 и 8, пропустить через Na-катионитовый фильтр 10% раствор NaCl в количестве, вычисленном в п. 6б, после чего закрыть краны 7 и 8.
7. Произвести операцию отмывки катионита, для этого:

- а) открыть краны 1, 2, 9 и отобрать (120±10) мл исходной воды, краны закрыть, определить содержание в ней сульфатов и хлоридов;
- б) открыть краны 1, 3, 9, 6, 8, пропуская воду в дренаж; через (180±10)с. отобрать в конические колбы по (100±0,5) мл воды после Н- и Na-катионитовых фильтров (из под кранов 8 и 9); определить общую жесткость J_{H} и J_{Na} каждой пробы. Если жесткость окажется больше 0,2 мг-экв/л, вновь через (180±5) с отобрать пробы воды и произвести их анализ на общую жесткость; продолжать отмывку фильтров и производить анализы до тех пор, пока общая жесткость каждой пробы не станет, как минимум, равной 0,2 мг-экв/л;
- в) отобрать (5±0,1) мл воды после Н-катионитового фильтра и (100±0,5) мл воды после Na-катионитового фильтра, закрыть краны 1, 3, 9, 6, 8, зафиксировать время отмывки фильтров;
- г) определить содержание сульфатов и хлоридов в пробах воды, взятых соответственно после Н- и Na-катионитовых фильтров, сравнить найденные значения сульфатов и хлоридов со значениями, найденными ранее в п. 7а. Операция отмывки считается законченной, если значения сульфатов (хлоридов), найденные в п. 7г, не превышают их значений, найденных в п. 7а; в противном случае продолжать отмывку в течение еще (180±5) с, открыв краны 1, 3, 9, 6, 8, и произвести анализы в соответствии с п. 7г; зафиксировать общее время отмывки фильтров;
- д) определить количество воды, пошедшее на отмывку катионита от продуктов регенерации.
8. Произвести операцию умягчения воды; для этого:
- а) открыть краны 1,3,9, 6, 8, установить скорость фильтрования $W_{\text{фильтр}}=10\dots15$ м/ч (по указанию преподавателя);
- б) отобрать через кран 9 (после Н-катионитового фильтра) три пробы по (100±0,5) мл воды через (180±5) секунд каждую, в колбы с обозначениями Н1, Н2, Н3; одновременно отбирать три пробы по (100±0,5) мл воды через кран 8 (после Na-катионитового фильтра) в колбы с обозначениями Na1, Na2, Na3; закрыть краны 1, 3, 9, 6, 8;
- в) определить общую жесткость J_{Na} , некарбонатную жесткость, общую щелочность воды в колбах Na1, Na2, Na3 в порядке, указанном в пп. 3, 4 настоящей работы; результаты записать в таблицу;
- г) определить общую жесткость J_{H} , некарбонатную жесткость, общую щелочность Щ_{H} и кислотность K_{H} в порядке, указанном в пп. 3, 4 настоящей работы, результаты записать в таблицу;
- д) по найденным в п. 8 в, г показателям качества и нормам определить, для каких целей может быть использована умягченная вода;
- е) вычислить объемы Н- и Na-катионированной воды для получения 1л смеси с заданной остаточной щелочностью ($\text{Щ}_{\text{ост}}=0,6$ мг-экв/л) и общую жесткость смеси, результаты записать в таблицу;
- ж) приготовить 1л смеси Н- и Na-катионированной воды с заданной щелочностью; определить экспериментально общую щелочность и общую жест-

кость смеси, как это указано в лабораторных работах 1 и 2; окончательные результаты анализов записать в таблицу, сравнить результаты расчетов и анализов.

V. Содержание отчета

1. Краткое описание лабораторной установки и основные теоретические положения.
2. Технические характеристики оборудования и метрологические характеристики средств измерений.
3. Результаты опытов и расчетов, таблицы, рисунки.
4. Выводы по работе.

3.8. Примеры задач для лабораторного практикума

Пример 1. Определить возможность использования воды определенного химического состава для подпитки теплосети при нагреве ее $t_1=120$ С; $t_2=160$ С.

Пример 2. Рассчитать декарбинизатор производительностью $Q=100$ м³/час

Пример 3. Расчет барабанного вакуум-фильтра в схеме обезвоживания метала продувочной воды осветителя для известкования и коагуляции ЦНИИ МПС.

Пример 4. Выполнить сравнительную оценку эффективности записи традиционной катионитовой установки ВПУ-5 на установку коррекционной обработке воды с использованием комплексонов.

4. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

4.1. Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы

Самостоятельная работа предусматривает:

- подготовку студентов к аудиторным лекционным и лабораторным занятиям;
- самостоятельное изучение дополнительных вопросов.

Для усвоения дисциплины необходима систематическая самостоятельная работа, контроль которой осуществляется с помощью графика самостоятельной работы.

4.2. Вопросы для самостоятельного обучения

1. Комплексные методы водоподготовки. Общие положения. Область применения.
2. Технология обработки высоко минерализованных природных и сбросных вод. Общие положения.
3. Схемы и принципы действия испарительных и выпарных установок различных типов.
4. Методы обеспечения чистоты пара и предотвращения накипи образования.

5. схемы обратно - осмотических аппаратов. Свойства мембран их характеристика, и использование в ВХР.

6. Схемы электродиализных установок.

7. Комплексная очистка высокоминерализированных вод и сбросных растворов, их повторное использование.

4.3. График самостоятельной работы студентов

Таблица 2

№	Содержание	Объем в часах	Формы контроля	Сроки (недели)
1	2	3	4	5
1	Подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции.	1
2	Подготовка к лекционным и лабораторным занятиям	5	Блиц-опрос на лекции Защита лаб. работы	2
3	Подготовка к лекционным и лабораторным занятиям	5	Блиц-опрос на лекции Защита лаб. работы	3
4	Подготовка к лекционным занятиям	2	Блиц-опрос на лекции.	4
5	Подготовка к лекционным и лабораторным занятиям	5	Блиц-опрос на лекции Защита лаб. работы	5
6	Подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции.	6
7	Подготовка к лекционным и лабораторным занятиям	7	Блиц-опрос на лекции Защита лаб. работы	7
8	Подготовка к лекционным занятиям	2	Блиц-опрос на лекции.	8,9
9	Подготовка к лекционным занятиям	2	Блиц-опрос на лекции.	10
10	Подготовка к лекционным занятиям	2	Блиц-опрос на лекции.	11,12
11	Подготовка к лекционным занятиям	2	Блиц-опрос на лекции.	13
12	Подготовка к лекционным занятиям	2	Блиц-опрос на лекции.	14

5. МАТЕРИАЛЫ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ

5.1. Методические указания по организации контроля знаний студентов

Предусмотрены следующие виды контроля знаний студентов:

Входной контроль

Входной контроль по дисциплине представляет собой задания, позволяющие оценить знание понятий, определений и закономерностей, используемых в данной дисциплине и изучаемых ранее в других курсах (физика, химия, математика), т.е. подготовленность студентов для освоения данной дисциплины.

Межсессионный контроль

Межсессионный контроль включает теоретические задания по изучаемым темам, выполнение проверочных работ, выполнение домашних расчетных заданий, выполнение и защиту курсовой работы. Текущий контроль осуществляет-

ся систематически в течение семестра, по результатам контроля выставляется промежуточная аттестация (контрольные точки), экзаменационная оценка по дисциплине выставляется с учетом результатов межсессионного контроля.

Экзаменационный контроль

Итоговой формой контроля знаний студентов является экзамен. В ответах студентов на экзамене знания и умения оцениваются по пятибалльной системе. Опрос студентов осуществляется в письменно-устной форме. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса по изученному курсу и задачу (каждый вопрос и задача – по разным темам дисциплины). Для подготовки ответа на вопросы и решения задачи дается 40 мин.

Контроль остаточных знаний

Проверка качества освоения профессиональной образовательной программы осуществляется после изучения дисциплины в виде тестирования.

5.2. Критерии оценки знаний студентов

Входной контроль, межсессионный контроль (теоретические задания) и контроль остаточных знаний

Знания оцениваются по четырехбалльной шкале.

Отлично – не менее 85% правильно выполненных заданий; *хорошо* – не менее 75% правильно выполненных заданий; *удовлетворительно* – не менее 50% правильно выполненных заданий; *неудовлетворительно* – менее 50% правильно выполненных заданий.

Межсессионный контроль

Межсессионный контроль предусматривает выполнение самостоятельных работ по основным темам дисциплины и устные ответы на занятиях.

Экзаменационный контроль

Итоговая аттестация по дисциплине включает рейтингово-модульную систему оценки знаний студентов в следующем соотношении: промежуточный контроль знаний студентов составляет 30 %, остальные 70 % определяются результатами итогового экзамена.

В ответах студентов на экзамене знания и умения оцениваются по четырехбалльной шкале.

Оценка «*отлично*» ставится в случае правильных и полных ответов на оба теоретических вопроса билета и правильного решения задачи.

Оценка «*хорошо*» ставится в случае:

- правильного, но неполного ответа на один из теоретических вопросов билета, требующего уточняющих дополнительных вопросов со стороны преподавателя или ответа, содержащего ошибки не принципиального характера, кото-

рые студент исправляет после замечаний (дополнительных вопросов) преподавателя; правильного решения задачи;

- правильных и полных ответа на оба теоретических вопроса билета; затруднений при решении задачи, с которыми студент справляется после помощи преподавателя.

Оценка «удовлетворительно» ставится в случае:

- ответов, содержащего ошибки принципиального характера на теоретические вопросы билета; правильного решения задачи;

- неверного ответа (отсутствия ответа) на один из теоретических вопросов билета; решения задачи после незначительной помощи преподавателя;

- правильных и полных ответов на оба теоретических вопроса билета; неверного решения задачи (не справился с задачей после помощи преподавателя).

Оценка «неудовлетворительно» ставится в случае:

неверных ответов (отсутствия ответов) на оба теоретических вопроса билета;

неверного ответа (отсутствия ответов) на один из теоретических вопросов билета и неверного решения задачи.

5.3. Задания для текущей проверки знаний

Межсессионный контроль

Задания для текущей проверки знаний

По теме 2

1. Из каких этапов состоят круговороты природных и производственно-бытовых вод?
2. Какие основные катионы и анионы поступают в природные воды и за счет чего?
3. В чем качественное различие поверхностных и подземных вод?
4. Какие признаки лежат в основе различных классификаций природных вод?
5. Каковы причины строгого нормирования содержания ионов Са и Mg в водах теплоэнергетических установок?
6. В чем сущности «углекислотного» равновесия и связанных с ним понятий стабильности и нестабильности воды?
7. Почему концентрации кремнийсодержащих веществ и органических примесей характеризуются условными величинами?

По теме 4

1. Перечислите типы сточных вод, которые могут возникать при эксплуатации ТЭС
2. Дайте определение ПДК вредных веществ.
3. Перечислите основные показатели сточных вод, подлежащие контролю.
4. Чем опасны воды прямоточных систем охлаждения?
5. Что определяет повышенную минерализацию сточных вод ионитных ВПУ?

По теме 5

1. Какие два признака характерны для частиц коллоидных размеров?
2. Почему коллоидные системы являются стабильными?
3. Какие показатели качества воды изменяются в процессе коагуляции?
4. Напишите основные химические реакции процесса известкования воды.
5. Почему с ростом температуры от 10—20 до 30—40 °С качество известкованной воды должно улучшаться?
6. Какие факторы влияют на отличие производственных показателей качества известкованной воды от расчетных?
7. С помощью каких реагентов, кроме известкового молока, можно улучшить показатели качества обработанной в осветлителе воды?
8. Нарисуйте принципиальную схему осветлителя с основными потоками воды и реагентов.
9. Как организовано хранение и приготовление растворов реагентов, используемых при работе осветлителей?

По теме 7

1. Какой знак несет матрица анионита с фиксированными потенциалобразующими ионами?
2. Назовите преимущества и недостатки процесса Na-катионирования при его организации в одну и две ступени.
 3. Напишите уравнения регенерации для Na-катионитного фильтра.
4. Нарисуйте выходную кривую H-катионитного фильтра и поясните ее характерные особенности.
5. Чем различаются параллельно-точная и противоточная технологии ионного обмена и конструкции фильтров?
6. Какие схемы соединения попитых фильтров реализуются в обессоливающих установках?
7. Какие основные принципы реализуются в малосточных схемах ионитной обработки воды?

По теме 12

1. Каково назначение испарительных установок на ТЭС?
2. Поясните принцип работы испарителей мгновенного вскипания.
3. За счет чего происходит загрязнение солями вторичного пара?
4. Поясните процесс промывки пара в слое воды.
5. Какие методы предварительной обработки воды используются для предотвращения отложений в испарителях?
6. За счет чего достигается эффективность применения на ТЭС малосточной технологии?

Экзаменационный контроль **Вопросы к экзамену**

1. Требования к качеству пара подпиточной, питательной воды применяемым на ТЭС в зависимости от назначения и параметров.
2. Использование водного теплоносителя на ТЭС и его потери. Влияние примесей на надежность работы оборудования.
3. Основные требования к качеству контурных и добавочных вод и охлаждающих систем с целью уменьшения скорости коррозии и отложений. Нормативные показатели.
4. Поступление примесей в природную воду. Классификация и характеристика вод их примесей.
5. Технологические показатели качества природных, контурных вод.
6. Поведение примесей с повышением температуры. Растворимость и произведение растворимости.
7. Классификация основных технологических процессов обработки воды. сточные воды и ПДК загрязняющих примесей.
8. Технология и аппараты предварительной очистки воды. Физико-химические процессы происходящие при коагуляции примесей воды. Оптимизация процессов.
9. Сущность методов осаждения. Технологическая схема известкования воды, условия ее применения.
10. Электромагнитные фильтры конструкции, принцип работы.
11. Технология ионнообменной очистки природных и конурных вод. Основные закономерности ионного обмена. Иониты.
12. Технология Na – катионирования применяемое оборудование и процессы происходящие в нем.
13. Технология H – катионирования применяемое оборудование и процессы происходящие в нем.
14. Технологические схемы H – Na катионирования, область их применения.
15. Принципиальные схемы химического обеспечения воды. Изменение показателей качества по ступеням.
16. Фильтры смешенного действия. Устройство, назначение.
17. Комплексные воднохимический режим. общие положения.
18. Технология обработки высокоминерализованных природных и сбросных вод. Общие требования.
19. Испарительные, выпарные установки. Устройство, принцип действия.
20. Методы обеспечения чистоты пара и предотвращения накипиобразования.
21. Принцип обратного осмоса. Свойства мембран их характеристики.
22. Мембранные технологии очистки воды и требования качеству исходной воды.
23. Схемы электродиализных установок очистки вод.
24. Комплексная очистка высокоминерализованных вод и сбросных растворов. Их повторное использование.

25. Устройство и принцип работы осветлителя. Схема включения.
26. Устройство и принцип работы ионоселективного фильтра схема включения.
27. Устройство и принцип работы ионоселективного фильтра . Схема включения.
28. Конструкция и назначение деаэраторов. принцип работы.
29. Конструкция и назначение декарбонизатора. Принцип работы.
30. Конструкции испарителей, принцип работы.
31. Способы поддержания качества питательной воды и пара котлоагрегатов и парогенераторов в процессе эксплуатации.
32. Физико-химические процессы очистки воды отличные от ионоселективных термических процессов.
33. Химическое связывание растворенных газов, область применения, применяемые реагенты и оборудование.
34. Борьба с биологическим зарастанием теплоэнергетического оборудования.
35. Технология стабилизации воды подкислением, фосфатированием и комбинированным способом. Применяемое оборудование.
36. Отложения в паровых котлах. Фосфатирование и щелочение котловой воды. Назначение, применяемое оборудование и реагенты.
37. Пароводяной баланс котлов. Ступенчатое испарение. Назначение, принцип работы.
38. Коррозия теплоэнергетического оборудования, способы ее предотвращения.

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

- а) Основная литература:
 1. Водоподготовка в энергетике. Копылов А.С., Лавыгин В.М.. Издательство МЭИ – 2003г.
- б) дополнительная литература:
 1. Стерман Л.С., Покровский В.Н. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС. М.: Энергоиздат 1991г.
 2. Маргулова Т.Х., Мартынова О.И.. Водные режимы тепловых и атомных электростанций. М.: Высшая школа. 1987г.
 3. Белан Д.И. Водоподготовка: расчеты, примеры задач. М.: Энергия. 1980г.

Содержание

Аннотация	3
1. Цели и задачи дисциплины, ее связь с другими курсами специальности	4
2. Краткий конспект лекций	4
3. Лабораторные работы	
3.1. Методические рекомендации по проведению лабораторных занятий	6
3.2. Техника безопасности при проведении лабораторных работ	7
3.3. Лабораторная работа № 1	8
3.4. Лабораторная работа № 2	11
3.5. Лабораторная работа № 3	15
3.6. Лабораторная работа № 4	19
3.7. Лабораторная работа № 5	23
3.8. Примеры задач для лабораторного практикума	29
4. Самостоятельная работа студентов	
4.1. Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы	29
4.2. Вопросы для самостоятельного обучения	29
4.3. График самостоятельной работы студентов	30
5. Материалы по контролю качества образования	
5.1. Методические указания по организации контроля знаний студентов	30 31
5.2. Критерии оценки знаний студентов	32
5.3. Задания для текущей проверки знаний	
6. Список рекомендуемой литературы	35