

Кафедра теплотехники и теплоэнергетики

Водоподготовка

Учебно – Методический комплекс

Информация о дисциплине
Рабочие учебные материалы
Информационные ресурсы дисциплины
Блок контроля освоения дисциплины

Энергетический институт

Специальности:

140101.65 – тепловые электрические станции

140104.65 - промышленная теплоэнергетика

Направление подготовки бакалавра

140100.62 – теплоэнергетика

Утверждено редакционно-издательским советом университета

УДК 621.311.22:628.16.04.08(07)

Водоподготовка: учебно-методический комплекс (информация о дисциплине, рабочие учебные материалы, информационные ресурсы дисциплины, блок контроля освоения дисциплины) / сост. Н.Т. Амосов. - СПб: Изд-во СЗТУ, 2008. – 69 с.

Учебно-методический комплекс разработан в соответствии с требованиями государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования.

Дисциплина позволяет получить знания, охватывающие теоретические основы химических и термических методов обработки воды, водные режимы ТЭЦ, КЭС, АЭС и центральных котельных, рабочих процессов на водоподготовительных установках, их конструктивные особенности, схемы подключения и методики расчета, режимы эксплуатации и методы проектирования.

Рассмотрено на заседании кафедры теплотехники и теплоэнергетики 09.09.08 г.; одобрено методической комиссией Энергетического института 19.11.08 г.

Рецензенты: кафедра теплотехники и теплоэнергетики СЗТУ (зав. кафедрой В.А. Лебедев, проф.), кафедра промышленной теплоэнергетики СПбГПУ (зав. кафедрой В.М. Боровков, д-р техн.наук, проф.)

Составитель Н.Т. Амосов, канд. техн. наук, проф.

© Северо-Западный государственный заочный технический университет, 2009
© Амосов Н.Т., 2009

1. Информация о дисциплине

1.1. ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель изучения дисциплины - **приобретение знаний и навыков в области** подготовки воды для использования в технологическом цикле теплоэнергетических установок, методов обработки воды, вопросов эксплуатации и проектирования водоподготовительного оборудования.

Задачи изучения дисциплины – **иметь представление** о роли водоподготовительных установок в структуре теплоэнергетического оборудования ТЭС, ТЭЦ, АЭС и промышленных предприятий; знать теоретические основы, рабочие циклы, термодинамические процессы, характеристики, конструкции; уметь производить конструктивные расчеты, поверочные расчеты, выбирать оптимальные режимы эксплуатации водоподготовительных установок, владеть методиками проектирования и эксплуатации.

Место дисциплины в учебном процессе – **базируется** на ранее изученном материале комплекса общепрофессиональных и специальных дисциплин, который обеспечивает требуемый уровень подготовки инженеров по специальности 140101.65 –тепловые электрические станции и 140104.65 – промышленная теплоэнергетика в соответствии с действующим государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования. Для изучения необходимы знания, полученные в дисциплинах «Математика», «Химия», «Физика», «Сопротивление материалов», «Термодинамика», «Гидрогазодинамика» и «Теплопередача». В свою очередь сведения, полученные при изучении дисциплины, используются при курсовом и дипломном проектировании.

1.2. Содержание дисциплины и виды учебной работы

Содержание дисциплины по ГОС

Требования к качеству питательной воды и пару, применяемых на ТЭС и АЭС, в зависимости от уровня параметров и назначения; способы и методы подготовки питательной и сетевой воды; конструкции аппаратов для очистки воды, принципы их работы и условия эксплуатации; методы и способы поддержания качества питательной воды и пара котельных агрегатов и парогенераторов в процессе эксплуатации; поддержание водно-химических режимов.

Объём дисциплины и виды учебной работы

Виды учебной работы	Всего часов		
	Форма обучения		
	Очная	Очно-заочная	Заочная
Общая трудоёмкость дисциплины	100		
Работа под руководством преподавателя (включая ДОТ)	60	60	60
В т.ч. аудиторные занятия:	50	24	12
лекции	38	16	8
практические занятия (ПЗ)	0	0	0
лабораторные работы (ЛР)	12	8	4
другие виды аудиторных занятий	0	0	0
Самостоятельная работа студента	40	40	40
Промежуточный контроль, количество	3	4	4
в т.ч. курсовой проект (работа)	0	0	0
контрольная работа (реферат)	0	1	1
Вид итогового контроля (зачёт, экзамен)	Зачёт		

2. Рабочие учебные материалы

2.1. Рабочая программа (объём дисциплины 100 часов)

Введение (4 часа)

[1], с. 2-14; [2], с. 5-13; [3], с. 4-8

Методы обработки воды для теплоэнергетических установок. Типы теплоэнергетических предприятий. Схемы конденсационных электрических станций. Схемы теплоэлектроцентралей. Схемы промышленно-отопительных и отопительных котельных. Потери пара и конденсата, восполнение потерь.

Возможные последствия от использования низкокачественной воды в пароводяных трактах теплоэнергетических установок. Возможные последствия от несоблюдения водно-химического режима для реакторов, парогенераторов, котельных агрегатов, турбоагрегатов, теплофикационных установок, тепловых сетей и другого оборудования.

Раздел 1. Химические методы обработки воды (60 часов)

1.1. Показатели качества воды (8 часов)

[2], с. 14-35; [3], с. 9-30

Взвешенные (грубодисперсные и коллоидные) вещества. Солеосодержание, удельная электрическая проводимость. Жесткость воды общая. Формы жесткости: кальциевая, магниевая, фосфатная, карбонатная, некарбонатная. Щелочность воды общая. Формы щелочности: гидратная, карбонатная, бикарбонатная, силикатная, фосфатная и др. (за вычетом ионов водорода). Кремнесодержание в виде ионов и коллоидов. Окисляемость. Показатель концентрации водородных ионов. Сухой и прокаленный остатки. Растворенные газы O_2 , CO_2 , N_2 . Ионный состав воды. Нормирование качества воды для технологических схем в теплоэнергетике.

1.2. Очистка добавочной воды методом коагуляции (8 часов)

[2], с. 35-53; [3], с. 30-41

Реагенты (коагулянты и флокулянты). Расход реагентов на коагуляцию. Схема коагуляционной установки с осветлителем. Изменение показателей качества воды при коагуляции. Известкование добавочной воды. Совместная обработка воды методами коагуляции и известкования.

1.3. Осветление воды фильтрованием (8 часов)

[2], с. 68-78; [3], с. 47-82, с. 149-152, 213-220

Схемы осветлительных фильтров. Технологические характеристики осветлительных фильтров (фильтрующие материалы, высота фильтрующего слоя, величина зерен фильтрующих материалов, скорости фильтрования природных и осветленных вод, интенсивность взрыхляющей промывки водой, продолжительность взрыхления, технология водовоздушной промывки). Расчет осветлительных фильтров.

1.4. Обработка воды методами ионного обмена (20 часов)

[2], с. 78-120; [3], с. 83-143, с. 152-174, 220-231

Структура ионитов: катиониты, аниониты. Матрица. Ионогенные группы. Химический эквивалент. Характеристики ионообменных материалов. Ионообменная способность: статическая обменная емкость (СОЕ), динамическая обменная емкость (ДОЕ), полная динамическая обменная емкость (ПДОЕ). Защитный и работающий слои. Выходные кривые ионного обмена. Умягчение добавочной воды на катионитах. Реакции, происходящие на катионитах при умягчении воды. Реакции регенерации катионитов поваренной солью. Расход поваренной соли на регенерацию. Обессоливание воды на

ионитах. Реакции обессоливания воды ионитами и регенерации ионитов. Схема установки обессоливания с последовательным расположением катионитового и анионитового фильтров. Расчет обессоливающей установки. Декарбонизация добавочной воды. Конструкция декарбонизатора. Фильтры со смешанным слоем ионитов. Особенности регенерации смешанного слоя ионитов.

1.5. Химическое обескислороживание воды (8 часов)

[2], с. 151-152; [3], с. 182-184; [7], с. 37,39-50,54

Обескислороживание воды сульфитами, гидразином и его производными. Обескислороживание воды электрорезинообменниками (ЭИ). Структура ЭИ и реакции регенерации ЭИ в фильтре. Основные технологические характеристики обескислороживающих фильтров (фильтрующие материалы, высота фильтрующего слоя, скорости фильтрации, температура фильтруемой воды).

1.6. Пленочные методы обработки воды (8 часов)

[2], с. 120-142; [3], с. 194-203, 232-234

Обессоливание воды и концентрирование растворов методами обратного осмоса и ультрафильтрации. Типы и характеристики ацетатцеллюлозных мембран для обратного осмоса и ультрафильтрационных мембран. Схемы установок для концентрирования (обессоливания) с применением обратного осмоса и ультрафильтрации. Схемы устройств аппаратов рулонного и плоскокамерного типов. Выбор мембран и аппаратов. Обессоливание воды и концентрирование растворов методами электродиализа. Схема электродиализа в многокамерном аппарате. Расход энергии на процесс электродиализа в многокамерном аппарате. Электродиализные установки: прямоточные, циркуляционные. Расчет основных параметров электродиализной установки. Электродиализный метод обессоливания (концентрирования) в комбинации с другими процессами (ионным обменом, выпариванием).

Раздел 2. Термические методы обработки воды (20 часов)

2.1. Термическое обессоливание, дисцилляция (8 часов)

[2], с. 163-215; [3], с. 184-194

Назначение испарителей в технологических схемах теплоэнергетических установок и промышленных предприятий. Основные характеристики испарителей поверхностного типа (давление первичного пара, давление вторичного пара, производительность, геометрические размеры труб греющей секции, разность температур насыщения первичного пара и вторичного пара). Схемы включения испарителей.

Методы снижения интенсивности накипеобразования на поверхностях нагрева. Водно-химические режимы испарительных установок. Требования к качеству питательной воды и дисциллятору испарителей. Допустимая

концентрация солей в рассоле. Тепловой и конструктивный расчеты одноступенчатого испарителя.

2.2. Термическая деаэрация (12 часов)

[2], с. 142-150; [7], с. 10-12, 14, 19, 20, 22, 23, 26-28; [8], с.4 -42

Влияние растворенных в воде газов на работу теплоэнергетического оборудования. Коррозия металла, необходимость удаления из воды растворенных газов. Требования к качеству деаэрированной воды. Деаэраторы: атмосферные, вакуумные, повышенного давления. Место установки деаэраторов в технологических схемах. Основные характеристики деаэраторов (производительность, емкость аккумуляторного бака, давление, температура деаэрированной воды, концентрации кислорода и свободной углекислоты в питательной воде после деаэратора). Подогреватели смешанного действия. Применение в схемах регенерации энергоблоков тепловых электрических станций.

Раздел 3. Водные режимы центральных котельных, теплоэлектроцентралей, ТЭС и АЭС (14 часов)

3.1. Водные режимы котельных и ТЭЦ с барабанными котлами среднего и высоких давлений (6 часов)

[4], с. 145, 146, 154-157; [3], с. 204-212

Влияние примесей на работу котельных агрегатов. Схемы узлов подпитки котельных агрегатов и теплофикационных установок. Коррекционные режимы котловой воды. Продувка котельных агрегатов: периодическая, непрерывная.

3.2. Водные режимы тепловых и атомных электростанций (8 часов)

[4], с. 139-191; [6], с. 187-206

Подготовка добавочной воды для котельных агрегатов, парогенераторов, систем спецводоочисток. Водные режимы прямоточных котельных агрегатов: гидразинно-аммиачный, комплексонный, нейтральный. Очистка основного конденсата на ТЭС и АЭС. Магнитная обработка воды. Очистка радиоактивно загрязненных вод основных и вспомогательных контуров АЭС с реакторами типа ВВЭР и РБМК.

Заключение (2 часа)

Перспективы развития и совершенствования водоподготовительных установок. Пути повышения эффективности работы. Энергосбережение и защита окружающей среды.

2.2. Тематический план дисциплины (для очной формы обучения)

№ п/п	Наименование раздела (отдельной темы)	Кол-во часов по очной форме обучения	Виды занятий											
			Лекции и		ПЗ (С)		ЛР		Самостоятельная работа	Тесты	Контрольные работы	ПЗ (С)	ЛР	Курсовые работы (проекты)
			Аудит.	ДОТ	Аудит.	ДОТ	Аудит.	ДОТ						
ВСЕГО		100	38	6	-	-	12	4	40		-	-		-
	Введение	4	2						2					
1	Раздел 1. Химические методы обработки воды	60	22	4			4		30	№1				
1.1	Показатели качества воды	8	2				2	2	2				№1,2	
1.2	Очистка добавочной воды методом коагуляции	8	2						6					
1.3	Осветление воды фильтрованием	8	2				2		4				№3	
1.4	Обработка воды методами ионного обмена	20	12	2					6					
1.5	Химическое обескислороживание воды	8	2						6					
1.6	Плёночные методы обработки воды	8	2						6					
2	Раздел 2. Термические методы обработки воды	20	8	2			4		6	№2				
2.1	Термическое обессоливание, дисцилляция	8	4						4					
2.2	Термическая деаэрация	12	4				4	2	2				№4	
3	Раздел 3. Водные режимы центральных котельных, теплоэлектроцентралей, ТЭС и АЭС	14	6	2			4		2	№3				
3.1	Водные режимы котельных и ТЭЦ с барабанными котлами среднего и высоких давлений	6	1				4		1				№5	
3.2	Водные режимы тепловых и атомных электростанций	8	5	2					1					
	Заключение	2		2										

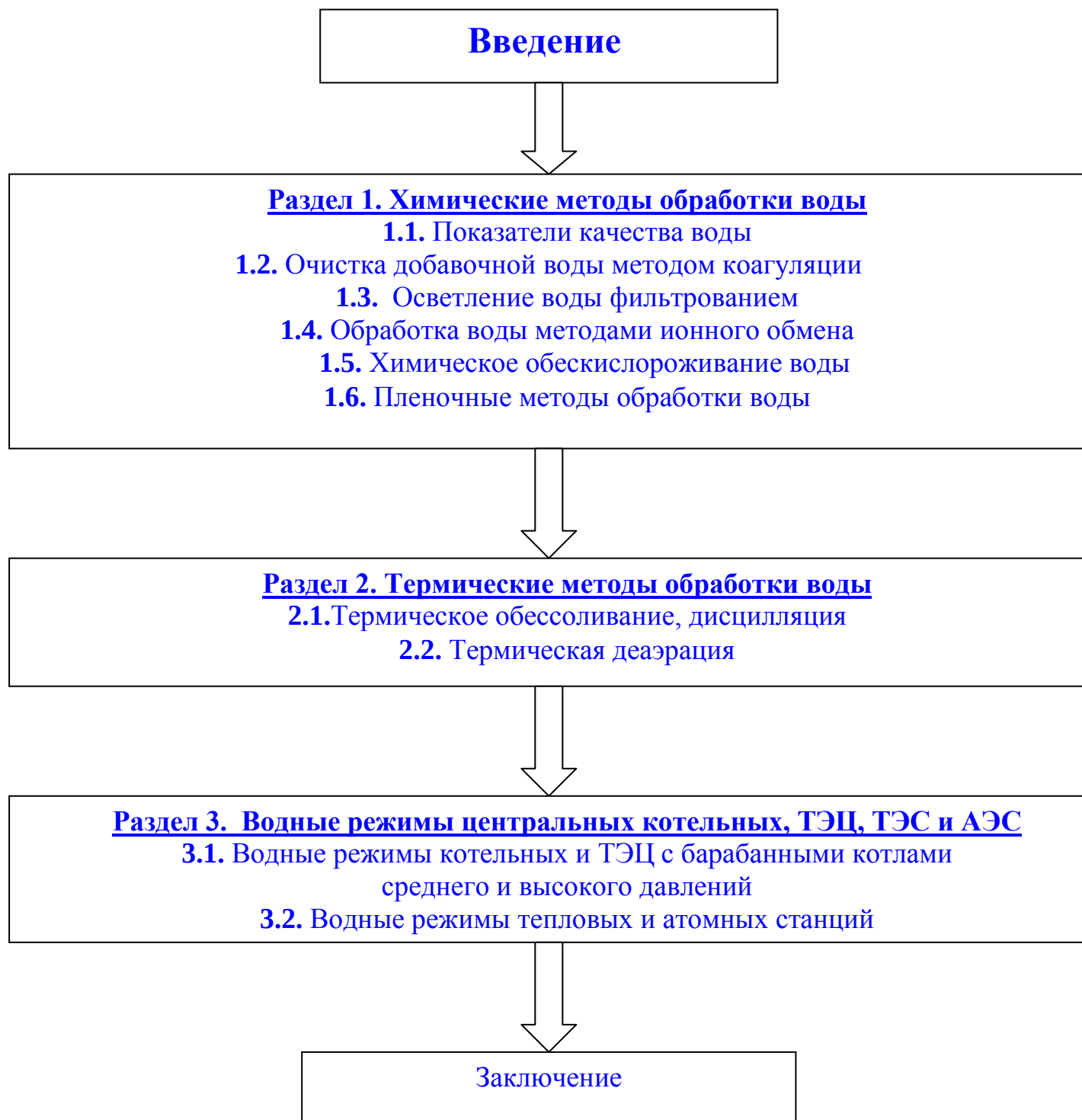
для очно-заочной формы обучения

№ п/п	Наименование раздела (отдельной темы)	Кол-во часов по очной форме обучения	Виды занятий											
			Лекции и		ПЗ (С)		ЛР		Самостоятельная работа	Тесты	Контрольные работы	ПЗ (С)	ЛР	Курсовые работы (проекты)
			Аудит.	ДОТ	Аудит.	ДОТ	Аудит.	ДОТ						
ВСЕГО		100	16	28	-	-	8	8	40		1	-		-
	Введение	4	2						2					
1	Раздел 1. Химические методы обработки воды	60	4	18			4	4	30	№1				
1.1	Показатели качества воды	8	2				2	2	2				№1,2	
1.2	Очистка добавочной воды методом коагуляции	8		2					6					
1.3	Осветление воды фильтрованием	8					2	2	4				№3	
1.4	Обработка воды методами ионного обмена	20	2	12					6					
1.5	Химическое обескислороживание воды	8		2					6					
1.6	Плёночные методы обработки воды	8		2					6					
2	Раздел 2. Термические методы обработки воды	20	6	4			2	2	6	№2				
2.1	Термическое обессоливание, дисцилляция	8	2	4					2					
2.2	Термическая деаэрация	12	4				2	2	4				№4	
3	Раздел 3. Водные режимы центральных котельных, теплоэлектроцентралей, ТЭС и АЭС	14	4	4			2	2	2	№3				
3.1	Водные режимы котельных и ТЭЦ с барабанными котлами среднего и высоких давлений	6	2				2	2					№5	
3.2	Водные режимы тепловых и атомных электростанций	8	2	4					2					
	Заключение	2		2										

для заочной формы обучения

№ п/п	Наименование раздела (отдельной темы)	Кол-во часов по очной форме обучения	Виды занятий											
			Лекции		ПЗ (С)		ЛР		Самостоятельная работа	Тесты	Контрольные работы	ПЗ (С)	ЛР	Курсовые работы (проекты)
			Аудит.	ДОТ	Аудит.	ДОТ	Аудит.	ДОТ						
ВСЕГО		100	8	4 4			4	4	40		1			
	Введение	4	1	1					2					
1	Раздел 1. Химические методы обработки воды	60	1	2 1			4	4	30	№ 1				
1.1	Показатели качества воды	8					2	2	4				№1 ,2	
1.2	Очистка добавочной воды методом коагуляции	8		2					6					
1.3	Осветление воды фильтрованием	8					2	2	4				№ 3	
1.4	Обработка воды методами ионного обмена	20	1	1 5					4					
1.5	Химическое обескислороживание воды	8		2					6					
1.6	Плёночные методы обработки воды	8		2					6					
2	Раздел 2. Термические методы обработки воды	20	3	1 1					6	№ 2				
2.1	Термическое обессоливание, дисцилляция	8		5					3					
2.2	Термическая деаэрация	12	3	6					3					
3	Раздел 3. Водные режимы центральных котельных, теплоэлектроцентралей, ТЭС и АЭС	14	3	9					2	№ 3				
3.1	Водные режимы котельных и ТЭЦ с барабанными котлами среднего и высоких давлений	6	2	3					1					
3.2	Водные режимы тепловых и атомных электростанций	8	1	6					1		№ 1			
	Заключение	2		2										

2.3. Структурно-логическая схема дисциплины «Водоподготовка»



2.4. Временной график изучения дисциплины при использовании ДОТ

№	Название раздела (темы)	Продолжительность изучения раздела (темы) из расчета 4 часа в день
1	Введение	1 дн.
2	Раздел 1. Химические методы обработки воды	14 дн.
3	Раздел 2. Термические методы обработки воды	5 дн.
4	Раздел 3. Водные режимы центральных котельных, теплоэлектроцентралей, ТЭС и АЭС	4 дн.
5	Заключение	1 дн.
6	Контрольная работа №1	4 дн.
	Итого	29 дн.

2.5. Практический блок

2.5.1. Лабораторный практикум

(для очной формы обучения)

Номер и наименование раздела (темы)	Наименование лабораторной работы	Количество часов	
		ауд	ДОТ
Раздел 1	1. Определение общей щелочности воды и отдельных форм щелочности	1	1
	2. Определение жесткости воды	1	1
	3. Удаление из воды коллоидных примесей методом коагуляции	2	
Раздел 2	4. Определение активности ионов водорода (значения рН) воды	4	2
Раздел 3	5. Умягчение воды методом катионного обмена	4	-

(для очно-заочной формы обучения)

Номер и наименование раздела (темы)	Наименование лабораторной работы	Количество часов	
		ауд	ДОТ
Раздел 1	1. Определение общей щелочности воды и отдельных форм щелочности	1	1
	2. Определение жесткости воды	1	1
	3. Удаление из воды коллоидных примесей методом коагуляции	2	2
Раздел 2	4. Определение активности ионов водорода (значения рН) воды	2	2
Раздел 3	5. Умягчение воды методом катионного обмена	2	2

(для заочной формы обучения)

Номер и наименование раздела (темы)	Наименование лабораторной работы	Количество часов	
		ауд	ДОТ
Раздел 1	1. Определение общей щелочности воды и отдельных форм щелочности	1	1
	2. Определение жесткости воды	1	1
	3. Удаление из воды коллоидных примесей методом коагуляции	2	2
Раздел 2	4. Определение активности ионов водорода (значения pH) воды	-	-
Раздел 3	5. Умягчение воды методом катионного обмена	-	-

2.6. Балльно - рейтинговая система оценки знаний

Дисциплина «Водоподготовка» состоит из трёх разделов. Изучение дисциплины осуществляется в седьмом семестре и завершается сдачей зачета. После изучения каждой темы необходимо ответить на вопросы теста текущего (промежуточного) контроля, а после завершения работы с разделом – на вопросы контрольного теста. Для подготовки к контрольному тесту предлагается пройти тренировочный тест.

За каждый вид самостоятельных работ начисляется определенное число баллов:

- за один правильный ответ контрольного теста – 3 балла;
- лабораторные работы – 50 баллов;
- за защищенную контрольную работу – 20 баллов;
- за посещение лекций (для очной формы обучения) – 20 баллов.

Ответы на вопросы тренировочных тестов по разделам не оцениваются, так как эти тесты являются репетицией перед сдачей контрольных тестов.

При успешной работе с материалами всех разделов дисциплины студент может получить максимум 100 баллов. Для получения допуска к зачету достаточно набрать более двух третей от этой суммы.

Итоговая оценка:

$$1. (\text{тест}=10 \cdot 3=30) + (\text{лаб. раб.}=50) + (\text{контр. раб.}=1 \cdot 20=20)=100.$$

$$2. (\text{тест}=10 \cdot 3=30) + (\text{лаб. раб.}=50) + (\text{посещение лекций}=20)=100.$$

3. Информационные ресурсы дисциплины

3.1. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основной:

1. Копылов, А.С. Водоподготовка в энергетике: учеб. пособие для вузов / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. – 2-е изд., стер. – М.: Изд-во МЭИ, 2006. -309 с.

Дополнительный:

2. Стерман, Л.С. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС: учеб. пособие для вузов / Л.С. Стерман, В.Н. Покровский. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 228 с.
3. Громогласов, А.А. Водоподготовка: процессы и аппараты: учеб. пособие для вузов / А.А. Громогласов; под ред. О.И. Мартыновой. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 272 с.
4. Вихрев, В.Ф. Водоподготовка: учебник для вузов / В.Ф. Вихрев; под ред. М.С. Шкроба. - М.: Энергия, 1973. - 415 с.
5. Кожевников, А.В. Водоподготовка: теоретические основы типовых процессов: учеб. пособие / А.В. Кожевников. - Л.: СЗПИ, 1986. - 89 с.
6. Маргулова, Т.Х. Водные режимы тепловых и атомных электростанций: учебник для вузов / Т.Х. Маргулова, О.И. Мартынова. - М.: Высш. шк, 1987. - 319 с.
7. Химический анализ в теплоэнергетике. Тетриметрический и гравиметрический методы анализа / В.Н. Кулешов [и др.]. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. -124 с.
8. Смешивающие подогреватели паровых турбин / В.Ф. Ермолаев [и др.]. - М.: Энергоиздат, 1982. - 206 с.
9. Ривкин, С.Л. Теплофизические свойства воды и водяного пара / С.Л. Ривкин., А.А. Александров. - М.: Энергия, 1980. - 423 с.

3.2. Методические указания к выполнению лабораторных работ

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Перед выполнением работ необходимо изучить основные теоретические положения. Студент обязан 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 допускаемую 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 аргументированным 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. Результаты могут быть полезны 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 качества исследуемой воды на работу теплоэнергетического оборудования (образование накипи, шлама, коррозии);
3. Рекомендации по обработке исходной воды для получения воды с нормированными характеристиками.

Некоторые справочные материалы, необходимые для анализа, приведены в приложениях 1-3.

Вместо лабораторных работ, предложенных в данных указаниях, студенты, занимающиеся с использованием ДОТ, 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.

Охрана труда и техника безопасности при проведении лабораторных работ

Организация безопасной работы при выполнении лабораторных работ на кафедре теплоэнергетики производится в соответствии с требованиями ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ "Опасные и вредные производственные факторы. Классификация", ГОСТ 12.1.004-85. ССБТ. "Пожарная безопасность. Общие требования", ГОСТ 12.1.005-76. ССБТ. "Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования", ГОСТ 12.1.010-76. ССБТ. "Взрывобезопасность. Общие требования", ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. "Электробезопасность. Общие требования".

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% - ным 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% - ным 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% - ный раствор уксусной кислоты и 2% - ный 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 вскрывать волдыри.

По окончании лабораторных работ необходимо привести в порядок рабочее место.

Студенты, не выполняющие правила техники безопасности, отстраняются от проведения лабораторных работ.

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.

I I. 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 $\text{pH}=3\ldots 4$ (определение pH – лабораторная работа 4). Общую щелочность воды подсчитывают по формуле, мг-экв/л

$$\text{Щ}_0 = \frac{K \cdot n \cdot A \cdot 1000}{V}, \quad (1)$$

где **K** - коэффициент децинормальности кислоты;

n - нормальность кислоты, мг-экв/л (при использовании 0,1 н раствора $K \cdot n = 0,1$ 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: **$\text{Щ}_Г$ - гидратная щелочность** - обуславливается присутствием в воде гидроксильных ионов OH^- ; **$\text{Щ}_К$ - карбонатная щелочность** - обуславливается присутствием в воде карбонатных ионов CO_3^{2-} ; **$\text{Щ}_Б$ - 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 рН раствора.

Титрование проводится в присутствии двух индикаторов, каждый из которых рассчитан на определенный диапазон значений рН. Одним индикатором является метилоранж, окраска которого изменяется на желтую в кислой среде при $\text{pH}=3\ldots 4$, вторым - фенолфталеин, окраска которого изменяется на розовую в щелочной среде при $\text{pH} \geq 8,4$. 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) $\text{Щ}_\text{б}$, 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 $\text{Щ}_\text{б}$ производится по формуле (1), где $A = M - 2\Phi$, для расчета $\text{Щ}_\text{к}$ следует принять $A = 2\Phi$;

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

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 $\text{Щ}_\text{г}$ в формулу (1) следует подставить $A=\Phi$.

При $K \cdot n=0,1$ 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 Δ_V , мл и кислоты Δ_A , мл, пошедшей на титрование, мг-экв/л

$$\Delta_{\text{щ}_m} = \pm \frac{100 \cdot \text{ж}}{V} \sqrt{\Delta_A^2 + \frac{A^2}{V^2} \cdot \Delta_V^2} \quad . \quad (2)$$

Зависимость форм щелочности от реакций на метилоранж и фенолфталеин

Реакция только на метилоранж	Реакция на метилоранж и фенолфталеин					Реакция только на фенолфталеин
Ф=0	2Ф<М	2Ф<М	2Ф=М	2Ф>М	2Ф>М	М=0
A=M	A=M-2Ф	A=2Ф	A=2Ф	A=2(М-Ф)	A=2Ф-М	A=Ф
Щ _б	Щ _б	Щ _к	Щ _к	Щ _к	Щ _г	Щ _г

В случае многократных измерений и вычислений щелочности Щ_0 по формуле (1) для оценки точности результатов необходимо определить ее среднеарифметическое значение:

$$\overline{\text{Щ}_0} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Щ}_{0i} \quad ; \quad (3)$$

найти отклонения:

$$\Delta_{\text{щ}_{0i}} = \overline{\text{Щ}_0} - \text{Щ}_{0i} \quad (4)$$

и их квадраты $\Delta_{\text{щ}_{0i}}^2$

и вычислить среднеквадратическое отклонение результатов измерения:

$$\sigma_{\text{щ}_0} = \pm \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^n \Delta_{\text{щ}_{0i}}^2} \quad . \quad (5)$$

Определить доверительные границы ε_p , за пределы которых с заданной доверительной вероятностью $p=0,95$ не выйдет истинное значение щелочности в пробе воды. Запись результата:

$$\text{Щ}_0 = \overline{\text{Щ}_0} \pm \varepsilon_p \quad , \quad (6)$$

где $\varepsilon_p = \sigma_{\text{ш}} \cdot t_p$.

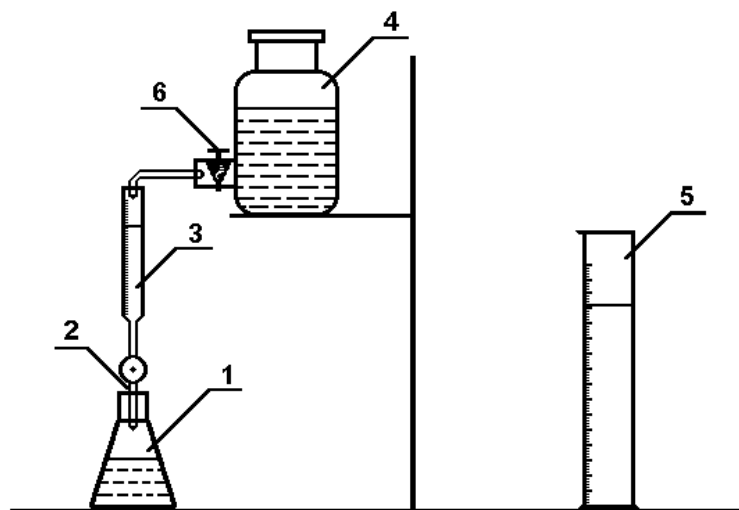
Коэффициент t_p определяется по таблице Лапласа, исходя из условия, что распределение погрешностей подчиняется нормальному закону.

В выражениях (3)...(6) n - число проводимых опытов и соответственно значений щелочности, рекомендуемое число опытов - 3...4; при $n=3$ значение $t_p = 4,30$, при $n=4$ $t_p = 3,18$.

Расчетное значение доверительных границ не должно превышать норму погрешности, найденную по данным [4].

III. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка состоит (рисунок) из колбы-1, бюретки-3 со сливным устройством-2, емкости-4 с 0,1 н раствором HCl, мерной колбы-5 и пипеток с индикаторами (на рисунке не показаны).



Лабораторная установка

IV. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться 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_H в таблицу по форме; в эту же таблицу занести результаты последующих опытов и расчетов;

№ опыта	Начальный объем кислоты в бюретке A_H , мл	Конечный объем кислоты в бюретке A_K , мл	Объем кислоты, затраченный на титрование по фенолфталеину, A_F , мл	Объем кислоты, затраченный на титрование по метилоранжу, A_M , мл	Щелочность общая, $Щ_О$, мг-экв/л
1					
2					
3					

Среднее арифметическое $Щ_О$, мг-экв/л.

Доверительные границы ϵ_p , мг-экв/л.

Результат $Щ_О$, мг-экв/л.

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_F ;

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 A_M ;

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 $Щ_О$;

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

4. Определить отдельные формы щелочности и вычислить, пользуясь таблицей по форме, 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 (см. "Общие указания").

Л и т е р а т у р а: [2], с. 14 - 68; [4], с. 16 - 28, 250 - 260

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 (см. приложение 1). 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 $J_{НК}$.

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

$$J_0 = J_{Ca} + J_{Mg}, \quad (1)$$

или карбонатной и некарбонатной:

$$J_0 = J_K + J_{НК} \quad (2)$$

Установлена следующая классификация жесткости:

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

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

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

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

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

Определяют общую жесткость титрованием анализируемой пробы воды при определенном значении рН 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 хром-темно-синий, или кислотный хром-синий К, или эриохром-черный -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

$$J_0 = \frac{\alpha \cdot K \cdot n \cdot 1000}{V} \quad (3)$$

где α - 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 сильно-щелочная, поэтому к ней добавляют раствор КОН, в присутствии которого ионы Mg^{2+} практически 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).

Магниева 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 $Ca(HCO_3)_2$ и $Mg(HCO_3)_2$.

Численное значение J_K и значение ее погрешности принимаются равными значениям общей щелочности и погрешности ее определения (см. лабораторную работу 1).

Некарбонатная жесткость $J_{НК}$, мг-экв/л, обуславливается наличием в воде хлоридов, сульфатов и других некарбонатных солей кальция и магния ($CaCl_2$, $MgCl_2$, $CaSO_4$, $CaSiO_3$ и др.).

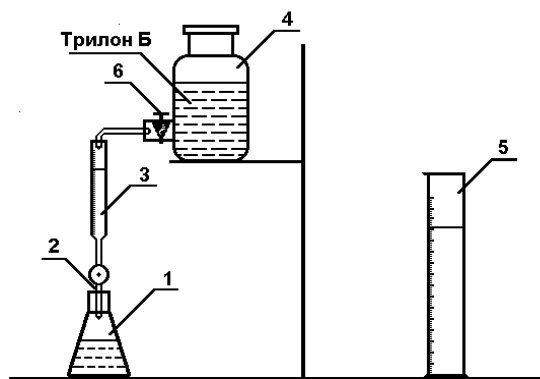
Численное значение $J_{НК}$ определяется из выражения (2) при найденных J_0 и $J_K = Щ_0$; погрешность определения можно вычислить по формуле, мг-экв/л,

$$\Delta_{J_{НК}} = \pm \sqrt{\Delta_{J_0}^2 + \Delta_{J_K}^2}, \quad (4)$$

где $\Delta_{J_K} = \varepsilon_p$ из лабораторной работы 1; $\Delta_{J_0} = \varepsilon_p$ из лабораторной работы 2.

III. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

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



Лабораторная установка

IV. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ 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 измерений, 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 по форме;

№ опыта	Начальный объем трилона Б в бюретке V_n , мл	Конечный объем трилона Б в бюретке V_k , мл	V , мл	Жесткость общая, $J_{\text{О}}$, мг- экв/л
1				
2				
3				

Среднее арифметическое $J_{\text{О}}$, мг-экв/л

Доверительные границы ϵ_p , мг-экв/л

Результат, мг-экв/л

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 эриохром-черного-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 $J_{\text{О}}$, доверительные границы ϵ_p и записать окончательный результат; эти расчеты производить, используя выражения (3)...(6), подставляя вместо щелочности $Щ_{\text{О}}$ жесткость $J_{\text{О}}$.

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 сильнощелочной среды) и 10...15 мг сухой смеси (2-5 капель жидкости) индикатора мурексида; 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 по форме;

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

5. Определить магниевую жесткость воды, используя выражение (7), где $J_{\text{О}}$ принять равной среднему значению $J_{\text{О}}$ (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 (см. "Общие указания").

Л и т е р а т у р а: [2], с. 14 – 35; [4], с. 16 - 28, 68 - 108

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).

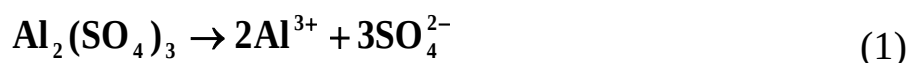
Коллоидные частицы (флокулы), содержащиеся в воде, находятся в беспорядочном броуновском движении. Между ними действуют силы межмолекулярного притяжения и одновременно электростатического отталкивания. Последнее объясняется тем, что однородные коллоидные частицы обладают значительной адсорбционной способностью, 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-растворённых примесей исходной воды используют серно-кислые соли алюминия или железа: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 .

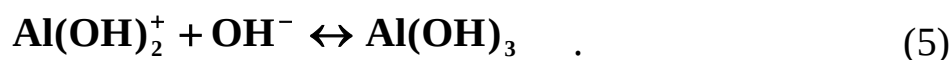
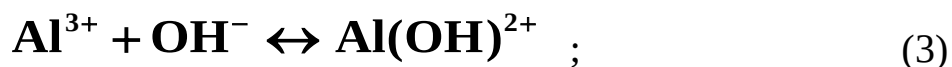
При растворении в воде этих веществ происходит их гидролиз. Рассмотрим гидролиз серно-кислого алюминия. При растворении $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ происходит полная диссоциация:



Вода, как известно, частично диссоциирована:



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



Гидроокись алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$ трудно растворима в воде. Ионы $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ и $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ образуют с сульфат-ионами SO_4^{2-} основные соли $\text{Al}(\text{OH})\text{SO}_4$ и $[\text{Al}(\text{OH})_2]_2\cdot\text{SO}_4$, также трудно растворимые. В результате образуется коллоидный раствор, дзета-потенциал которого положителен.

Аналогично протекают процессы гидролиза и образования 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. 1 показан механизм образования 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.

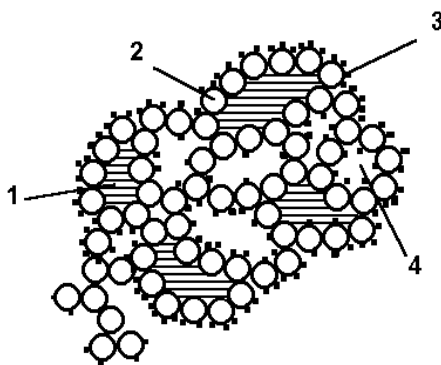


Рис. 1. Механизм образования мицеллы

Процесс гидролиза, как видно из формул (1)...(5), сопровождается снижением концентрации OH^- и повышением концентрации H^+ . Поэтому для достижения полноты гидролиза необходимо восполнять убыль OH^- , иначе говоря, поддерживать оптимальное значение рН 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 значении pH.

Эти задачи решаются опытным путем - проведением пробной коагуляции. Вначале в исходную пробу воды добавляют раствор $Al_2(SO_4)_3$ и определяют дозу коагулятора из выражения, мг/л

$$d_{кг} = (Щ_0 - Щ_{осв}) \cdot 113, \quad (6)$$

где $Щ_0$ и $Щ_{осв}$ - щелочности воды до и после коагуляции, мг-экв/л; 113 - коэффициент пересчета концентрации.

Затем определяется добавка щелочи $\Delta Щ_д$ или кислоты $\Delta К_д$, мг-экв/л, для поддержания оптимального значения pH:

$$Щ_д = Щ_{min} - Щ_0, \quad (7)$$

$$К_д = Щ_0 - Щ_{min}, \quad (8)$$

где $Щ_{min} = (d_{кг}/113) + 0,4$, мг-экв/л.

Погрешность определения общей щелочности исходной и осветленной (после коагуляции) воды при однократном измерении рассчитывается, как это показано в лабораторной работе 1. Погрешность определения дозы коагулятора можно рассчитать, мг/л:

$$\begin{aligned} \Delta d_{кг} &= \pm \sqrt{\left(\frac{\partial d_{кг}}{\partial Щ_0} \cdot 113 \right)^2 \cdot \Delta_{Щ_0}^2 + \left(\frac{\partial d_{кг}}{\partial Щ_{осв}} \cdot 113 \right)^2 \cdot \Delta_{Щ_{осв}}^2} = \\ &= \pm 113 \sqrt{\Delta_{Щ_0}^2 + \Delta_{Щ_{осв}}^2}. \end{aligned} \quad (9)$$

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

$$\Delta_{Щ_{min}} = \pm \sqrt{\Delta_{Щ_0}^2 + \Delta_{Щ_{осв}}^2}. \quad (10)$$

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

$$\Delta_{\text{д}} = \pm \sqrt{2\Delta_{\text{щО}}^2 + \Delta_{\text{щОСВ}}^2} \quad . \quad (11)$$

III. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка (рис. 2) 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).

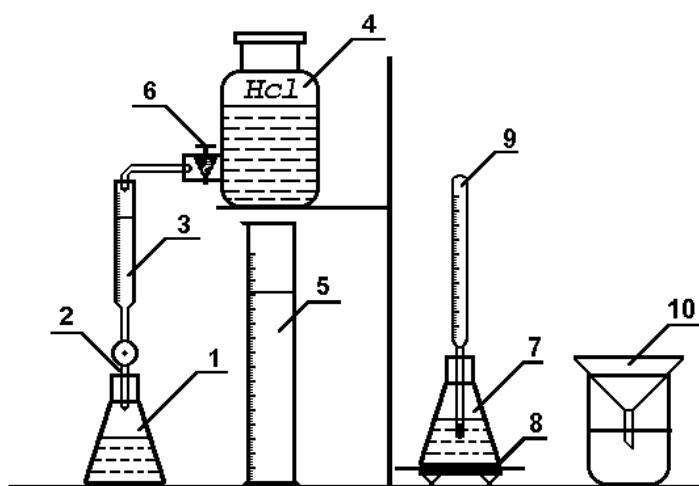


Рис. 2. Лабораторная установка

IV. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ 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 $(5 \pm 0,1)$ минут; затем оставить в покое в течение $(30 \pm 0,1)$ минут; 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. 2) и методику, изложенную в лабораторной работе 1. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу по форме.

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 по форме 1.

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		$\Delta\text{Щ}_{\text{О}}$, мг-экв/л	
Общая щелочность осветленной воды $\text{Щ}_{\text{ОСВ}}$, мг-экв/л		$\Delta\text{Щ}_{\text{ОСВ}}$, мг-экв/л	
Доза коагулятора $d_{\text{кг}}$, мг/л		$\Delta d_{\text{кг}}$, мг/л	
Минимальная щелочность Щ_{min} , мг-экв/л		$\Delta\text{Щ}_{\text{min}}$, мг-экв/л	
Добавка щелочи (кислоты) $\Delta\text{Щ}_{\text{д}}(\Delta\text{К}_{\text{д}})$, мг-экв/л		$\Delta_{\text{д}}$, 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.
- Л и т е р а т у р а: [2], с. 35 - 78; [4], с. 212 - 250

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.

I I. 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. 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 $+23^\circ\text{C}$ концентрации ионов H^+ и OH^- равны друг другу и составляют 10^{-7} г-ион/кг (т. е. $\text{C}_{\text{H}^+} = \text{C}_{\text{OH}^-} = 1 \cdot 10^{-7}$ 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 $\text{H}^+ > 10^{-7}$ (например, $\text{H}^+ = 10^{-6}$, $\text{H}^+ = 10^{-5}$ и т. д.), щелочная реакция при $\text{H}^+ < 10^{-7}$ (например, $\text{H}^+ = 10^{-8}$, $\text{H}^+ = 10^{-9}$ и т. д.).

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

$$\text{pH} = -\lg \text{H}^+. \quad (3)$$

Химически нейтральной воде (раствору) соответствует значение $\text{pH} = -\lg 10^{-7} = 7$, вода с кислой реакцией характеризуется значениями $\text{pH} < 7$, а с щелочной - значениями $\text{pH} > 7$.

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 (величина рН последнего известна). 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

$$A = X + KY, \quad (4)$$

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

Абсолютную погрешность Δ однократного измерения рН нужно принять по данным приложения 2; результат измерения следует записать в виде

$$A_d = A \pm \Delta. \quad (5)$$

Приведенную погрешность однократного измерения можно вычислить по формуле, %

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{\chi_N} 100, \quad (6)$$

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

III. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В качестве лабораторной установки используется лабораторный pH-метр типа pH-262, общий вид комплекта которого представлен на рис. 1. Здесь: 1 - прибор pH-262; 2 - ручной термокомпенсатор ТКР-1; 3- штатив с рабочим комплектом принадлежностей. На рис. 2 показаны используемые рабочие принадлежности: 1- вспомогательный (хлорсеребряный) электрод ЭВЛ-1МЗ; 2 - бачок проточного вспомогательного электрода; 3 - термометр; 4 - стеклянный измерительный электрод ЭСЛ-43(63)-07; 5 - наконечник электролитического ключа; 6 - стакан с анализируемым раствором; 7 - автоматический термокомпенсатор. Подробнее конструкция и принцип действия прибора pH-262 изложены в [7].

Наряду с комплектом pH-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, pH 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) (см. лабораторную работу 3).

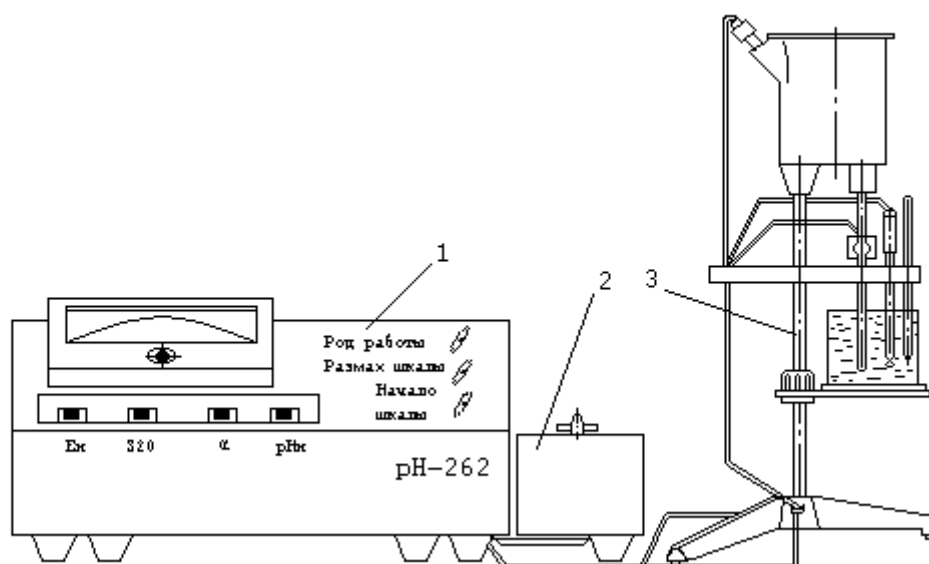


Рис. 1. Лабораторная установка

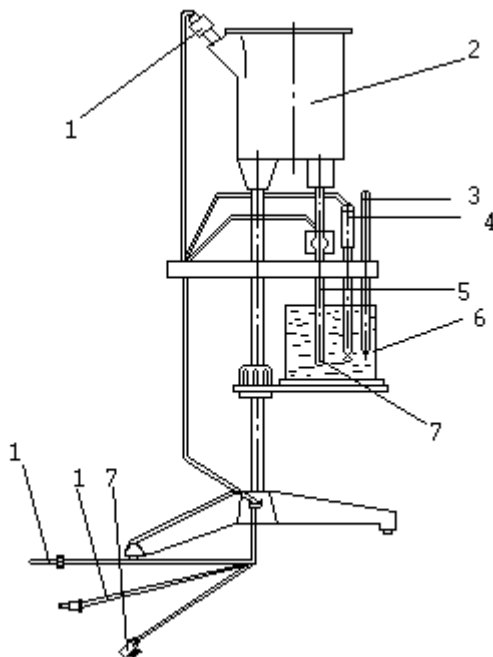


Рис. 2. Штатив с рабочим комплектом принадлежностей

IV. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ 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 (рис. 1) так, чтобы при измерении термометр-3, электрод-4, наконечник электролитического ключа-5 и термокомпенсатор-7 (рис. 2) 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 (порядок настройки изложен в [7]).

5. Измерить рН анализируемой пробы в стакане 1; для этого:

а) нагреть пробу до $(80 \pm 1)^\circ\text{C}$, установить стакан с анализируемой пробой на столике штатива;

б) измерить значения рН пробы с интервалом через (по мере остывания раствора) от температуры $+80^\circ\text{C}$ до температуры $+25^\circ\text{C}$;

в) определить погрешность измерения; результаты измерений и расчетов занести в таблицу по форме;

№ опыта	Температура раствора, °С	Показание прибора, рН	Абсолютная погрешность измерения, рН	Результат измерения, рН
1				
2				
3				
4				
5				
6				

П р и м е ч а н и я: 1) отсчеты показаний рН-метра следует производить не ранее чем через 1 минуту после погружения преобразователей в анализируемую пробу воды (из-за инертности термокомпенсатора); 2) по окончании работы преобразователи должны оставаться погруженными в воду.

г) снять стакан 1 с пробой воды со столика штатива, промыть погружаемые в пробу воды части преобразователей 3, 4, 5, 6 (см. рис. 2) 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

1. Краткое описание лабораторной установки, технические и метрологические характеристики средств измерений.

2. Таблицы с результатами опытов и расчетов, необходимые рисунки, графики $pH = f(t^\circ)$.

3. Анализ результатов измерений и выводы по работе. Этот пункт необходимо увязывать с целями и задачами лабораторных работ 2 и 3.

Л и т е р а т у р а: [2], с. 14 - 68; [4], с. 16 - 28

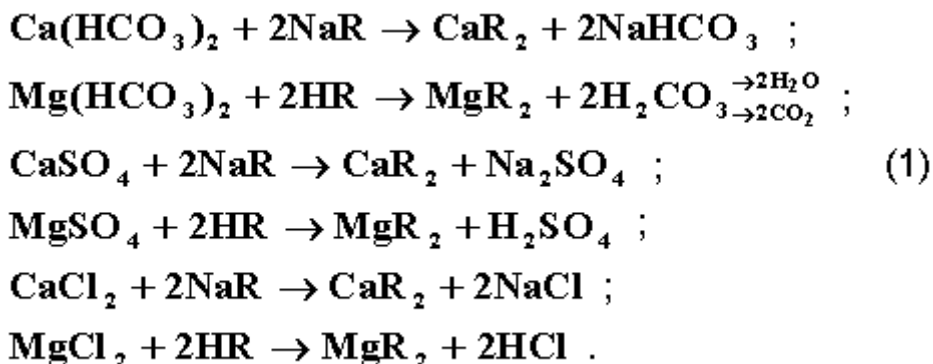
Лабораторная работа №5. УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ МЕТОДОМ КАТИОННОГО ОБМЕНА

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 подготовки подпиточной воды для тепловых сетей широко используются методы ионного обмена (катионирование и анионирование). Сущность этого метода заключается в использовании специальных фильтров, наполненных ионитами – сульфоуглем 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.

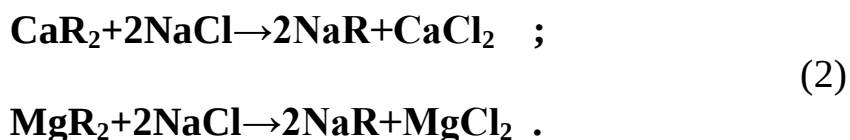
Из выражений (1) видно, что при Na-катионировании растворенные в обрабатываемой воде бикарбонаты кальция и магния замещаются бикарбонатом натрия, а сульфаты и хлориды кальция и магния - хлористым и сернокислым натрием; в результате этого остаточная жесткость воды после Na-катионирования снижается до 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, сульфогля).

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 % - ным раствором NaCl

требуется 60 кг этого раствора, т.е. $g_{\text{NaCl}}^{(100)} = 60 \text{ кг/м}^3$. При известном объеме Na-катионита ($V_{\text{кат}}$) массовое количество 100 % - ного NaCl , необходимое для его регенерации, кг

$$G_{\text{NaCl}}^{(100)} = V_{\text{кат}} g_{\text{NaCl}}^{(100)} ,\tag{3}$$

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

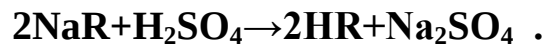
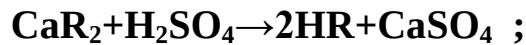
$$G_{\text{NaCl}}^{(10)} = G_{\text{NaCl}}^{(100)} \cdot 100 / 10 ,\tag{4}$$

а объемное ее количество, мл

$$V_{\text{NaCl}}^{(10)} = 1000 \cdot G_{\text{NaCl}}^{(10)} / \rho_{\text{NaCl}}^{(10)} ,\tag{5}$$

где $\rho_{\text{NaCl}}^{(10)}$ -плотность 10 % - ного раствора NaCl при температуре процесса регенерации.

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



Для регенерации 1 м³ Н-катионита 100% - ным раствором серной кислоты требуется 20 кг этого раствора, т. е. $g_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(100)} = 20 \text{ кг/м}^3$. Для регенерации $V_{\text{кат}}$ требуется массовое количество 100 % - ной H_2SO_4 :

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(100)} = V_{\text{кат}} g_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(100)} \quad (7)$$

или 2% - ной H_2SO_4 , кг:

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

или 1% - ной H_2SO_4 , кг

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(1)} = G_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(100)} \cdot 100 / 1 . \quad (8)$$

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

$$\begin{aligned} V_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(2)} &= 10^3 \cdot G_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(2)} / \rho_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(2)} , \\ V_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(1)} &= 10^3 \cdot G_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(1)} / \rho_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{(1)} \end{aligned} \quad (9)$$

где $\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ - плотность серной кислоты соответствующей концентрации.

Отмывка катионита производится водой со скоростью фильтрования $W_{\text{отм}}$, 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 концентрациями хлоридов и сульфатов в исходной воде; анализ воды на содержание хлоридов и сульфатов производится при определенной жесткости отмывочной воды, например $Ж_0 = 0,2 \text{ мг-экв/л}$.

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

$$V_{\text{взр}} = W_{\text{взр}} \cdot f_{\text{к}} \cdot \tau_{\text{взр}} \cdot 10^{-3}, \quad (10)$$

где $W_{\text{взр}}$ - скорость воды при взрыхлении, м/с; $f_{\text{к}}$ - сечение катионитового фильтра, м²

$$f_{\text{к}} = \pi d_{\text{к}}^2 / 4;$$

$\tau_{\text{взр}}$ - время взрыхления, с.

Количество воды, пошедшее на отмывку фильтра, л:

$$V_{\text{отм}} = W_{\text{отм}} \cdot f_{\text{к}} \cdot \tau_{\text{отм}} \cdot 10^{-3}, \quad (11)$$

где $W_{\text{отм}}$ - скорость воды при отмывке, м/с; $\tau_{\text{отм}}$ - 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, которые 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

$$Ж_{\text{см}} = X \cdot Ж_{\text{н}} + (1-X) \cdot Ж_{\text{Na}}, \quad (12)$$

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

$$X = (Ж_{\text{к}} - Щ_{\text{ост}}) / Ж_{\text{н}} \quad (13)$$

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

$$(1-X) = (Ж_{\text{нк}} + Щ_{\text{ост}}) / Ж_{\text{Na}}, \quad (14)$$

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

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

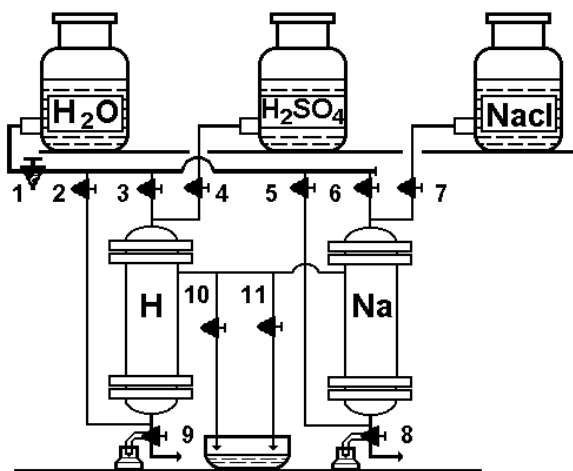
$$V_{\text{н}} = X \cdot 10^3; \quad (15)$$

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

$$V_{Na} = (1-X) \cdot 10^3. \quad (16)$$

III. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка (рисунок) 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.



Лабораторная установка

IV. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с лабораторной установкой и 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 (см. лабораторную работу 1).
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 (см. лабораторную работу 2);

г) вычислить значение некарбонатной жесткости и погрешность этого значения, используя указания из лабораторной работы 2).

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 % - ной серной кислоты, необходимой для регенерации Н-катионитового фильтра, приняв $V_{\text{кат}}$ по указанию преподавателя;

б) рассчитать количество 10 % - ного раствора NaCl, необходимое для регенерации Na-катионитового фильтра, приняв $V_{\text{кат}}$ по указанию преподавателя;

в) открыть краны 4 и 9 и пропустить через Н-катионитовый фильтр 1 % - ный раствор H_2SO_4 в количестве, вычисленном в п. 6а, затем закрыть краны 4 и 9;

г) открыть краны 7 и 8, пропустить через Na-катионитовый фильтр 10 % - ный раствор NaCl в количестве, вычисленном в п. 6б. 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 по методикам, изложенным в приложении 3;

б) открыть краны 1, 3, 9, 6, 8, пропуская воду в дренаж; через (180 ± 10) с, отобрать в конические колбы по $(100 \pm 0,5)$ мл воды после Н- и Na-катионитовых фильтров (из под кранов 8 и 9); определить общую жесткость $J_{\text{Н}}$ 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 $(5 \pm 0,1)$ мл воды после Н-катионитового фильтра и $(100 \pm 0,5)$ мл воды после Na-катионитового фильтра, закрыть краны 1, 3, 9, 6, 8, зафиксировать время отмывки фильтров;

г) определить содержание сульфатов и хлоридов (см. приложение 3) 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 $W_{\text{фильтр}}=10\ldots15$ 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 $J_{\text{Na}}^{\text{НК}}$ и общую щелочность Щ_{Na} воды в колбах Na1, Na2, Na3 в порядке, указанном в пп. 3, 4 настоящей работы; результаты записать в таблицу по форме 1;

г) определить общую жесткость J_{H} , некарбонатную жесткость $J_{\text{H}}^{\text{НК}}$, общую щелочность Щ_{H} и кислотность K_{H} в порядке, указанном в пп. 3, 4 настоящей работы, а также в приложении 3; результаты записать в таблицу по форме 1;

Ф о р м а 1

№ пробы	Исходная вода, мг-экв/л			Вода после Н-катионирования				Вода после Na-катионирования		
	J_{K}	$J_{\text{НК}}$	J_{O}	J_{H}^{K}	$J_{\text{H}}^{\text{НК}}$	J_{H}^{O}	K_{H}	$\text{Щ}_{\text{Na}}^{\text{O}}$	$J_{\text{Na}}^{\text{НК}}$	J_{Na}^{O}
1										
2										
3										
Среднее арифметическое										
Доверительные границы										
Результат измерения										

д) по найденным в п. 8 в, г показателям качества и нормам (см. приложение 1) 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 по форме 2;

Ф о р м а 2

Н-катионированная вода		Na-катионированная вода		Качество смешанной воды			
Доля в смеси X	Объем в 1л смеси V_{H} , мл	Доля в смеси (1-X)	Объем в 1л смеси V_{Na} , мл	Щелочность, мг-экв/л		Жесткость, мг-экв/л	
				Заданная	По анализу	По расчету	По анализу

ж) приготовить 1л смеси Н- и Na-катионированной воды с заданной щелочностью; определить экспериментально общую щелочность и общую жесткость смеси, как это указано в лабораторных работах 1 и 2; окончательные результаты анализов записать в таблицу по форме 2, 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.

Л и т е р а т у р а: [2], с. 78 - 117; [4], с. 260 - 327

4. Блок контроля освоения дисциплины

4.1. Задания на контрольную работу и методические указания к её выполнению

В соответствии с учебным планом по дисциплине «Водоподготовка» предусматривается выполнение одной контрольной работы. Вариант контрольного задания определяется двумя последними цифрами шифра студента по табл. 2 и 3. Контрольная работа выполняется в отдельной тетради или на листах писчей бумаги. Условие задачи переписывается в полном объеме, решение сопровождается краткими комментариями. Все расчеты желательно выполнять в табличной форме (табл. 1). Студенты, обучающиеся с элементами ДОТ, выполняют контрольные работы на учебном сайте в среде MOODLE с использованием Microsoft Excel.

Пример оформления расчетной части контрольной работы

Таблица 1

№ п/п	Рассчитываемая величина и ее размерность	Расчетная формула или источник величины	Числовые значения величин, входящих в формулу	Результат
1	2	3	4	5
1	Длина стороны квадрата a , м	Результат измерений	-	4
2	Площадь квадрата S , м ²	S=a * a	S=4 * 4	16

Буквенные обозначения и размерности физических величин должны соответствовать международным стандартам и рекомендациям.

Эскизы, схемы и графики выполняются с использованием чертежных принадлежностей. Копии схем и рисунков, а также графики, построенные на миллиметровой бумаге, вклеиваются в работу.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Определить конструктивные размеры вертикальной одноступенчатой испарительной установки. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1 и 2. По результатам расчета сделать чертеж установки форматом А4.

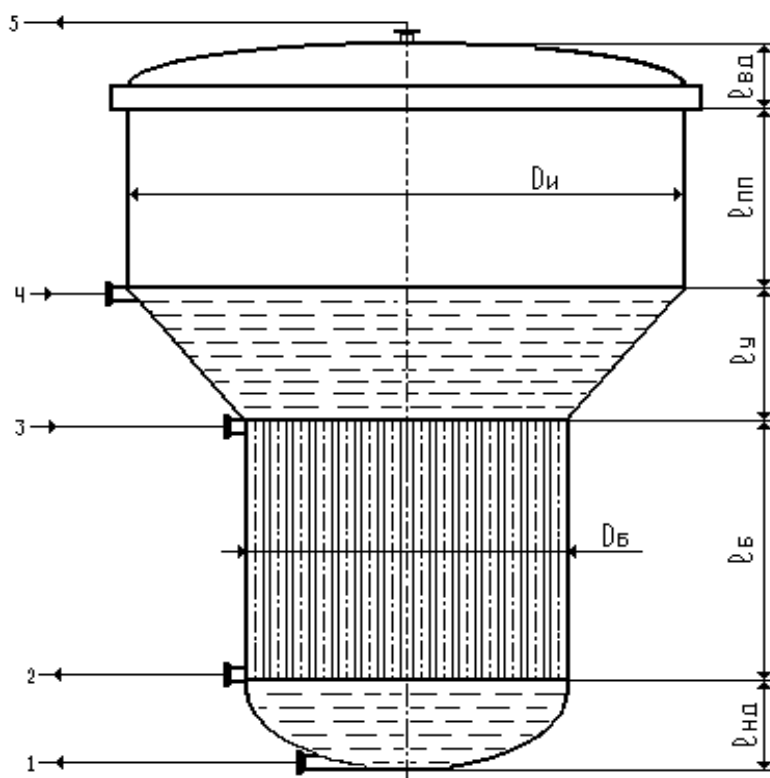


Схема испарительной установки

1. Продуваемый раствор.
2. Конденсат первичного пара.
3. Первичный пар.
4. Питательная вода.
5. Вторичный пар.

Таблица 2. Параметры и единицы физических величин

	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Давление первичного пара P_1 , МПа	0.45	0.5	0.55	0.4	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.6
Давление вторичного пара P_2 , МПа	0.25	0.3	0.35	0.2	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.4
Температура первичного пара t_1 , °C п а р н а с ы щ е н н ы й										

Таблица 3. Характеристики испарительной установки

	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Производительность по вторичному пару D_2 , кг/с	3.3	3.6	3.9	4.2	4.4	4.7	5.0	5.4	5.7	5.9
КПД установки, η	0.98	0.95	0.97	0.98	0.96	0.99	0.95	0.97	0.98	0.96
Высота жидкости над кипяtilьными трубами l_y , м	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38
Высота парового пространства $l_{п.п.}$, м	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9
Высота верхнего днища с сепаратором пара $l_{вд}$, м	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.8	0.5
Высота нижнего днища $l_{нд}$, м	0.3	0.2	0.4	0.2	0.5	0.3	0.4	0.2	0.5	0.3
Наружный диаметр труб батареи d_H , мм	36	38	32	40	32	38	36	40	36	38
Предельное напряжение парового пространства R_v , м ³ /м ³ ·ч	160	162	164	166	168	170	174	178	165	175
Коэффициент ϕ	0.8	0.85	0.9	0.84	0.8	0.86	0.9	0.92	0.8	0.88
Величина продувки испарителя X , %	20	25	30	35	15	20	22	28	34	21

Коэффициент за- грязнения труб μ	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.70	0.75	0.80	0.85
Высота труб батареи $l_б$, м	2.5	3.0	3.5	4.0	2.5	3.0	3.5	4.0	2.5	3.0
Толщина стенки трубы δ , мм	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
Скорость питатель- ной воды в межтруб- ном пространстве ω пв, м/ч	2.0	3.0	2.5	2.0	2.5	3.0	3.5	2.0	2.5	3.0

Методика расчета испарительной установки

Наименование показателей и единицы физических величин	Расчетная формула или источник
Теплота, необходимая для образования 1 кг вторичного пара $q_{1,2}$, кДж/кг	$q_{1,2} = (h_2 - h_{кв}) + [(1 + X/100) \cdot (h_{кв} - h_{пв})]$
Энтальпия вторичного пара h_2 , кДж/кг	[9]
Температура кипящей воды $t_{кв}$, °C	[9]
Энтальпия кипящей воды $h_{кв}$, кДж/кг	[9]
Энтальпия питательной воды $h_{пв}$, кДж/кг	$h_{пв} = h_{кв} - 50$
Теплота, отдаваемая воде 1 кг первичного пара $q_{1,1}$, кДж/кг	$q_{1,1} = h_1 - h_k$
Энтальпия первичного пара h_1 , кДж/кг	[9]

Температура первичного пара t_1 , °C	[9]
Энтальпия конденсата первичного пара h_K , кДж/кг	[9]
Общий расход первичного пара D_1 , кг/с	$D_1 = D_2 \cdot q_{1,2}/q_{1,1}$
Теплота, теряемая с продувочной водой $Q_{пр}$, кДж/с	$Q_{пр} = (D_2 \cdot X/100) \cdot (h_{KB} - h_{ПВ})$
Теплота, затрачиваемая на образование вторичного пара Q_2 , кДж/с	$Q_2 = D_2 \cdot q_{1,2}$
Средняя температура нагреваемой воды $\bar{t}_B$, °C	$\bar{t}_B = 0,5 \cdot (t_{KB} + t_{ПВ})$
Средняя температура стенки труб (с последующим уточнением) $\bar{t}_{CT}$, °C	$\bar{t}_{CT} = 0,5 \cdot (t_1 + \bar{t}_B)$
Средняя температура конденсатной пленки $\bar{t}_{пл}$, °C	$\bar{t}_{пл} = 0,5 \cdot (t_1 + \bar{t}_{CT})$
Теплофизические характеристики конденсатной пленки:	
- теплоемкость C , кДж/(кг К)	[9] [Таблица 4]
- теплопроводность λ , Вт/(кг*К)	[9] [Таблица 4]
- коэффициент кинематической вязкости ν , м ² /с	[9] [Таблица 4]
- коэффициент температуропроводности a , м ² /с	[9] [Таблица 4]
Критерий Галилея Ga	$Ga = \frac{g \cdot (l_\delta)^3}{\nu^2}$

Критерий Прандтля:	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$
- при средней температуре пленки Pr	[9] [Таблица 4]
- при температуре стенки Pr_{CT}	[9] [Таблица 4]
- при температуре первичного пара Pr_1	[9] [Таблица 5]
Коэффициент K_1	$K_1 = \frac{r}{C \cdot (t_1 - t_{CT})}$
Скрытая теплота парообразования r , кДж/кг	[9] [Таблица 5]
Критерий Нуссельта, Nu	$Nu = 0,42 \cdot (Ga \cdot Pr \cdot K_1)^{0,28} \times \left(\frac{Pr_1}{Pr_{CT}}\right)^{0,25}$
Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке α_1 , Вт/(м ² ·К)	$\alpha_1 = Nu \cdot \frac{\lambda}{l_\delta}$
Температурный напор от стенок к кипящей воде Δt_2 , °С	$\Delta t_2 = \bar{t}_{CT} - \bar{t}_в$
Коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящей воде α_2 , Вт/(м ² ·К)	$\alpha_2 = 1,163 \cdot 39 \cdot \Delta t_2^{2,33} \cdot (10 \cdot P)^{0,5}$ (P – давление Мпа)
Удельный тепловой поток q_2 , кДж/(м ² ·с)	$q_2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2$
Коэффициент теплопередачи K , Вт/(м ² ·К)	$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_T} + \frac{1}{\alpha_2}}$
Коэффициент теплопроводности λ_T , Вт/(м·К)	[9]

Удельный тепловой поток q , кДж/(м ² ·с)	$q = K(t_1 - t_2)$
Поверхность нагрева батарей F , м ²	$F = \frac{Q_2}{\mu \cdot K \cdot (t_1 - t_2)}$
Расчетное предельное напряжение парового пространства R_v' , м ³ /м ³ ·ч	$R_{v'} = R_v \cdot \varphi$
Объемная производительность вторичного пара V , м ³ /ч	$V = \frac{3600 \cdot D_2}{\rho_2}$
Плотность пара ρ₂ , кг/м ³	[9] [Таблица 5]
Объем парового пространства и испарителя V_{п.пр.} , м ³	$V_{п.пр.} = V/R_{v'}$
Диаметр испарителя D_и , м	$D_{и} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{V_{п.пр.}}{l_{пп}}}$
Высота аппарата L , м	$L = l_{вд} + l_{пп} + l_y + l_6 + l_{нд}$
Количество труб батареи n , шт.	$n = \frac{F}{\pi \cdot d_H \cdot l_{\delta}}$
Общая площадь труб батареи F_{ТБ} , м ²	$F_{ТБ} = \frac{\pi \cdot d_H^2 \cdot n}{4}$
Расход питательной воды D_{пв} , кг/с	$D_{пв} = D_2 + D_{пр}$
Свободное сечение батареи F_{СБ} , м ²	$F_{СБ} = \frac{D_{пв}}{\omega_{пв}}$

Диаметр батареи D_B , м	$D_B = \sqrt{\frac{4 \cdot (F_{TB} + F_{CB})}{\pi}}$
---------------------------	--

Таблица 4. Физические свойства воды на линии насыщения

t, °C	p, 10 ⁵ Па	ρ , кг/м ³	C _p кДж/ кг*К	λ , 10 ² Вт/м*К	a, 10 ⁸ м ² /с	μ , 10 ⁶ Па*с	ν , 10 ⁵ м ² /с	Pr
0	1.013	999.9	4.212	55.1	13.1	1788	1.789	13.62
10	1.013	999.7	4.191	57.4	13.7	1306	1.306	9.52
20	1.013	998.2	4.183	59.9	14.3	1004	1.006	7.02
30	1.013	995.7	4.174	61.8	14.9	801.5	0.805	5.42
40	1.013	992.2	4.174	63.5	15.3	863.3	0.659	4.31
50	1.013	998.1	4.174	64.8	15.7	549.4	0.556	3.54
60	1.013	983.1	4.179	65.9	16.0	469.9	0.478	2.98
70	1.013	977.8	4.187	66.8	16.3	406.1	0.415	2.55
80	1.013	971.8	4.195	67.4	16.6	355.1	0.365	2.21
90	1.013	965.3	4.208	68.0	16.8	314.9	0.326	1.95
100	1.013	958.4	4.220	68.3	16.9	282.5	0.295	1.74
110	1.43	951.0	4.233	68.4	17.0	259.0	0.272	1.60
120	1.98	943.1	4.250	68.5	17.1	237.4	0.252	1.47
140	3.614	926.1	4.287	68.6	17.28	196.1	0.216	1.25
160	6.180	907.4	4.346	68.4	17.21	169.6	0.191	1.11
180	10.03	886.9	4.417	67.6	17.30	149.4	0.173	1.00
220	23.20	840.3	4.614	64.6	16.63	121.0	0.148	0.89
260	46.94	784.0	4.949	60.6	15.52	101.5	0.135	0.87
300	85.92	712.5	5.736	54.1	13.20	85.81	0.128	0.97
340	146.1	610.1	8.164	45.8	9.20	70.21	0.127	1.38

Таблица 5. Физические свойства водяного пара на линии насыщения

t, °C	p, 10 ⁵ Па	ρ , кг/м ³	r, кДж/ кг	C _p кДж/ кг*К	λ , 10 ² Вт/м*К	a, 10 ⁸ м ² /с	μ , 10 ⁶ Па*с	ν , 10 ⁵ м ² /с	Pr
80	0.47359	0.2932	2308.9	1.969	2.300	-	11.60	-	0.993
90	0.70108	0.4232	2283.4	1.999	2.340	-	11.93	-	0.994
100	1.01325	0.598	2257.2	2.135	2.372	18.58	11.97	20.02	1.08
110	1.43200	0.826	2230.5	2.177	2.489	13.83	12.46	15.07	1.09
120	1.98540	1.121	2202.9	2.206	2.539	10.50	12.85	11.46	1.09
140	3.61	1.966	2144.9	2.315	2.790	6.15	13.67	6.89	1.12
160	6.18	3.258	2082.2	2.479	3.010	3.81	14.37	4.49	1.18
180	10.03	5.157	2014.0	2.709	3.270	2.34	15.07	2.93	1.25
200	15.55	7.862	1939.0	3.023	3.850	1.49	15.78	2.03	1.36
220	23.20	11.62	1856.2	3.408	3.900	0.99	16.49	1.45	1.47
240	33.48	16.76	1764.0	3.881	4.290	0.66	17.22	1.06	1.61
260	46.94	23.72	1660.2	4.468	4.800	0.45	17.98	0.794	1.76

280	64.19	33.19	1541.6	5.233	4.490	0.32	18.80	0.600	1.88
300	85.92	46.21	1403.0	6.28	6.270	0.22	19.74	0.461	2.13
320	112.90	64.72	1236.2	8.21	7.510	0.14	20.89	0.353	2.50
340	146.08	92.76	1025.5	12.35	9.300	0.08	22.52	0.272	3.35
360	186.14	144.0	722.6	23.03	12.790	0.04	25.53	0.202	5.23

4.2. Текущий контроль

Тренировочные тесты

№	Тестовое задание	Варианты ответов
1	Укажите вариант ответа, в котором перечислены типы теплоэнергетических предприятий, предназначенных только для выработки электрической энергии	А. КЭС, АЭС, ТЭЦ. В. КЭС, ТЭЦ. С. КЭС, АЭС. D. АЭС, ТЭЦ. Е. КЭС, АЭС, АТЭЦ.
2	Укажите вариант ответа, в котором перечислены типы теплоэнергетических предприятий, предназначенных для комбинированной выработки энергии	А. КЭС, АЭС, ТЭЦ. В. КЭС, ТЭЦ. С. КЭС, АЭС. D. АТЭЦ, ТЭЦ. Е. КЭС, АЭС, АТЭЦ.
3	Назовите примеси, содержащиеся в исходной воде	А. Грубодисперсные, коллоидно-дисперсные, гетеродисперсные. В. Грубодисперсные, коллоидно-дисперсные, молекулярно-дисперсные С. Грубодисперсные, молекулярно-дисперсные, гетеродисперсные. D. Гетеродисперсные, коллоидно-дисперсные, молекулярно-дисперсные. Е. Гомодисперсные, коллоидно-дисперсные, молекулярно-дисперсные.
4	Укажите размеры частиц, относящихся к грубодисперсным примесям	А. Свыше 1 м. В. Свыше 100 см. С. Свыше 100 мм. D. Свыше 100 мкм. Е. Свыше 100 нм.
5	Укажите размеры частиц, относящихся к коллоидно-дисперсным примесям	А. От 1 м до 10 см. В. От 10 см до 10 мм. С. От 10 мм до 10 мкм. D. От 10 мкм до 10 нм. Е. От 1 нм до 100 нм.
6	Укажите размеры частиц, относящихся к молекулярно-дис-	А. Менее 1 м. В. Менее 10 см.

	персным примесям	С. Менее 10 мм. D. Менее 10 нм. Е. Менее 1 нм.
7	Укажите метод удаления грубо-дисперсных примесей	A. Коагуляция. B. Ионный обмен. C. Метод осаждения. D. Термическая деаэрация. E. Осветление на механических фильтрах.
8	Укажите метод удаления коллоидно-дисперсных примесей	A. Коагуляция. B. Ионный обмен. C. Метод осаждения. D. Термическая деаэрация. E. Осветление на механических фильтрах.
1	Укажите методы удаления молекулярно-дисперсных примесей	A. Коагуляция. B. Ионный обмен. C. Метод осаждения. D. Термическая деаэрация. E. Осветление на механических фильтрах.
2	Назначение добавочной воды	A. Для охлаждения конденсаторов турбин. B. Для охлаждения подшипников турбин. C. Для восполнения потерь сетевой воды. D. Для восполнения внутриванционных потерь пара и воды. E. Для восполнения потерь с продувочной водой.
3	Назначение подпиточной воды	A. Для охлаждения конденсаторов турбин. B. Для охлаждения подшипников турбин. C. Для восполнения потерь сетевой воды. D. Для восполнения внутриванционных потерь пара и воды. E. Для восполнения потерь с продувочной водой.
4	Укажите вариант ответа, в котором правильно перечислены формы жесткости	A. Гидратная, карбонатная, бикарбонатная, силикатная, фосфатная. B. Кальциевая, карбонатная, бикарбонатная, силикатная, фосфатная.

		С. Магниева, бикарбонатная, силикатная, фосфатная. Д. Кальциевая, магниевая, карбонатная, некарбонатная. Е. Кальциевая, магниевая, фосфатная, карбонатная, некарбонатная, гидратная.
5	Укажите вариант ответа, в котором правильно перечислены формы щелочности	А. Гидратная, карбонатная, бикарбонатная. В. Кальциевая, магниевая, карбонатная, некарбонатная. С. Магниева, карбонатная, бикарбонатная, силикатная, фосфатная. Д. Магниева, карбонатная, бикарбонатная, силикатная. Е. Карбонатная, бикарбонатная, силикатная, сульфатная.
6	Укажите величину показателя рН, характеризующего нейтральную реакцию среды	А. 5. В. 7. С. 12. Д. 9. Е. 11.
7	Укажите вариант ответа, в котором правильно указана последовательность технологических операций при эксплуатации ионнообменного фильтра	А. Отмывка, промывка, регенерация, взрыхление. В. Работа, взрыхление, регенерация, отмывка. С. Работа, регенерация, отмывка, взрыхление, промывка. Д. Работа, промывка, регенерация, взрыхление. Е. Работа, взрыхление, промывка, регенерация.
8	Назовите раствор реагента для регенерации Na-катионитного фильтра	А. Na_2CO_3. В. NaCl. С. H_2SO_4. Д. NaOH. Е. HCl.
1	Назовите раствор реагента для регенерации H-катионитного фильтра	А. Na_2CO_3. В. NaCl. С. H_2SO_4. Д. NaOH. Е. HCl.
2	Назовите раствор реагента для регенерации OH-анионитного фильтра	А. Na_2CO_3. В. NaCl. С. H_2SO_4.

		D. Na OH. E. H Cl.
3	Назначение термической деаэрации	A. Для повышения термического КПД цикла Ренкина. B. Для повышения эффективности работы питательного насоса. C. Для снижения скорости процессов коррозии теплоэнергетического оборудования. D. Для увеличения скорости парообразования в экранных трубах котлов. E. Для снижения потерь теплоты в конденсаторе турбины.
4	Правильная формулировка закона Генри ...	A. Концентрация растворенного в воде газа пропорциональна его парциальному давлению над поверхностью воды. B. Концентрация растворенного в воде газа пропорциональна его парциальному давлению в воде. C. Концентрация газа пропорциональна его парциальному давлению над поверхностью воды. D. Парциальное давление газа прямо пропорционально его температуре насыщения. E. Концентрация растворенного в воде газа прямо пропорциональна его температуре насыщения при соответствующем парциальном давлении.
5	Типы термических деаэраторов, применяемых в теплоэнергетике...	A. Высокого давления, среднего давления, низкого давления, вакуумные. B. Повышенного давления, атмосферного типа, вакуумные, низкого давления. C. Повышенного давления, атмосферного типа, вакуумные. D. Повышенного давления, атмосферного типа, среднего давления, низкого давления. E. Среднего давления, атмосферного типа, вакуумные, низкого давления.

Таблица правильных ответов

№ теста	Раздел	Номера вопросов/Номера правильных ответов								
1	Раздел 1	Номер вопроса	1	2	3	4	5	6	7	8
		Правильный ответ	C	D	B	E	E	E	E	A
	2	Номер вопроса	1	2	3	4	4	16	7	8
		Правильный ответ	B,C,D	D	C	D	A	B	B	B
	3	Номер вопроса	1	2	3	4	5			
		Правильный ответ	C	D	C	A	C			

4.3. Итоговый контроль (вопросы к зачету)

Введение

1. Назовите типы теплоэнергетических предприятий.
2. Для каких целей используется вода на теплоэнергетических предприятиях.
3. Перечислите возможные последствия для оборудования от несоблюдения требований к качеству воды, используемой на теплоэнергетических предприятиях.
4. Как влияет качество воды на надежность и экономичность теплоэнергетических установок.

Показатели качества воды

1. Назовите взвешенные в воде вещества, их происхождение и размеры.
2. Перечислите основные показатели качества воды.
3. Дайте определение жесткости воды, назовите основные формы жесткости.
4. Напишите уравнение общей щелочности воды, перечислите, из каких слагаемых оно состоит?
5. Что характеризует показатель «кремнесодержание» в воде ?
6. Дайте определение окисляемости воды и поясните сущность этого показателя качества воды.
7. Что характеризует показатель концентрации водородных ионов (pH) в воде?
8. Назовите отличия «прокаленного остатка» от «сухого остатка».

9. Перечислите растворенные в воде газы и объясните причины их присутствия в воде.

10. Какие ионы наиболее часто встречаются в природных и технологических водах?

11. Как влияют растворенные в воде примеси на работу котельных агрегатов, турбоагрегатов, теплообменных установок и тепловых сетей?

12. Назовите предельные нормы качества питательной воды для барабанных котлов с естественной циркуляцией.

13. Какие показатели качества питательной воды нормируются для прямоточных котлов сверхкритических параметров?

14. Назовите предельные нормы качества воды для реакторов типа РБМК.

15. Назовите предельные нормы качества питательной и продувочной воды для парогенераторов с реакторами типа ВВЭР.

Очистка добавочной воды методом коагуляции

1. Что представляет собой процесс коагуляции?

2. Какие реагенты применяются при коагуляции?

3. Напишите уравнения реакций при коагуляции с гидроокисью алюминия и с подщелачиванием.

4. Напишите уравнения реакций при коагуляции с гидроокисью железа.

5. Дайте определение флокулянтам, какие реагенты используются в качестве флокулянтов.

6. Как влияет изменение температуры воды на процессы коагуляции и известкования?

7. Когда производят совмещение коагуляции и известкования?

Осветление воды фильтрованием

1. Какие конструкции осветлительных фильтров применяются в промышленности?

2. Назовите преимущества и недостатки напорных и безнапорных фильтров.

3. Какие фильтрующие материалы используются в осветлительных фильтрах?

4. Назовите основные требования, предъявляемые к фильтрующим материалам.

5. Приведите схемы осветлительных фильтров (горизонтального, трехкамерного, намывного).

6. Перечислите основные технологические характеристики осветлительных фильтров.

7. Напишите уравнение грязеемкости фильтра.

8. Укажите последовательность расчета осветлительных фильтров.

Обработка воды методами ионного обмена

1. Назовите два типа ионитов. Перечислите их отличия.
2. Что лежит в основе структуры наиболее известных отечественных ионитов? Изобразите графически структуру сополимера.
3. Перечислите основные характеристики известных отечественных катионитов и анионитов.
4. Какие группы в ионите называют ионогенными? Назовите ионогенные группы катионита КУ-2 и анионита АВ-17.
5. Дайте определение химическому эквиваленту.
6. Объясните понятие «ионообменная способность ионитов» и назовите характеристики обменной способности.
7. Изобразите схему работы ионитового слоя и покажите защитный и работающий слои.
8. Объясните сущность диффузионного процесса ионного обмена на катионите и анионите.
9. Изобразите выходную кривую ионного обмена и покажите на ней ДОЕ и ПДОЕ.
10. Что означает понятие «умягчение воды»?
11. Напишите уравнения реакций, протекающих на катионите при умягчении добавочной воды и при регенерации катионита поваренной солью.
12. Поясните методику расчета суточного расхода NaCl на регенерацию.
13. Напишите уравнения реакций на ионитах, происходящих при обессоливании воды и при отдельной регенерации ионитов растворами кислоты и щелочи.
14. Какие схемы обессоливающих установок с последовательным расположением катионитовых и анионитовых фильтров применяются в теплоэнергетике?
15. Поясните методику расчета одноступенчатой ионитной обессоливающей установки с отдельным ионированием.
16. Когда необходима декарбонизация воды?
17. Объясните работу декарбонизатора.
18. Укажите наиболее целесообразное место установки декарбонизатора в двухступенчатой схеме обессоливания добавочной воды.
19. Когда применяются фильтры смешанного действия (ФСД)?
20. Начертите схему ФСД и поясните процессы ионного обмена в смешанной ионитной загрузке.
21. Начертите схему ФСД с выносной регенерацией ионитов и схему с регенерацией в одном корпусе.

Химическое обескислороживание воды

1. Когда применяют сульфитный метод удаления кислорода из воды?
2. Напишите уравнение реакции связывания кислорода сульфитом натрия.
3. Укажите преимущества и недостатки гидразинного метода обескислороживания питательной воды.

4. Проанализируйте влияние температуры на скорость взаимодействия гидразингидрата с растворенным в воде кислородом.
5. В каких случаях для удаления кислорода из воды используется гидразинсульфат?
6. В чем заключается преимущество использования гидразинсульфата по сравнению с гидразином и гидразингидратом?
7. С какой целью при дозировании сульфата гидразина добавляется едкий натр?
8. Приведите структуру железогидратозакисного ЭИ, напишите уравнение реакции совмещения обескислороживания и умягчения воды на одном и том же зерне.
9. Опишите последовательность процесса регенерации ЭИ, приведите уравнения реакций.
10. Назовите основные марки ЭИ и укажите их динамические обменные емкости.
11. Как влияет температура на коэффициент использования восстановительной способности ЭИ?
12. Перечислите основные технологические характеристики обескислороживающих фильтров.

Пленочные методы обработки воды

1. На чем основаны методы обессоливания (концентрирования) при обратном осмосе и ультрафильтрации.
2. Назовите характеристики ацетатцеллюлозных мембран для обратного осмоса.
3. Назовите характеристики ультрафильтрационных мембран.
4. Нарисуйте схему ультрафильтрационных мембран.
5. Нарисуйте схему установки для концентрирования растворов с применением обратного осмоса.
6. Нарисуйте схему установки для концентрирования растворов с применением ультрафильтрации.
7. Опишите электродиализный метод обессоливания (концентрирования) воды в многокамерном аппарате.
8. Приведите характеристики наиболее известных отечественных ионитовых мембран МК-40 и МА-40.
9. Укажите преимущества и недостатки рамок прокладочного и лабиринтного типов.
10. Приведите схемы прямоточной и циркуляционной электродиализных установок.
11. Что понимают под явлением концентрационной поляризации?
12. Приведите методику расчета основных параметров электродиализной опреснительной установки.
13. Нарисуйте схему электродиализного метода обессоливания добавочной воды в комбинации с ионным обменом.
14. Нарисуйте схему электродиализного процесса концентрирования сбросной воды в комбинации с выпарной установкой.

Термическое обессоливание, дисцилляция

1. Назовите области применения испарителей поверхностного типа.
2. В каких случаях термическое обессоливание экономичнее химического обессоливания?
3. Назовите основные характеристики испарителей.
4. Нарисуйте схемы включения однокорпусной и двухкорпусной испарительных установок.
5. Объясните конструкцию испарителей.
6. Назовите конструктивные решения, направленные на повышение эффективности работы испарительных установок.
7. Укажите нормируемые показатели качества питательной воды, поступающей на испаритель и рассола, сбрасываемого в дренаж.
8. Как влияет водно-химический режим питательной воды на продолжительность рабочей кампании.
9. Изложите последовательность методики теплового расчета испарителя.
10. Изложите последовательность методики конструктивного расчета испарителя.

Термическая деаэрация

1. Как влияют растворенные в воде газы на металлы, контактирующие с водой?
2. Напишите уравнения взаимодействия окислителя и металла.
3. Назовите типы коррозии по механизму ее протекания.
4. Как влияет температура на электрохимическую коррозию в растворе электролита?
5. Как влияют ингибиторы на скорость коррозии металлов?
6. Какое влияние оказывают уголекислота и кислород на защитные пленки металла водяного тракта?
7. На каких законах основано термическое обескислороживание питательной воды?
8. Приведите график растворимости кислорода при разных значениях парциального давления паров воды и воздуха и разных значениях температур.
9. Назовите типы деаэраторов по давлению, укажите место их установки в технологических схемах, расскажите об их назначении.
10. По каким конструктивным признакам классифицируются деаэраторы?
11. Перечислите типы конструкций деаэраторов.
12. Назовите максимально допустимую концентрацию остаточного кислорода в деаэрированной воде для каждого типа деаэраторов.
13. Нарисуйте схему горизонтального подогревателя смешивающего типа с трехступенчатым подогревом конденсата.
14. Где находят применение горизонтальные подогреватели смешивающего типа с трехступенчатым подогревом конденсата?
15. Нарисуйте схему вертикального подогревателя смешивающего типа и объясните его работу.

Водные режимы котельных и ТЭЦ с барабанными котлами среднего и высоких давлений

1. Какие задачи решаются при организации водного режима?
2. Какие руководящие документы имеются по организации водного режима?
3. Какие виды контроля качества воды предусматриваются на тепло-энергетических установках?
4. Как влияют примеси, содержащиеся в питательной воде, на работу котельных агрегатов?
5. Приведите схему подготовки добавочной воды для барабанных котлов высокого давления.
6. В чем заключается различие схем подготовки добавочной воды для теплофикационной установки и для котельных агрегатов?
7. Какой коррекционный режим котловой воды применяется для предотвращения кальциевого накипеобразования?
8. Как можно предотвратить образование сложных силикатных, железных и медных накипей?
9. Для чего предназначены периодические продувки котлов?
10. Напишите уравнение баланса солей в котле при режиме непрерывной продувки.

Водные режимы тепловых и атомных электростанций

1. В чем заключается отличие подготовки добавочной воды на ТЭС с прямоточными котлами и АЭС от подготовки добавочной воды для ТЭС и ТЭЦ с барабанными котлами?
2. Какие водные режимы применяются для энергоблоков ТЭС с прямоточными котлами?
3. Укажите достоинства и недостатки гидразинно-аммиачного и нейтрально-окислительного режимов.
4. Назовите основные показатели работы ФСД.
5. Приведите схему работы электромагнитного фильтра.
6. Приведите классификацию установок спецводоочисток АЭС с реакторами типа РБМК и ВВЭР.
7. Перечислите оборудование, входящее в состав установки спецводоочистки АЭС с реакторами типа РБМК и ВВЭР.
8. Изобразите графически схему переработки трапных вод.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Т а б л и ц а I

Нормы качества питательной воды для промышленных котельных установок

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

Т а б л и ц а II

Предельные значения солесодержания котловой воды для промышленных котельных установок

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

П р и м е ч а н и е. Большее значение относится к котлам с выносными циклонами.

Т а б л и ц а III

Предельные нормы качества питательной воды энергетических барабанных котлов

Нормируемый показатель	Давление, МПа			Примечание
	до 4,0	4,0...10,0	выше 10,0	
Общая жесткость, мкг-экв/кг	5	3	1	На жидком топливе На других видах топлива
	10	5	1	
Содержание кремния (в пересчете на SiO ₂), мг/кг	-	70	40	ГРЭС и отопительные ТЭЦ ТЭЦ с производственным отбором пара
	-	по данным испытаний	120	
Содержание кислорода, мкг/кг	20	20	10	
Содержание соединений железа, мкг/кг	100	50	20	На жидком топливе На других видах топлива
	200	100	30	
Содержание соединений меди, мкг/кг	10	10	5	На жидком топливе На других видах топлива
	20	20	5	
Содержание масел	1	0,3	0,3	
Содержание СО ₂	отсутствует	отсутствует	отсутствует	
Содержание аммиака, мкг/кг	1000	1000	1000	
Значение pH при t=25 °C	9,1±0,1	9,1±0,1	9,1±0,1	

Т а б л и ц а IV

**Предельные нормы качества питательной воды
прямоточных котлов сверхкритических параметров**

Нормируемый показатель	Численное значение	Нормируемый показатель	Численное значение
Жесткость общая, мкг-экв/кг	0,2	Растворенный кислород, мкг/кг	10
Соединения натрия в пересчете на Na, мкг/кг	5	Кремниевая кислота, мкг/кг	15
Соединения железа в пересчете на Fe, мкг/кг	10	Значение pH при t=25 °C	6,9...(9,1±0,1) (в зависимости от водного режима)
Соединения меди в пересчете на Cu, мкг/кг	5	Масло	следы

Т а б л и ц а V

**Предельные нормы качества воды горизонтальных парогенераторов АЭС
с ВВЭР**

Нормируемый показатель	Питательная вода	Продувочная вода
Общая жесткость, мкг-экв/кг	0,5	-
Хлориды, мкг/кг	-	1000
Кремниевая кислота (в пересчете на SiO_2), мкг/кг	25	5000
Соединения железа, мкг/кг	20	-
Соединения меди, мкг/кг	10	-
Кислород перед деаэратором, мкг/кг	30	-
Кислород после деаэратора, мкг/кг	10	-
Значение pH (при $t=25^\circ\text{C}$)	$9,1\pm 0,1$	-
Избыток гидразина (в пересчете на N_2H_4), мкг/кг	20...60	-
Масла (до конденсатоочистки), мг/кг	0,1	-

Т а б л и ц а VI

Нормы качества воды для подпитки тепловых сетей

Нормируемый показатель	Содержание при подогреве воды, $^\circ\text{C}$		
	до 75	75...150	151...200
Остаточная общая жесткость при использовании продувочной воды (в закрытых системах теплоснабжения), мг-экв/кг	-	0,05	0,05
Карбонатная жесткость, мг-экв/кг	1,5	0,7	0,4
Свободная углекислота, мг/кг	отсутствует	отсутствует	-
Взвешенные вещества, мг/кг	5	5	5
Растворенный кислород, мг/кг	0,10	0,05	0,03
Значение pH (при $t=25^\circ\text{C}$)	6,5...8,5	6,5...8,5	-
Масла, мг/кг	1	1	1

П р и м е ч а н и е. При открытой системе теплоснабжения в сетях для горячего водоснабжения, кроме указанных требований, к воде предъявляются требования ГОСТ 2874-82 "Вода питьевая".

**Нормы погрешности измерений некоторых показателей состава и свойств
воды с $p=0,95$ (по ГОСТ 27384-87)**

Показатель состава и свойств	Воды природные, питьевые		Воды сточные	
	Диапазон измеряемых значений показателя	Нормы погрешности, %	Диапазон измеряемых значений показателя	Нормы погрешности, %
Жесткость, ммоль/м ³	0,1...1,0 включ. св. 1,0	10 5	- -	- -
Взвешенные вещества, мг/дм ³	1...10 включ.	25	5...50 включ.	20
Железо, мг/дм ³	0,001...0,01 включ.	50	0,1...50,0 включ. св. 50,0	50
	св. 0,01...1,0 включ.	20		10
	св. 1,0...5,0 включ.	15		
	св. 5,0	5		
Медь, мг/дм ³	0,0005...0,01 включ. св. 0,01	50	0,0005...0,01 включ. св. 0,01...1,0 включ. св. 1,0	50
		25		25
				10
Кислород растворенный, мг/дм ³	0,05...2,0 включ. св. 2,0	20	0,5...2,0 включ. св. 2,0	50
		10		25
Нефть и нефтепро- дукты, мг/дм ³	0,01...0,9 включ. св. 0,9	50	до 0,1 включ.	-65; +100
		25	св. 0,1...0,5 включ.	50
			св. 0,5...50 включ.	25
Водородный показатель pH	2...10 включ.	0,1 ед. pH	1,0...9,0 включ.	0,1 ед. pH

П р и м е ч а н и я: 1. Выбор средств измерений должен обеспечить точность измерения в соответствии с требованиями ГОСТ 27384-87.

2. Для пересчета относительных значений погрешности δ_n в абсолютные Δ_n следует воспользоваться выражением $\Delta_n = \pm \delta_n \chi / 100$, где χ – среднеарифметическое из показаний средства измерения, например, среднее из трех измерений значение жесткости воды $J = \chi = 0,5$ ммоль/м³, тогда $\Delta_n = \pm 10 \cdot 0,5 / 100 = \pm 0,05$ ммоль/м³.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Технические данные рН-метра рН-262

1. Пределы измерения значений рН 0...14
2. Диапазоны измерения значений рН 0...1; 1...2; 2...3;
3...4; 4...5; 5...6;
6...7; 7...8; 8...9;
9...10; 10...11; 0...10;
1...11; 2...12; 3...13;
4...14
3. Цена деления шкалы на диапазоне в 1 ед. рН 0,01
4. Цена деления шкалы на диапазоне в 10 ед. рН 0,1
5. Основная погрешность измерительного преобразователя:

Диапазон измерения, рН	Основная погрешность	
	приведенная, %	абсолютная, рН
0...1; 1...2; 2...3; 3...4; 4...5; 5...6; 6...7; 7...8; 8...9; 9...10; 10...11	±1	±0,01
0...10; 1...11; 2...12; 3...13; 4...14	±1	±0,1

6. Допустимое значение сопротивления
стеклянного электрода, МОм до 1000
7. Допустимое значение сопротивления электрода
сравнения, кОм до 20
8. Длина шкалы, мл 150
9. Температурная компенсация ручная и
автоматическая, °С от 0 до 100
10. Условия эксплуатации:
 - температура окружающего воздуха, °С 10...35
 - относительная влажность при 20 °С, % до 80
 - температура контролируемого раствора, °С 20
 - наибольшее отклонение температуры раствора, °С 0...10
11. Магнитные поля (кроме земного) должны отсутствовать.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Методика определения хлоридов, сульфатов и кислотности воды

1. Определение содержания хлоридов ртутным методом

1. Набрать 100 мл анализируемой воды в коническую колбу емкостью 250...300 мл, добавить 1 мл 5 % раствора азотной кислоты и 1 мл 1% раствора нитропруссида натрия.

2. Титровать анализируемую смесь раствором азотно-кислой ртути до появления окалесценции, заметной на черном фоне. Раствор азотно-кислой ртути берут такой концентрации, чтобы 1 мл его соответствовал содержанию 1 мг/л Cl^- (при титровании 100 мл пробы).

3. Содержание хлоридов Cl^- , мг-экв/л, принять численно равным количеству азотно-кислой ртути, пошедшей на титрование.

2. Определение сульфатов

1. Определить массу фильтровальной бумаги.

2. В пробирку влить ($5 \pm 0,1$) мл анализируемой воды, добавить каплю концентрированной азотной кислоты и 3...4 капли раствора хлористого бария; выждать (180 ± 10) с, наблюдая выпадение хлопьев.

3. Профильтровать содержимое пробирки в течение (600 ± 5) с через фильтровальную бумагу известной массы (см. п. 1), вылив в фильтровальную воронку сразу всю анализируемую пробу, вынуть из воронки фильтровальную бумагу, снять остаток влаги с наружной ее стороны, определить массу m_2 фильтровальной бумаги вместе с остатком BaSO_4 .

4. Вычислить условную массу влажного сульфата бария, г:

$$m_{\text{BaSO}_4} = m_2 - m_1$$

3. Определение кислотности воды

1. Набрать 100 мл анализируемой воды в коническую колбу емкостью 250...300 мл и добавить 3...4 капли индикатора метилового оранжевого.

2. Титровать пробу 0,1 н раствором едкого натра до момента перехода розовой окраски в желтую.

3. Вычислить кислотность воды, мг-экв/л:

$$K = n \cdot c \cdot 1000 / V,$$

где n - расход раствора NaOH , мл; c - нормальная концентрация раствора NaOH ; V - объем анализируемой пробы, мл.

Содержание

1.	Информация о дисциплине.....	3
1.1.	Предисловие.....	3
1.2.	Содержание дисциплины и виды учебной деятельности...	3
2.	Рабочие учебные материалы.....	4
2.1.	Рабочая программа.....	4
2.2.	Тематический план дисциплины.....	8
2.3.	Структурно-логическая схема дисциплины.....	11
2.4.	Временной график изучения дисциплины.....	12
2.5.	Практический блок.....	12
2.5.1.	Лабораторный практикум.....	12
2.6.	Балльно - рейтинговая система оценки знаний	13
3.	Информационные ресурсы дисциплины.....	13
3.1.	Библиографический список.....	13
3.2.	Методические указания к выполнению лабораторных работ	14
4.	Блок контроля освоения дисциплины.....	44
4.1.	Задания на контрольную работу и методические указания к её выполнению.....	44
4.2.	Текущий контроль.....	52
4.3.	Итоговый контроль.....	56
	Приложения.....	62

НИКОЛАЙ ТИМОФЕЕВИЧ
АМОСОВ

ВОДОПОДГОТОВКА

Учебно-методический
комплекс

Редактор И.Н. Садчикова

Сводный темплан 2009 г.

Лицензия ЛР № 020308 от 14.02.1997г.

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16

Б.кн.-журн. П.л.

Б.л

Изд-во СЗТУ

Тираж

Заказ

Северо-Западный государственный заочный технический университет

Издательство СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации
университетов России

191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, 5