

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Промышленной теплоэнергетики

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор

_____ Е.И. Луковникова

« _____ » _____ 201__ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ВОДОПОДГОТОВКА**

Б1.В.ДВ.8.1

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ

Промышленная теплоэнергетика

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ	4
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости	5
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	5
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам	8
4.3 Лабораторные работы.....	30
4.4 Семинары / практические занятия.....	30
4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	30
5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	30
6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	31
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	31
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	32
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	32
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ..	32
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	38
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	38
Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	39
Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины	42
Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе	43

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к производственно-технологическому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

Цель дисциплины

Дать бакалаврам знания о физико-химических основах процессов образования отложений, коррозии и др.; которые протекают в водопаровом и газовом трактах источников теплоснабжения.

Задачи дисциплины

В задачи дисциплины входит изучение современных методов водоподготовки.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ПК-10	готовность к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов	Знать: - теоретические основы и терминологию водоподготовки, физико-химических процессов, протекающих в воде при эксплуатации теплоэнергетического оборудования, принципов действия и областей применения различных способов обработки воды; Уметь: - рассчитывать физико-химические показатели качества воды и режимов работы оборудования; Владеть: - методиками выбора технологий химии воды и водоподготовки.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.ДВ.8.1 «Водоподготовка» относится к элективной части.

Дисциплина «Водоподготовка» базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин как: химия.

Основываясь на изучении данной дисциплины, водоподготовка представляет основу для изучения дисциплин: «Источники теплоснабжения», «Системы теплоснабжения», «Котельные установки и парогенераторы».

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

- для набора 2015, 2016 года

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	2	4	144	36	18	-	18	72	-	Экзамен
Заочная	3	-	144	16	8	-	8	119	-	Экзамен
Заочная (ускоренное обучение)	1	-	144	12	6	-	6	51	-	Экзамен
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- для набора 2017, 2018 года

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	2	4	144	36	18	-	18	72	-	Экзамен
Заочная	3	-	144	16	8	-	8	119	-	Экзамен
Заочная (ускоренное обучение)	1	-	144	8	4	-	4	55	-	Экзамен
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудо- емкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, иннова- ционной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
1	2	3	4
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	36	11	36
Лекции (Лк)	18	5	18
Практические занятия (ПЗ)	18	6	18
II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)	72		72
Подготовка к практическим занятиям	36	-	36
Подготовка к экзамену в течении семестра	36	-	36
III. Промежуточная аттестация экзамен	36	-	36
Общая трудоемкость дисциплины час.	144		144
зач. ед.	4		4

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раз- дела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудо- ем- кость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоя- тельная работа обучаю- щихся*
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
1.	Природные воды	30	4	6	20
1.1.	Введение. Природные воды как исходное технологическое сырьё для водоподготовительных установок ТЭС	12	2	2	8
1.2.	Технологические показатели качества воды. Краткая характеристика водного баланса ТЭС разного типа	18	2	4	12
2.	Образование отложений в паровых котельных агрегатах, тепловых сетях, теплообменниках и их предотвращение	21	3	4	14
2.1.	Образование отложений в	16,5	1,5	4	11

	котельных агрегатах. Внутрикотловая обработка воды				
2.2.	Предотвращение образования отложений в конденсаторах, тепловых сетях и удаление образовавшихся отложений	4,5	1,5	-	3
3.	Загрязнение пара и способы борьбы с ним	24	4	4	16
3.1.	Растворимость веществ. Капельный и избирательный унос	6	2	-	4
3.2.	Многоступенчатое испарение, продувка котельных агрегатов, промывка пара	18	2	4	12
4.	Коррозия теплоэнергетического оборудования	15	3	2	10
4.1.	Сущность и форма проявления коррозии металлов. Основные внешние факторы коррозии	10,5	1,5	2	7
4.2.	Коррозия водно-конденсатного тракта и методы борьбы с ней	4,5	1,5	-	3
5.	Методы обработки и очистки воды	18	4	2	12
5.1.	Ионный обмен воды.	12	2	2	8
5.2.	Сущность процессов коагуляции, обратного осмоса и электродиализа.	6	2	-	4
	ИТОГО	108	18	18	72

- для заочной формы обучения:

№ раз- дела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоем- кость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоя- тельная работа обучаю- щихся*
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
1.	Природные воды	51	2	4	45
1.1.	Введение. Природные воды как исходное технологическое сырьё для водоподготовительных установок ТЭС	25,5	1	2	22,5
1.2.	Технологические показатели качества воды. Краткая характеристика водного баланса ТЭС разного типа	25,5	1	2	22,5
2.	Образование отложений в паровых котельных агрегатах, тепловых сетях, теплообменниках и их	25,5	1	2	22,5

	предотвращение				
2.1.	Образование отложений в котельных агрегатах. Внутрикотловая обработка воды	21,25	0,5	2	18,75
2.2.	Предотвращение образования отложений в конденсаторах, тепловых сетях и удаление образовавшихся отложений	4,25	0,5	-	3,75
3.	Загрязнение пара и способы борьбы с ним	29,75	1,5	2	26,25
3.1.	Растворимость веществ. Капельный и избирательный унос	4,25	0,5	-	3,75
3.2.	Многоступенчатое испарение, продувка котельных агрегатов, промывка пара	25,5	1	2	22,5
4.	Коррозия теплоэнергетического оборудования	12,75	1,5	-	11,25
4.1.	Сущность и форма проявления коррозии металлов. Основные внешние факторы коррозии	4,25	0,5	-	3,75
4.2.	Коррозия водно-конденсатного тракта и методы борьбы с ней	8,5	1	-	7,5
5.	Методы обработки и очистки воды	16	2	-	14
5.1.	Ионный обмен воды.	8,5	1	-	7,5
5.2.	Сущность процессов коагуляции, обратного осмоса и электродиализа.	7,5	1	-	6,5
	ИТОГО	135	8	8	119

- для заочной формы обучения (ускоренное обучение):

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
1.	Природные воды	26	1	4	21
1.1.	Введение. Природные воды как исходное технологическое сырьё для водоподготовительных установок ТЭС	13	0,5	2	10,5
1.2.	Технологические показатели качества воды. Краткая характеристика водного баланса ТЭС разного типа	13	0,5	2	10,5
2.	Образование отложений в паровых котельных агрегатах, тепловых сетях,	14	1	2	11

	теплообменниках и их предотвращение				
2.1.	Образование отложений в котельных агрегатах. Внутрикотловая обработка воды	11,5	0,5	2	9
2.2.	Предотвращение образования отложений в конденсаторах, тепловых сетях и удаление образовавшихся отложений	2,5	0,5	-	2
3.	Загрязнение пара и способы борьбы с ним	6,5	1	-	5,5
3.1.	Растворимость веществ. Капельный и избирательный унос	2,5	0,5	-	2
3.2.	Многоступенчатое испарение, продувка котельных агрегатов, промывка пара	4	0,5	-	3,5
4.	Коррозия теплоэнергетического оборудования	7	1	-	6
4.1.	Сущность и форма проявления коррозии металлов. Основные внешние факторы коррозии	2,5	0,5	-	2
4.2.	Коррозия водно-конденсатного тракта и методы борьбы с ней	4,5	0,5	-	4
5.	Методы обработки и очистки воды	9,5	2	-	7,5
5.1.	Ионный обмен воды.	5	1	-	4
5.2.	Сущность процессов коагуляции, обратного осмоса и электродиализа.	4,5	1	-	3,5
	ИТОГО	63	6	6	51

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

Раздел 1. Природные воды

Тема 1.1. Введение. Природные воды как исходное технологическое сырьё для водоподготовительных установок ТЭС.

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-прессконференция (1 час).

Введение

Цель водоподготовки – повышение и обеспечение надежности работы теплоэнергетического оборудования путем достижения безкоррозионного режима.

В нашей стране основная часть вырабатываемой электроэнергии (83 %) приходится на ТЭС на органическом и ядерном топливе.

Рост выработки электрической энергии обусловлен не только введением новых мощностей, но и надежностью, бесперебойной работой действующего оборудования. ТЭЦ и ТЭС в настоящее время работают в основном на высоких и сверхвысоких параметрах, растут единичные мощности агрегатов на ТЭС и ТЭЦ и в целом, мощности электростанций. Все это повышает требования к экономичности и надежности работы основных агрегатов электростанции.

Вода и водяной пар являются теплоносителями в водном и водопаровом трактах ТЭС, ТЭЦ и АЭС. Для электростанций с блочной схемой установки агрегатов необходимость обеспечения длительной бесперебойной эксплуатации обусловлена тем, что

повреждение или выход из строя хотя бы одного из элементов неизбежно вызывает выход из строя всего блока.

Даже кратковременный аварийный простой крупного блока из-за дефектов водного режима (длительная эксплуатация турбоагрегата при сниженных параметрах) повышает стоимость вырабатываемой электроэнергии.

Одним из факторов, обуславливающих важное значение водной проблемы, является значительный рост удельных тепловых нагрузок парообразующих труб котельного агрегата, что требует жесткого ограничения допустимой величины отложений на поверхностях нагрева в целях обеспечения надежного температурного режима металла этих поверхностей, а тем самым и продолжительности рабочего времени котельного агрегата. Для снижения отложений нужно свести к минимуму количество примесей, поступающих в водяной тракт электростанции, и в первую очередь продуктов коррозии основного оборудования и вспомогательного. Также должен быть организован систематический ввод в пароводяной тракт электростанции различных реагентов, которые уничтожают или ограничивают действие наиболее вредных примесей.

Так как турбины высокого давления очень чувствительны к загрязнению лопаток, то для избегания снижения мощности из-за заноса их проточной части отложениями требуется повысить качество пара.

С повышением параметров пара ускоряются физико-химические процессы накипеобразования, загрязнения пара и коррозии металла, что усложняет поддержание чистоты внутренних поверхностей котельного агрегата и проточной части паровых турбин, а также затрудняет обеспечение сохранности металла котлов, турбин и оборудования тракта питательной воды.

Таким образом, большое значение имеет подготовка воды на электростанции. Причем вопросы организации рационального водного режима ТЭС должны рассматриваться в тесной связи с их гидродинамическими характеристиками, процессами теплообмена в отдельных теплопередающих элементах и физико-химическими процессами загрязнения генерирующего пара.

Предмет водоподготовки и исходное сырье – природные воды.

Для водоподготовки основными показателями качества воды являются вид и количество растворенных в ней примесей. Количество растворенных примесей называется солесодержанием.

Солесодержание природных вод составляет до 1000 мг/л. Солесодержание от 1 до 10 гр - то воды называют солоноватыми. Более 10 – солёными. Например, солесодержание ангарской воды составляет 135 мг/л.

Но даже пресную воды нельзя использовать в установках без должной обработки, поскольку солесодержание питательных вод в различных котлоагрегатах может меняться от 0,1 до 1 мг/л.

При использовании необходимо учитывать изменения качества в зависимости от географического района и времени года. Как правило в южных, пустынных и степных районах воды протекают по более зачолненным почвам и их солесодержание велико.

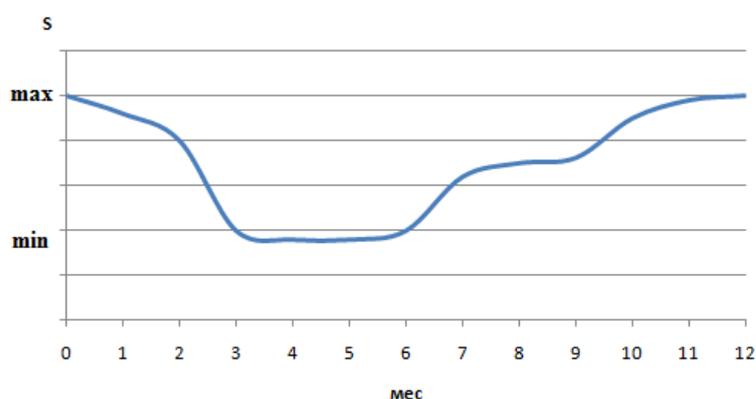


Рисунок – зависимость солесодержания от времени года.

На рисунке представлена зависимость солесодержания от времени года для большинства рек России.

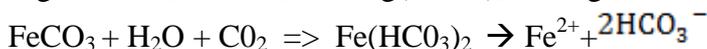
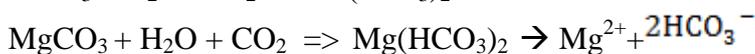
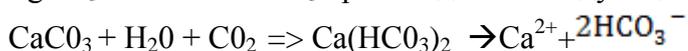
В атмосферных осадках солесодержание невелико (до 10 мг/л)

В зимнее время реки покрыты льдом и речная вода с атмосферными осадками не взаимодействует, но воздействует с почвой и насыщается солями. При этом солесодержание вод находится на максимальной отметке. Весной лед тает, речные воды насыщаются атмосферными осадками и их солесодержание минимальным. В летнее время солесодержание находится на среднем уровне.

Вода совершает круговорот в природе, при этом атмосферные осадки насыщаются газами и в осадках могут образовываться кислоты (HCO_3), затем вода взаимодействует с грунтом и насыщается солями.

Подпочвенными водами легче всего растворяются NaCl , Na_2SO_4 , MgSO_4 и другие легкорастворимые соли.

Обогащение природных вод труднорастворимыми карбонатами кальция CaCO_3 , магния MgCO_3 и железа FeCO_3 происходит по следующим химическим реакциям:



По степени крупности растворенные в воде примеси подразделяются на:

- истинно-растворенные (катионы, анионы).
- коллоидно-дисперсные с размерами от 1 до 100 Нм.
- грубодисперсные (более 100 Нм).

Грубодисперсные примеси удаляют из воды отстаиванием, фильтрованием. Например, через слой крупного кварцевого песка.

Коллоидно-дисперсные примеси удаляют путем их склеивания (путем добавления химических реагентов – коагуляция), затем склеенные частицы выпадают в осадок и очищаются фильтрованием.

Наиболее сложная очистка требуется для наиболее растворимых веществ или истинно-растворимых веществ. Эти методы включают либо пропускание воды через специальные фильтры или мембраны.

Важнейшие ионы природных вод

Группа	Катион	Анион	Концентрация
I	Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}	HCO_3^- , Cl^- , SO_4^-	Ед – дес, тыс.
II	NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+}	HSiO_2^- , F^- , NO_3^- , CO_3^{2-}	Дес. Доли – ед
III	Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Al^{2+}	HS^- , J^- , NO_2^- , H_3PO_4^-	Дес.доли <

Из представленной таблицы следует что основными катионами являются щелочноземельные, причем поскольку Ca и Mg в воде растворяются плохо, то именно они являются наиболее опасными накипеобразователями, от которых следует очищать воду.

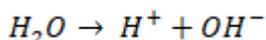
Из представленных анионов наибольшее распространение имеет HCO_3 . Однако анионы Cl и SO_4 могут быть также опасными, они участвуют в образовании отложений и соответственно их необходимо извлекать.

Показатели качества характеризуют воду с точки зрения использования её в теплоэнергетических установках.

Для применения в водоподготовке желательной является вода с минимальным солесодержанием. Вода, содержащая много солей жесткости, требует дополнительной обработки.

Большое значение в водоподготовке имеют кислотные свойства воды, поскольку при наличии в ней таких свойств (кислот) вода становится агрессивной и корродирует оборудование.

В нейтральной среде концентрация ионов водорода Н и гидроксогруппы ОН одинаковы:



Например при $t = 25^\circ C$ $C_{H^+} \cdot C_{OH^-} = 10^{-14}$ гион/литр, т.е. $10^{-7} \cdot 10^{-7}$.

Величина 10^{-7} очень мала, однако отклонение от этой величины придает воде кислотные либо щелочные свойства.

Концентрации Н и ОН между собой связаны. Преобладание ионов Н придает воде кислотные свойства, а ОН щелочные.

Поскольку рН и рОН связаны, обычно применяют один из этих показателей, обычно это рН.

Значение рН можно менять либо изменением температуры, либо добавлением кислой или щелочной воды.

Большую роль в процессах водоподготовки а реакциях играет HCO_3 . Переход одной формы HCO_3 в другие определяется водным раствором.

При рН = 4 HCO_3 находится в виде углекислого газа CO_2 , либо в H_2CO_3 . Углекислый газ в растворах представляется как H_2CO_3 .

Распределение форм угольной кислоты в зависимости от значения рН распределяется следующим образом: при внесении в физико-химическую систему каких либо возмущений она стремится их минимизировать и вернуться в первоначальное состояние. Например, берем 1 л раствора H_2O , меняем рН (добавляем в него известь), то первоначально угольная кислота в виде H_2CO_3 начнет рассыпаться, водород из неё будет переходить в раствор и взаимодействовать с ОН с образованием H_2O , затем при повышении рН более 8,32 начнут рассыпаться анионы HCO_3 , при рН = 12,5 угольная кислота примет вид CO_3 . Т.е. чем выше показатель рН то у нас в воде всё меньше Н и система стремится компенсировать его количество и забирает его у угольной кислоты.

(Тоже самое $CaCO_3$) – углекислотное равновесие.

Тема 1.2. Технологические показатели качества воды. Краткая характеристика водного баланса ТЭС разного типа.

Лекция проводится в интерактивной форме: просмотр видеороликов (2 час.)

Прозрачность – выражается в см водного столба и соответствует такой высоте водного столба, через который возможно чтение печатного шрифта заданной крупности. Прозрачность характеризует наличие взвешенных веществ.

Сухой остаток получается при выпаривании заданного объема жидкости, предварительно профильтрованной с последующим подсушиванием полученного осадка при температуре $105^\circ C$.

Сухой остаток включает взвешенные вещества, газы, летучие вещества. Размерность сухого остатка массовая растворимость (мг/кг).

Прокаленный и сульфатный остатки. Прокаленный получают путем прокаливания сухого в течении нескольких минут при температуре $800^\circ C$. Прокаленный остаток имеет меньшую массу, чем сухой на величину органических веществ.

Сумму соединений в воде катионов, анионов и молекул Fe_2O_3 SiO_2 Al_2O_3 называют кислотными оксидами. Сумма всех этих соединений называется минеральным остатком.

Различия минерального и прокаленного остатка заключается в том, что в прокаленном остатке ионы могут содержаться в виде различных солей, а минеральный остаток можно определить только расчетным путем предварительно измерив концентрацию.

Сульфатный остаток получают путём обработки сухого остатка серной кислотой, при это образуются сульфаты путем перехода катионов в серно-кислое соединение.

Щелочность воды представляет эквивалентную концентрацию анионов слабых кислот и гидроксильных ионов за вычетом концентрации ионов водорода.

$$Щ_0 = \sum A_{с.к.} + C_{OH^-} - C_{H^+} \text{ мг - экв/л}$$

производит электрическую энергию. Из турбины осуществляется несколько отборов пара: один идет технологическому потребителю, другой на собственные нужды ТЭС, например в деаэрагор.

Деаэрагор (функции и принцип действия): Деаэрагор удаляет коррозионно-агрессивные газы из питательной и подпиточной воды систем теплоснабжения и горячего водоснабжения в котельных с паровыми котлами и на ТЭС.

Коррозия металла при соприкосновении с водой в основном зависит от содержания растворенного кислорода в воде и углекислоты. Скорость коррозии имеет линейную зависимость от концентрации кислорода в воде. Причем эта зависимость прямопропорциональна (если увеличить концентрацию кислорода в 2 раза, скорость коррозии повысится в 2 раза).

Принцип действия (термический способ деаэрации воды). Способ основывается на том, что растворимость газов в воде с повышением температуры воды уменьшается, а при температуре, равной температуре кипения, газы почти полностью удаляются из воды, а именно в воде кислород замещается паром.

(пояснить рисунок и работу деаэрагора)

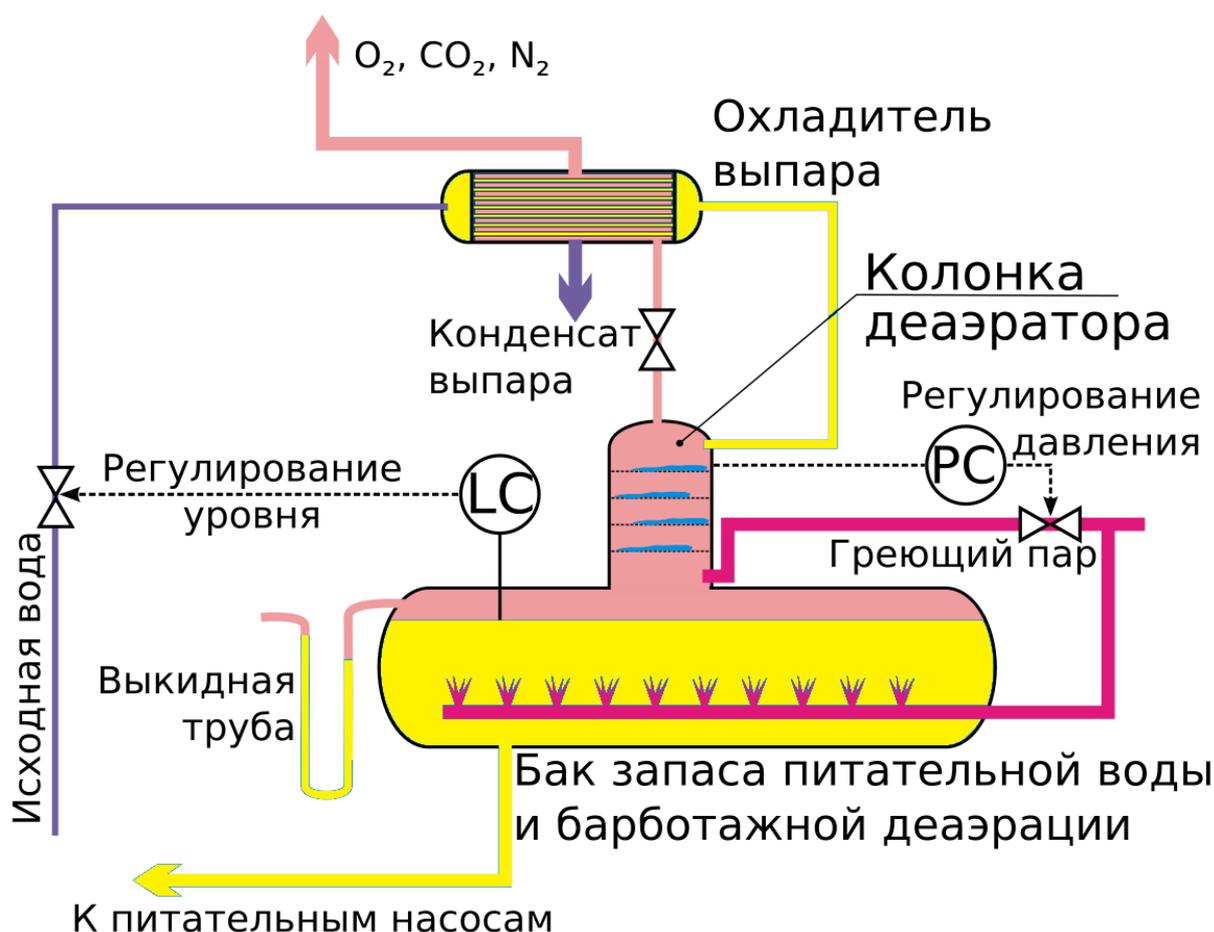


Рисунок – схема работы Деаэрагора на ТЭС.

У потребителя пар отдает свою теплоту, конденсируется и может частично теряться и загрязняться, например, технологическими продуктами: целлюлозой и др., поэтому конденсат возвращают в систему ТЭС через УОПК. Для восполнения потерь различных конденсатов в схему подается сырая вода, солесодержание которой может быть до 1000 мг/л. Для того, чтобы уменьшить солесодержание сырой воды до величины питательной воды, требуется много затрат на различные химические реагенты, поэтому стоимость питательной воды может быть в 20-50 раз больше, чем стоимость исходной сырой воды.

В связи с этим важно по возможности собирать весь конденсат с минимальными потерями. Чистым конденсатом является турбинный, но и он характеризуется высокой коррозионной активностью. Эта активность обусловлена бикарбонатными анионами,

которые всегда появляются при конденсации пара и могут переходить при конденсации в форму H_2CO_3 , которая агрессивно опасна.

Турбинный конденсат может также загрязняться при наличии в оборудовании турбины различных неплотностей. Для предотвращения образования отложений в котлах из них постоянно отводится часть наиболее соленой воды, которая через РНП сбрасывается в технологическую канализацию.

Таким образом в цикле тепло - источника имеются различные водные потоки, каждый из которых требует своих специальных мероприятий по обработке с целью предотвращения процессов образования отложения и коррозии.

Раздел 2. Образование отложений в паровых котельных агрегатах, тепловых сетях, теплообменниках и их предотвращение

Тема 2.1. Образование отложений в котельных агрегатах. Внутрикотловая обработка воды.

Отложения по химическому составу подразделяются на: щелочноземельные, силикатные, железно - окислые, медные. Отложения могут состоять из различных компонентов, но название дают те, которые преобладают.

Любые отложения содержат либо щелочноземельные металлы, либо кремний и тогда теплопроводность этих отложений будет низкая. Отложения бывают 2-х видов: в виде накипи или в виде шлама. Накипь представляет собой отложения на тепло-передаваемых плоскостях, причем прочно связанные с этими поверхностями. Шлам имеет рыхлую структуру. Отложения в виде шлама не связаны с поверхностями. Они могут перемещаться в водной среде и с течением времени оседают в кипящих трубках котла.

Накипи гораздо опаснее, чем шламы, они часто приводят к авариям на котлах, поэтому 1 из форм борьбы с такими негативными последствиями образования отложений является организация шламообразования. Шлам после оседания в нижних точках может быть удален с помощью продувки.

Продувка – это удаление из котла части котловой воды в какую либо емкость с более низким давлением, производится за счет разницы давлений в котле и в сосуде (подробно познакомиться с примерами) и имеет обычно целью выделение из котла различных солей и шламов.

Отложения представляют молекулярное соединение катионов и анионов. Условием возможности образования отложений является:

$$C_A C_K \geq PP_{(AK)} [\text{г-ион/л}]^2$$

$C_A C_K$ - концентрации катионов и анионов;

$PP_{(AK)}$ - справочная величина, называемая произведением растворимости какого либо вещества АК.

Произведение растворимости представляет собой такое произведение концентраций рассматриваемых накипиобразователей, когда растворение отложений уже не происходит.

Большинство органических веществ типа сахара с повышением температуры растворимость повышается и тем самым повышается скорость образования накипи.

Для неорганических веществ наоборот с повышением температуры растворимость снижается и снижается скорость образования отложений.

Образование какого либо вещества КА может быть существенно заторможено, если концентрация либо К, либо А минимальна; поскольку число молей образующихся соединений не превышает числа молей меньшего из накипи - образователей.

Скорость химической реакции, а значит и образование отложений резко увеличивается с ростом температуры, например для железно - окислых отложений скорость образования является функцией от ионов железа в воде и плотности теплового потока в квадрате.

$$A_{Fe} = f(C_{Fe}, q^2)$$

C_{Fe} - концентрация накипиобразователя;

q - плотность теплового потока.

Из формулы следует и подтверждается на практике, что образование отложений наиболее интенсивно протекает на теплонапряженных участках труб, например в районе горелок, соответственно для уменьшения отложений в некоторых случаях возможно более равномерное распределение факела по сечению топки.

Железно-окислые и медные отложения могут образовываться лишь при появлении в воде ионов соответствующих металлов, которые обычно появляются в результате коррозии в водо-конденсатном тракте.

Для борьбы с такими отложениями нужно уменьшать или исключать процессы коррозии.

Методы борьбы с отложениями. Для предотвращения накипи в котлах используется:

1) Глубокое умягчение добавляемой в питательную воду подпиточной воды;
2) Предотвращение загрязнения питательной воды продуктами коррозии конструкционных материалов.

3) Устранение присосов охлаждающей воды в конденсаторах турбин.

Под присосами понимается переток жидкости с большим давлением через неплотности и жидкости с меньшим давлением. В конденсаторах турбин охлаждающая жидкость может иметь солесодержание в 1000 раз больше чем конденсат и давление в 1000 раз больше чем у конденсата, поэтому такие присосы в конденсаторе очень опасны.

4) Организация внутрикотловой обработки воды и поддержание рационального режима продувок котловой воды.

5) Устранение местных высоких тепловых нагрузок в парогенерирующих трубках.

Внутрикотловая коррекционная обработка воды.

Различают 3 способа обработки:

- 1) Фосфатирование
- 2) Трилонирование
- 3) Щелочение

Фосфатирование и щелочение направлены на предотвращение образования накипи путем перевода отложений в неприкипающие шламы. Такой перевод возможен при создании щелочной среды ($pH > 7$). При фосфатировании в воду добавляется $3NaPO_4$, который может в дальнейшем диссоциировать с образованием анионов HPO_4 и OH . Фосфатирование применяется на котлах среднего и высокого давления и защищает только от кальциевой накипи и образование других видов накипи при фосфатировании сохраняется.

Фосфатирование относится к дорогим методам обработки, в связи с чем на котлах малого давления применяется щелочение.

Щелочение осуществляется с помощью раствора соды Na_2CO_3 , при этом повышается концентрация CO_3 . Недостатком щелочения является невозможность применения на котлах среднего и высокого давлений из-за перехода карбонатных анионов в агрессивные формы углекислой кислоты.

При наличии в воде кислот образование отложений резко замедляется или становится вовсе не возможным, более того при этом ($pH < 7$) вода может стать агрессивной, что приводит к коррозии поверхностей. Достоинство – простота и дешевизна.

Трилонирование – включает добавление к котловой воде раствора едкого натра и трилона Б, поэтому $pH > 8,5$.

Трилон Б представляет собой соль этилен диамина тетроуксусной кислоты.

При трилонировании растворимость веществ в воде резко увеличивается, поскольку проводится в щелочной среде, то коррозии не будет. Таким образом трилонирование является наиболее эффективным средством обработки воды. Недостаток – дороговизна.

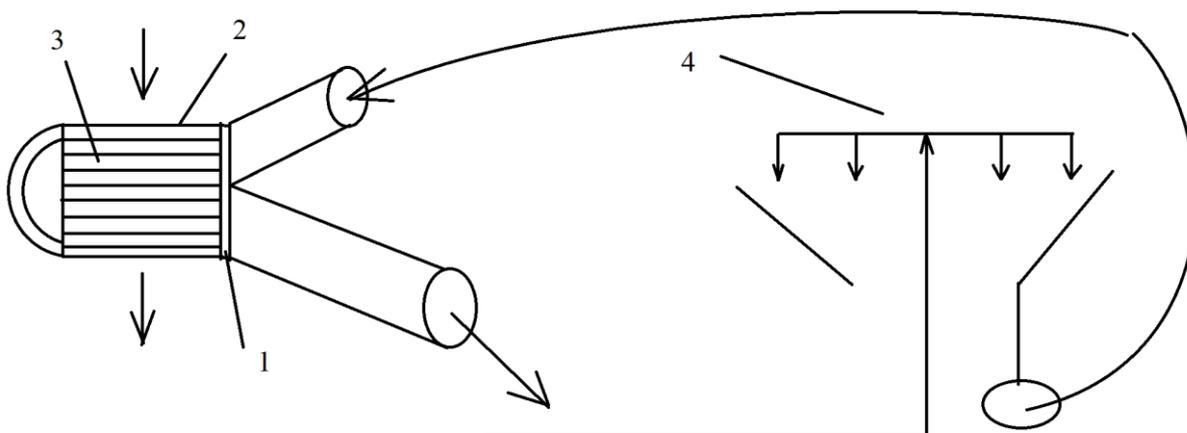
Тема 2.2. Предотвращение образования отложений в конденсаторах, тепловых сетях и удаление образовавшихся отложений.

Предотвращение образования отложений в конденсаторах паровых турбин.

- 1 – трубная доска конденсатора
- 2 – корпус
- 3 – теплообменные трубки
- 4 – градирня

С точки зрения водоподготовки в конденсаторах возможны 2 нежелательных процесса:

- 1. Присосы сырой воды через микротрещины в трубных досках конденсатора.
- 2. Образование отложений карбоната кальция внутри самих трубок.



Образование отложений в трубках протекает по приведенным формулам, которые возможны из-за выветривания углекислого газа из воды, охлаждаемой в градирне.



Градирня представляет собой водовоздушный теплообменник, в котором воды самотеком стекает струями сверху вниз и охлаждается при этом потоками атмосферного воздуха, которые могут продуваться вентиляторами или циркулировать сами по себе.

Процессы, описываемые формулами возможны, если в воде содержится много кальция и бикарбонатных анионов (HCO_3)₂. При взаимодействии такой воды с атмосферным воздухом анионы переходят в форму CO_2 улетучиваясь в атмосферный воздух, а часть оставшихся HCO_3 связываются в накипь CaCO_3 в трубках.

Предотвращение карбонатных накипей достигается путем обработки добавляемой воды, которая вводится взамен удаляемой продувочной.

Применяются следующие способы:

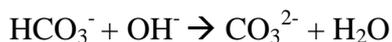
- 1) Подкисление
- 2) Известкование
- 3) Фосфатирование
- 4) Рекарбонизация

При подкислении в добавляемую воду вводят серную кислоту. При этом происходит разрушение иона HCO_3^- с образованием CO_2 :



При осуществлении подкисления важно выбрать дозу кислоты. Большая доза увеличит коррозионную агрессивность воды, малая – не обеспечит безнакипного режима.

При известковании в воду добавляется гашеная известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$ которая также приводит к разрушению иона HCO_3^- но без образования CO_2 :



Известкование приводит к образованию CaCO_3 причем на каждый кг Ca введенного с известью образуется 2 кг CaCO_3 , т.е. смысл защиты – противоположный с другими, он предусматривает образование отложений, но это организуется перед подачей воды в конденсаторы с удалением полученного CaCO_3 с продувкой.

Фосфатирование – рассматривали ранее (введенные фосфаты лишают карбонат кальция его накипиобразующих свойств)

Рекарбонизация – обработка воды газами, содержащими CO_2 в частности топочными газами котельных агрегатов с целью увеличить в ней концентрацию свободной углекислоты.

Предотвращение образования отложений в тепловых сетях

Снабжение потребителей горячей водой сопровождается небольшими потерями в тепловых сетях через различные неплотности. В современных тепловых сетях восполнение потерь производится химически обработанной водой, поэтому проблемы с щелочноземельными отложениями не существует. Однако наблюдается загрязнение теплосетей железноокислыми отложениями из-за коррозии оборудования, которая наблюдается вследствие неудовлетворительной деаэрации подпиточной воды, т.е. попадании в тепловую сеть кислорода.

Применяемые меры для устранения железноокислых соединений:

1) Снижение или полное прекращение поступления в тепловую сеть кислорода и углекислоты:

- улучшение работы вакуумных деаэраторов подпиточной воды
- подщелачивание сетевой воды
- рациональный подвод воды в баки-аккумуляторы

2) удаление накопившихся в оборудовании и трубопроводах окислов железа:

- кислотная очистка оборудования
- водовоздушная промывка сетевых подогревателей и систем отопления

Удаление образовавшихся отложений

Удаление отложений в зависимости от различных условий производится двумя способами:

- механическим, т.е. применение различных скребковых и режущих инструментов (щётки и тд). Применим в небольших котлах и простых теплообменниках.

- химическим, т.е. применение специальных реагентов. Такие очистки делятся на :

а) предпусковые, т.е. перед вводом в эксплуатацию для удаления монтажных загрязнений (ржавчина, сварка и т.д.)

б) эксплуатационные, т.е. удаление отложений образовавшихся в ходе работы.

Предпусковая очистка: начинается с промывкой холодной водой со скоростью порядка 2 м/с, затем горячей (до 100°C) по замкнутому контуру. Затем идёт щелочение (удаление силикатов, масел и т.д.), затем следует обработка реагентами для удаления окислов железа (ржавчина, окалина). При эксплуатационной очистках первые две операции опускаются.

Используемые реагенты: это соляная кислота и ряд органических: лимонная, малеиновая и др., а также трилон Б.

Соляную кислоту (HCl) используют в небольших котельных агрегатах и конденсаторах турбин. В больших котлах использование ограничено из-за агрессивных свойств, поэтому применяют органические кислоты, однако это более дорогой способ. Также при эксплуатационных промывках важно подбирать композиции реагентов в

зависимости от химического состава отложений, их свойств и структуры.

После удалений отложений поверхности промываются водой для удалений остаточных загрязнений. За промывкой следует операция нейтрализации кислот раствором щелочи. Заключительным является механизм пассивации металлов (переход поверхности металла в неактивное состояние путем образования антикоррозионной пленки).

Раздел 3. Загрязнение пара и способы борьбы с ним

Тема 3.1. Растворимость веществ. Капельный и избирательный унос.

Растворимость различных веществ в зависимости от давления и температуры

Вырабатываемый котельным установками пар всегда содержит различные вещества, которые переходят в него из котловой воды. Соотношение веществ перешедших в пар и веществ находящихся в воде называется общим коэффициентом распределения:

$$K_p^0 = \frac{S'_p}{S'_{к.в.}}$$

S'_p , $S'_{к.в.}$ - общие концентрации какого либо вещества в паре и в котловой воде.

Различают истинный, видимый и общий коэффициенты распределения. Истинный характеризует распределение какой либо формы вещества, например молекул. Величина $K_{р.и.}$ определится как:

$$K_{р.и.} = \frac{S_p}{S_{к.в.}} \left(\frac{\rho_p}{\rho_v} \right)^n$$

n – показатель, характеризующий природу вещества.

Коэффициент n зависит от вида вещества и температуры. Очень важно знать каким образом какие либо вещества реагируют на изменение температуры и в каких именно пределах, это определяется экспериментально. Так же очень важно контролировать концентрации веществ во избежание соответствующих последствий в элементах котельного агрегата.

Капельный и избирательный унос

Величины $S'_p = K_p^0 \cdot S'_{к.в.}$, мкг/кг называется уносом веществ из котловой воды в пар.

Различают *капельный* и *избирательный* унос.

Капельным унос называют тогда, когда загрязнения (вещества) поступают в пар преимущественно с каплями котловой воды. В данном случае все вещества одинаково пропорционально переходят из воды в пар.

Избирательным унос называют тогда, когда какое либо вещество или группа веществ переходит в пар преимущественно перед другими, т.е. в большем количестве и тогда пропорциональность как в первом случае нарушается. Обычно избирательный унос становится заметным при давлении 7 МПа и более, т.к. некоторые вещества такие как кремниевая кислота обладают намного более высокой растворимостью при давлении более данной величины.

Так же таким свойством обладают такие соединения, как NaCl Na₂SO₄ NaOH и др. Таким образом при зависимости растворимости веществ от давления для котельных агрегатов сверхвысокого давления избирательный унос становится основным источником загрязнения насыщенного пара.

Конструктивные особенности котельных агрегатов

Качество насыщенного пара зависит от многих факторов и в том числе от конструктивных особенностей: высоты и объема парового пространства барабана, способа ввода пароводяной смеси и отбора пара и др. Важнейшими являются нагрузка парового объема и зеркала испарения.

1) Нагрузка парового объема барабана:

$$R_{\sigma} = \frac{D_{\Pi} \cdot v'' \cdot 10^3}{V_{\text{п.к.}}}$$

D_{Π} - паропроизводительность котла, м³/час

v'' - удельный объем пара, м³/кг

$V_{\text{п.к.}}$ - паровой объем барабана, м³

Из уравнения следует что время пребывания пара в паровом объеме обратно пропорционально нагрузке парового объема, т.е. чем больше нагрузка, тем больше скорость пара. Так же паровая нагрузка может быть распределена неравномерно из-за нерациональной работы барабанных устройств, или из-за неравномерного отбора пара. Всё это влияет на величину уноса – т.е. чем выше скорость пара тем больше его влагосодержание и соответственно величина уноса, тоже самое в местах повышенной нагрузки.

2) Паронапряжение зеркала испарения, определяется как:

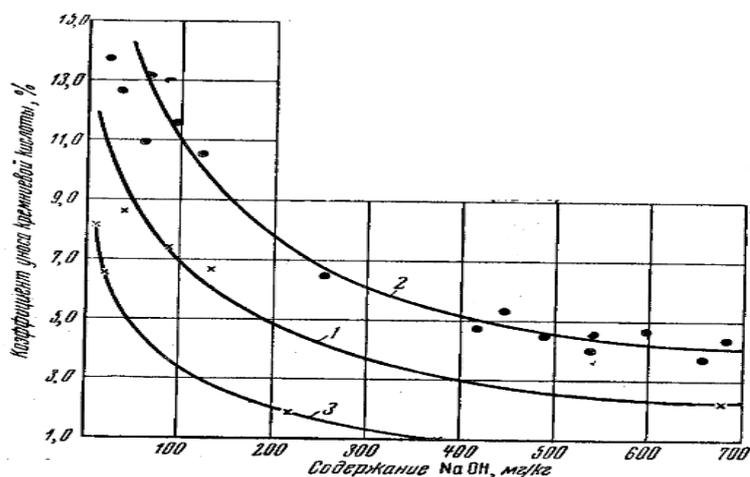
$$R_3 = \frac{D_{\Pi} \cdot v'' \cdot 10^3}{F_3}, \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$$

При вводе пароводяной смеси в барабан пузырьки пара пронизывают всю толщину котловой воды и выходят в паровой объем тем самым насыщаясь влагой. При этом в итоге унос определяется зеркалом испарения + действительной высотой парового объема.

При этом еще возникает такое явление, что вода при прохождении через неё пара насыщается так же паром, что приводит к увеличению уровня котловой воды в барабане, что ведет к уменьшению парового объема и ухудшению качества пара. В таких условиях становится нежелательным сосредоточенный подвод пароводяной смеси под зеркало горения для исключения усиленных очагов насыщения. Для этого на некотором уровне в котловой воде применяют дырчатый лист для равномерного распределения пузырьков по объему.

Зависимость коэффициента уноса кремниевой кислоты от рН котловой воды

На унос кремниевой кислоты также оказывает влияние гидратная щелочность воды, которая обуславливает различную степень гидролиза силикатов натрия. Константа гидролиза силиката натрия зависит от константы ионного произведения воды и от константы диссоциации кремниевой кислоты, являющейся продуктом гидролиза силиката натрия.



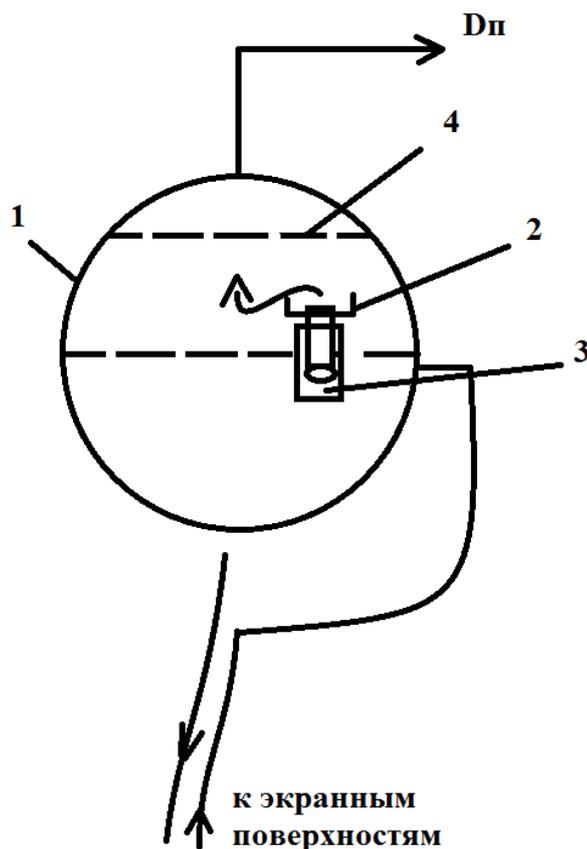
На рисунке представлена зависимость коэффициента уноса кремниевой кислоты от содержания NaOH в котловой воде.

При $pH > 8$ у части кремниевых кислот степень диссоциации будет возрастать, т.е. константа гидролиза будет выше, а константа диссоциации будет меньше.

Также изменение показателя pH меняется состояние поверхностного слоя воды на границе раздела фаз, а это приводит к изменению степени насыщения частицами кремниевой кислоты поверхностного слоя. Стенки пузырьков становятся более эластичными что образует большие капли, которые не уносятся – это при высоких значения $pH > 8$.

Тема 3.2. Многоступенчатое испарение, продувка котельных агрегатов, промывка пара.

Сепарационные устройства и продувка котельных агрегатов.



- 1 – барабан котла
- 2 – промывочный барабанный лоток
- 3 – циклонный аппарат
- 4 – жалюзийная решетка

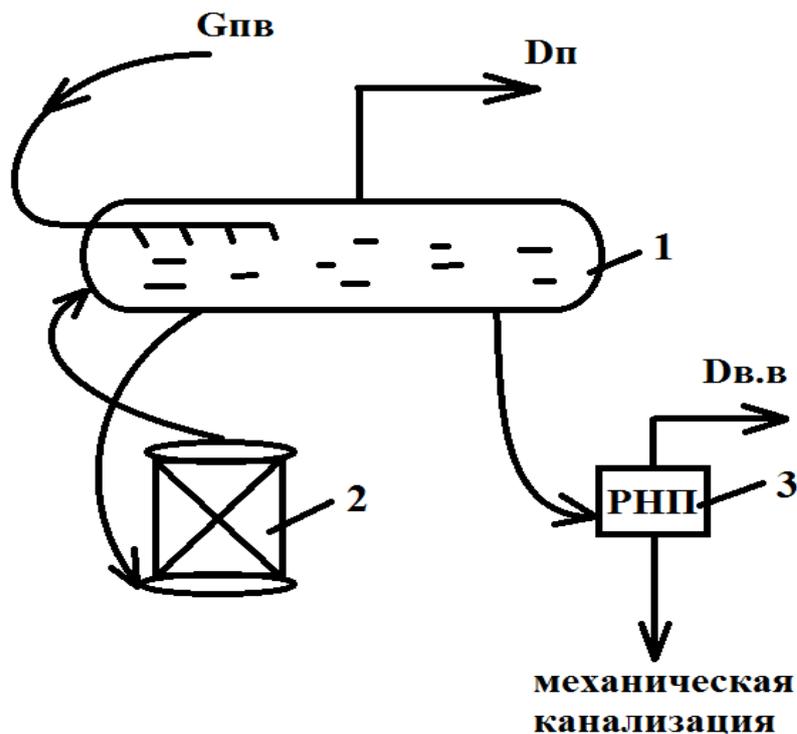
В нашей стране выполняются котельные установки 2-х типов: барабанные и прямоточные.

Барабанные применяются на котельных и ТЭС любого давления кроме сверхвысоких, а прямоточные только на сверхвысоких. Высокое качество пара на котлах обеспечивается различными путями. На барабанных – это снижение капельного и избирательного уносов, а на прямоточных – это только глубокое обессоливание (очистка) исходной питательной воды.

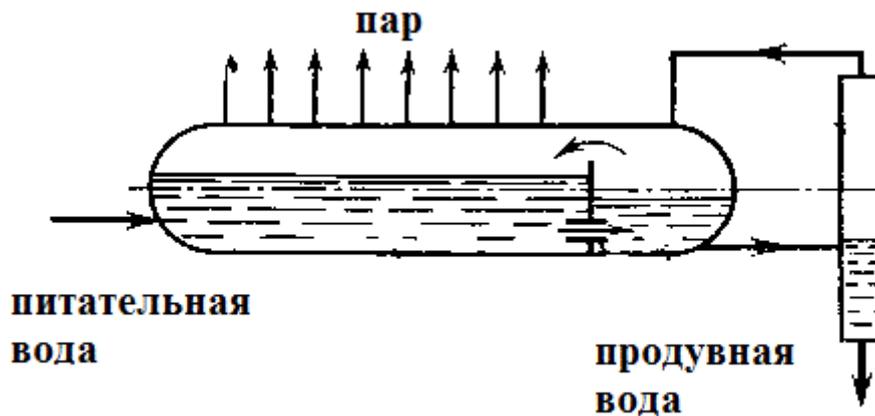
Конструктивно в прямоточных котлах организован переход всей воды по мере её движения в пар. В барабанных же котлах воды постоянно кипит, пока работает котел и все это время эта вода наполняется и разбавляется добавляемой питательной водой. Назначение барабана – это разделение пара и воды, причем чем полнее происходит процесс разделения, тем выше качество пара.

Пароводяная смесь из экранных труб поднимается вверх и подводится в барабан к циклонным элементам 3. Циклонный элемент может представлять собой конус, в вершину которого по центру установлена труба. Пароводяной поток закручивается вокруг этой трубы и движется по спирали вниз – по циклонному элементу. За счет разницы плотностей (более чем в 1000 раз) вода прижимается к внутренней стенке циклона а пар вытесняется во внутреннюю часть циклона, далее пар поднимается вверх через выхлопную трубу, а вода опускается вниз через водяной объем. Затем пар проходит через промывочный лоток с питательной водой 2, при этом он может насыщаться капельками влаги и одновременно отдает в питательную воду те капельки, которые уцелели в нем после циклона, при этом солесодержание пара снижается, затем пар поступает в паровой объем барабана, при этом могут меняться его скорость и направление движения, за счет этого происходит дополнительное отделение влаги, затем пар проходит через жалюзийную решётку 4 и направляется к потребителю. Назначение решетки в выравнивании расхода пара по длине барабана.

При длительной работе барабанных котлов в течении нескольких тысяч часов может происходить значительное накопление солей в котловой воде, при этом только снижение капельного уноса уже не достаточно для поддержания качества пара, а котловая вода может быть опасной с точки зрения образования отложений, поэтому для уменьшения солесодержания котловой воды и пара применяют непрерывную и периодическую продувку. Под продувкой понимают удаление части котловой воды и замену её чистой питательной водой.



- 1 – барабан
 - 2 – экранные поверхности.
 - 3 – РНЦ – расширитель непрерывной продувки.
- В барабане есть отсек чистой и соленой воды.



Конструктивно продувка организована следующим образом – в барабане выделяется 2 отсека – чистый, соленый. Для этого в барабане устанавливают перегородку с ограниченными отверстиями, которая разделяет эти отсеки. В чистый отсек постоянно подводится питательная вода, которая разбавляет котловую воду, а соленый отсек питается котловой водой через отверстия в перегородке. Вода в соленом отсеке более соленая, чем в чистом, что позволяет уменьшить расход продувочной воды, забираемой из соленого отсека. Для уменьшения потерь энергии и самой воды с продувкой она вводится в РНП, который представляет собой полый сосуд, связанный трубопроводами с потребителями пара низкого давления (обычно это давление 1-2 ата.). Вода, попадая в сосуд вскипает, при этом большая её часть превращается в пар вторичного вскипания расходом Дв.в., а меньшая часть с температурой насыщения (103 градуса) сбрасывается в техническую канализацию (при необходимости эта вода может дополнительно охлаждаться).

Таким образом ступенчатое испарение, продувка и её утилизация в расширителе позволяет обеспечить высокое качество пара при минимальных потерях энергии и очищенной воды.

Раздел 4. Коррозия теплоэнергетического оборудования.

Тема 4.1. Сущность и форма проявления коррозии металлов. Основные внешние факторы коррозии.

Коррозия представляет собой процесс окисления металлов, при этом продукты окисления слабо связаны между собой и легко могут вноситься водяными потоками, в связи с чем оборудование выходит из строя.

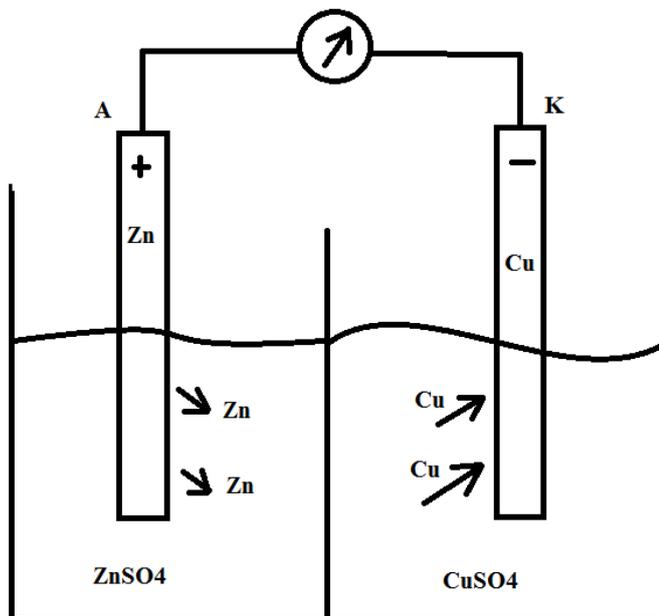
В соответствии с определением коррозии она может быть снижена путем уменьшения концентрации окислителей (кислород, фтор, хлор).

Известными растворителями шламов являются кислоты, соответственно они также будут способствовать процессам коррозии – такими веществами является CO_2 , H_2S , сульфаты.

Коррозию по характеру поражения металлов поверхностей подразделяют на общую или местную. При местной коррозии разрушаются отдельные участки и она может протекать быстрее чем общая. Кроме того имеется избирательная коррозия, при которой окисляется лишь один из металлов, составляющих сплав. Например, в латунных трубках (латунь – сплав меди с цинком) конденсаторов окисляется цинк и при этом латунь становится хрупкой.

По характеру протекающих процессов коррозию подразделяют на химическую и электрохимическую. Химическая коррозия идет с образованием продуктов коррозии в месте разрушения металла, и она обусловлена только химическими процессами окисления. Электрохимическая коррозия сопровождается протеканием тока и переходом продуктов окисления с одних участков на другие, обладающие большим электрическим потенциалом.

Характер электрохимической коррозии:



Сосуд, разделенный на 2 раздела – CuSO₄ и ZnSO₄, в них опущены 2 стержня, цинковый и медный. Если эти стержни соединить через амперметр, то он покажет наличие тока. Возникновение электрического тока в таком сосуде связано с тем, что электроды имеют различные потенциалы и электроны уходят с цинкового электрода на медный, при этом ионы цинка переходят в раствор (реакция окисления), а ионы меди наоборот из раствора движутся к медной пластине и оседают на ней (реакция восстановления). Разрушающаяся цинковая пластина называется анодом, а медная пластина катодом.

Влияние O₂ на интенсивность коррозионных процессов.

На протекание процессов коррозии влияет много факторов, которые делятся на внутренние и внешние. Внутренние - это род металла, его состав, обработка и т.д.), внешние – это характер среды, значение рН и др.

Логично предположить, что кислород, растворенный в воде является основным элементом, влияющим на интенсивность коррозии, он является деполаризатором – это вещества, способные связывать свободные электроны.

Результатом коррозии железа с участием кислорода является образование гидрата двухвалентного железа



Особенности коррозии с участием кислорода: образование локальных участков – язвин, над углублениями возникают бугорки из продуктов коррозии, при рН < 7 коррозия имеет равномерный характер.

Для предотвращения такой коррозии конденсат и питательная вода должны тщательно изолироваться от атмосферы.

Влияние CO₂ на скорость коррозионных процессов.

Еще одним важным фактором является наличие в воде двуокси углерода CO₂ которая при растворении в воде образует угольную кислоту H₂CO₃, которая диссоциирует с образованием ионов водорода H⁺



Ионы водорода подкисляют воду что ведёт к водородной коррозии. Например железа: Fe отдаст 2 электрона и перейдет в раствор – анодное растворение железа, а ионы H заберут эти электроны – реакция восстановления.

Реакция может протекать в обе стороны в зависимости от наличия в воды HCO_3 . В конденсате, т.е. воде, лишенной почти всех ионов HCO_3 более уязвима к водородной коррозии нежели природные или умягченные воды, где имеется большое количество ионов HCO_3 и тогда реакция пойдет наоборот налево со связыванием ионов водорода.

Таким образом водородной коррозии больше всего подвержены конденсатопроводы, конденсатные баки, калориферы и др.

Тема 4.2. Коррозия водо-конденсатного тракта и методы борьбы с ней.

Стояночная коррозия и методы борьбы с ней.

По экономическим соображениям в настоящее время теплоэнергетическое оборудование работает в циклических режимах, а так же периодически выводится в ремонт.

Если во время работы котельного оборудования кислород может попасть только через различные неплотности, то в случае ремонта или останова оборудования по какой либо причине пути попадания кислорода значительно расширятся.

Так же нужно знать то что при нарушении герметичности оборудования полностью освободить её от воды нельзя и у нас все равно будут труднодоступные неосушаемые участки, где будет скапливаться вода, в связи с этим у нас возникает стояночная коррозия, которая опасна тем что за короткое время скапливается большое количество продуктов коррозии, которые в процессе очередного пуска в зонах вялой рециркуляции котла нарушают циркуляцию воды с вытекающими последствиями.

Методы борьбы: делятся на сухие и мокрые. Выбор методов зависит от времени простоя. Мокрые способы целесообразны при кратковременных простоях, сухой – при долгосрочных. Также нужно учитывать отдельные факторы, такие как ремонт – тут можно обойтись только сухими методами.

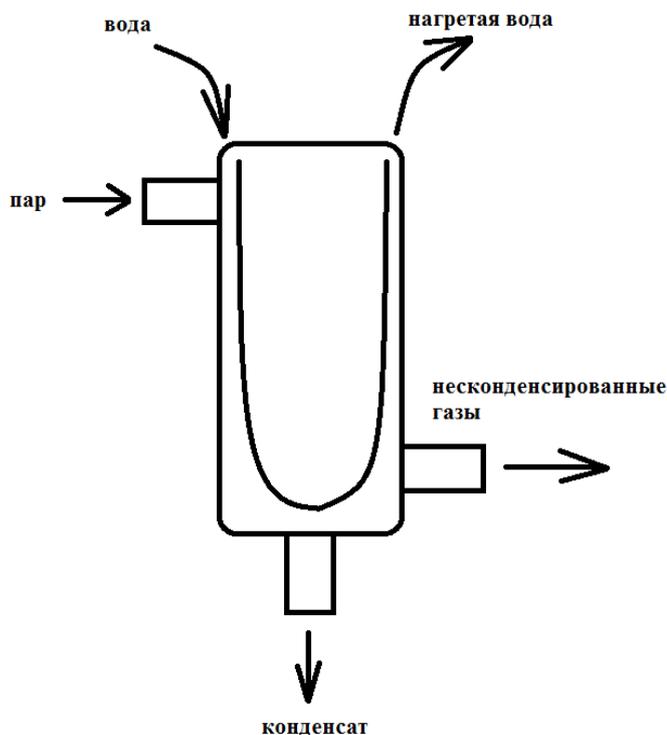
Сухие: открытие всех лазов и отверстий, опорожнение при 80°C и затем просушивание, обогрев при $200\text{-}250^\circ\text{C}$ горячим воздухом. После этого при длительном останове применяют различные влагопоглотители при этом зыкрывая все отверстия, после чего проверка состояния происходит раз в 3-6 месяцев.

Мокрые: поддержание оборудования в горячем резерве – снабжая паром от отборов турбин, деаэраторов, от продувки, собственных нужд и т.п. Либо это может быть заполнение оборудование различными растворами, препятствующими коррозии.

Методы борьбы с коррозией питательного и пароконденсатного тракта.

Методы борьбы основываются на удалении из воды кислорода и углекислоты. Удаление кислорода было рассмотрено ранее (работа деаэратора).

Углекислотная коррозия возникает после конденсаторов турбин или после теплообменников, в которых конденсируется пар. CO_2 образуется при конденсации пара из полусвязанной и связанной форм угольной кислоты после деаэратора. Газы скапливаются на поверхности конденсата и поэтому для их удаления уровень конденсата должен поддерживаться постоянным.



Удаление газов зависит от температуры нагреваемой воды:

- если $< 20^{\circ}\text{C}$ то над поверхностью конденсата избыточное давление отсутствует и газы отсасывают с помощью эжектора.

- если $> 20^{\circ}\text{C}$ то имеется давление и газы сами выдавливаются в окружающую среду.

Также применяют обработку питательной воды аммиаком или пара пленкообразующими аминами.

Методы борьбы с межкристаллитной и пароводяной коррозией.

Межкристаллитная коррозия

Возникает в заклепочных швах и вальцовочных соединениях паровых котлов. Она характеризуется появлением трещин, которые проходят между зёрнами металла (кристаллитами). Данная коррозия является бездеформационной (деформации металла не происходит).

Причины:

- 1) Высоких растягивающих напряжений
- 2) Неплотностей в заклепочных швах ит.д.
- 3) Агрессивных свойств котловой воды.

Растягивающие напряжения являются самыми важными. Они могут возникать изза термических деформаций – это неравномерное нагревание элементов котла, которое наблюдается местное охлаждение (соприкосновение) барабана котла с трубопроводами питательной воды, ввод в барабан относительно холодной смеси, перемещение элементов при растопке или останове котла и др.

Основные признаки: образование солевых наростов, отскакивание заклепок при проверке на прочность, течь заклепочных швов и др. Методы устранения заключаются в устранении причин неравномерного нагрева или охлаждения элементов.

Пароводяная коррозия:

Это разрежение стенок котла в результате взаимодействия с водяным паром. Основной причиной является нагрев стенок до критической температуры, при которой интенсифицируется реакция окисления металла водой. Этому способствует нарушение циркуляции, высокие плотности тепловых потоков ведущие к перегреву металла. В связи с этим данная коррозия проявляется в пароперегревателях и экранных трубках котельного

агрегата. Методы борьбы заключается в более равномерной эксплуатации котла и исключение местных перегревов элементов.

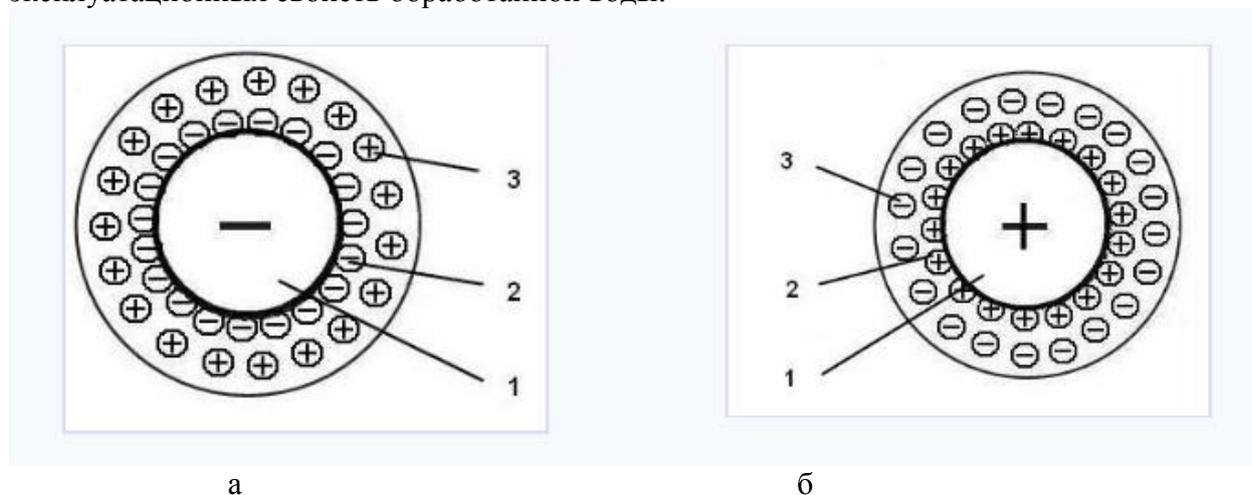
Раздел 5. Методы обработки и очистки воды.

Тема 5.1. Ионный обмен воды.

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция с запланированными ошибками (2 час.).

Ионный обмен воды

Методы ионного обмена относятся к наиболее распространенным способам уменьшения соленосодержания воды. Они основаны на способности некоторых материалов обмениваться ионами с взаимодействующей водой, при этом обменные ионы материалов подбираются таким образом, чтобы в дальнейшем они не приводили к снижению эксплуатационных свойств обработанной воды.



- а – катионит б – анионит
1 – многоатомный твердый каркас ионита
2 – неподвижные ионы активных групп
3 – подвижные активные (обменные группы)

В обрабатываемой воде нужно так изменить состав отложений, чтобы эти отложения совсем не образовывались или по крайней мере не давали бы накипи. Это значит, что из обработанной воды можно удалить соли жесткости или анионы щелочности.

Из представленного рисунка следует что если обменными ионами являются катионы, то такой катионит может применяться для снижения жесткости, а если анионит то – щелочности.

В качестве обменно-ионных материалов применяют синтетические смолы и коксующиеся угли. Указанные материалы обладают способностью насыщаться в растворах обменными ионами, которыми должен быть богат раствор.

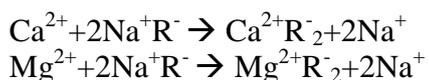
Если катионит обогатить ионами натрия, то в дальнейшем такой катионит сможет обмениваться этими ионами с обработанной водой, а из воды наоборот забирать катионы кальция и магния. Возможность такого обмена связана с электро-химическим потенциалом химических элементов, которая представлена следующим рядом:



Это значит, что кальций, содержащийся в обработанной воде будет переходить в катионит в количестве обменных катионов Na. В качестве обменных катионов удобно использовать Na, H, NH₄ – катиониты, а процесс называется – катионирование.

Na - катионирование

При Na – катионировании обменным ионом является натрий. Замена происходит по следующей схеме:



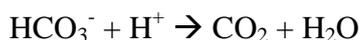
Здесь R – сложный радикал катионита, нерастворимый в воде и выполняющий роль многовалентного аниона.

При данном способе обработки воды удаляются только Ca и Mg, а анионы HCO_3 , SO_4 , Cl, NO_3 и другие переходят в умягчённую обработанную воду. Таким образом у нас происходит только снижение жесткости без уменьшения щелочности, это является недостатком.

Из реакции можно сказать что катионит обладает некоторым объёмом ионов, который он отдаёт взамен Ca и Mg, это называется рабочей обменной силой. После того как эта величина исчерпывается, катионит необходимо восстановить, процесс называется регенерацией. Он производится фильтрованием раствора NaCl через слой истощенного катионита.

H - катионирование

Данное катионирование происходит по аналогичным реакциям – замещение Na, Ca, Mg на H, но плюс к этому:



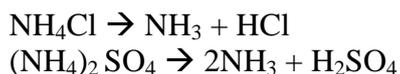
Таким образом водород взаимодействует не только с натрием магнием и кальцием, но и с ионами угольной кислоты. Таким образом у нас происходит не только снижение жесткости, но и полное удаление щелочности. Но при этом свободные соли кальция магния переходят в свободные кислоты, поэтому водород-катионированная вода является кислой и непригодной для питания ею паровых котельных агрегатов. Этот процесс на производстве всегда сочетают с Na-катионированием или другими процессами.

Регенерация истощенного катионита в данном случае происходит в фильтровании через него 1-1,5% раствора серной кислоты.

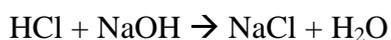
NH_4 – катионирование (аммоний катионирование)

В данном случае Ca и Mg заменяются NH_4 по аналогичным реакциям.

Данный метод основывается на поведении солей аммония в катионированной и котловой водах. В данном случае умягченная вода не обладает кислой реакцией и не требует защиты трубопроводов от коррозии. В котловой воде происходит распад этих солей с образованием аммиака и кислот:



Данные кислоты должны нейтрализовываться щелочными соединениями:



Следовательно в данном случае катионированная вода является также кислой и непригодной для питания котлов и данный метод также применяют в сочетании с натрий-катионированием.

Регенерация в данном случае производится сульфатом аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и NaCl в определенных соотношениях. Также стоит упомянуть что недостатком в данном случае является обогащение пара аммиаком, который в значительной концентрации при присутствии кислорода вызывает коррозию медных сплавов, поэтому этот способ получил ограниченное применение.

Анионирование

Наряду с катионированием на практике используется также процесс анионирования. Сущность его заключается в обмене анионами между электролитом и анионитом. В качестве обменного чаще всего используется OH , но также могут использоваться Cl , CO_3 , HCO_3 .

Из вышесказанного можно сделать вывод, что анионирование будет наиболее хорошо проходить там где показатель pH будет ниже, т.е. кислая вода и большое содержание водорода. Поэтому обычно воду фильтруют вначале через H -катионит, затем через анионит. В результате происходит замена с образованием воды к примеру:



Благодаря этому происходит практически полное удаление анионов кислот. Реакция идёт только в одну сторону слева направо в отличии от катионирования. Регенерация анионита производится фильтрованием анионита через раствор щёлочи, например NaOH .

Тема 5.2. Сущность процессов коагуляции, обратного осмоса и электродиализа.

Сущность процессов коагуляции

Коагуляцией называется процесс укрупнения частиц, т.е. слипание, свертывание их до выпадения в осадок и затем удаление.

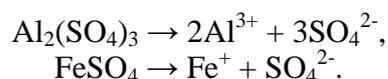
На практике этот процесс понимается как обработка воды спец. Реагентами – коагулянтами для удаления коллоидных и грубодисперсных примесей.

Коагулянты – это вещества, способные образовывать среду с противоположным зарядом, т.к. при обычном состоянии основная среда имеет одноименный заряд и не способно самопроизвольно образовывать крупные частицы.

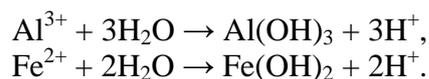
Коагулянтами могут выступать: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ или FeCl , FeSO_4

Коагуляция происходит в щелочной среде:

1) При добавлении в воду соли диссоциируют:



2) Происходит гидролиз с образованием труднорастворимых гидроксидов



В случае с железом при щелочной среде $\text{pH} > 9$



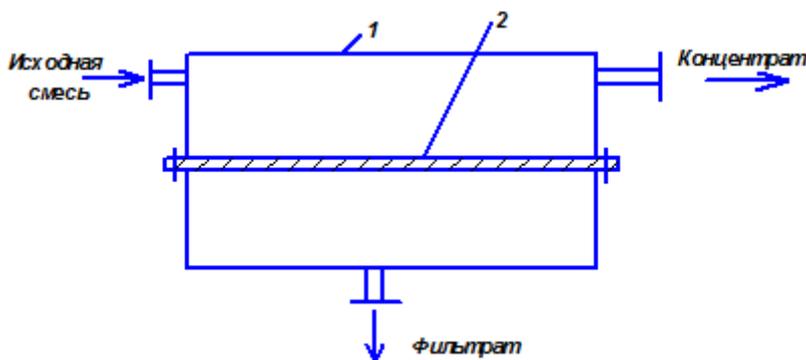
3) При этом образуется большое количество H , который отводится по реакции:



Данный процесс очень чувствителен к состоянию среды, а именно к значению показателя pH. К примеру алюминий нельзя использовать при $pH > 8$ т.к. алюминий начнёт реагировать со щёлочью и образовывать алюминаты и реакция гидролиза не будет идти. Также при низком значении $pH < 4$ не происходит гидролиза данных соединений из-за низкой щёлочности, поэтому очень важно контролировать состояние среды.

Сущность процессов обратного осмоса и электродиализа

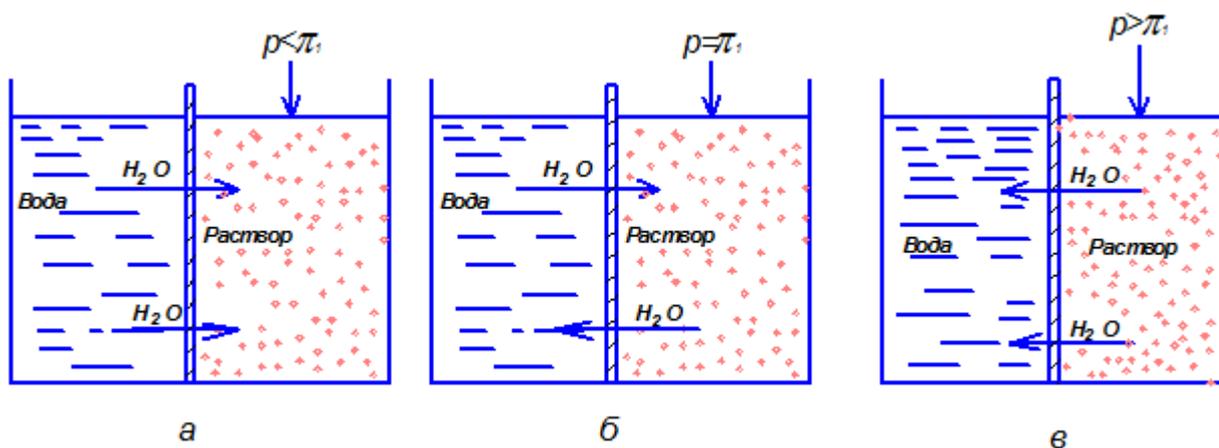
Целью данных процессов является разделение смеси на различные компоненты. Для этого смесь пропускается через мембрану.



- 1 – аппарат
- 2 – мембрана.

Обратный осмос.

Данный метод состоит в пропускании под давлением растворов через полупроницаемые мембраны, при этом растворитель отделяется от растворенных веществ.



- а – осмос
- б – равновесие

осмос - процесс самопроизвольного перехода растворителя, т.е. воды через мембрану в раствор (рисунок а) до достижения давления равновесия (рисунок б). В 3 случае при приложении повышенного давления со стороны раствора, то перенос растворителя будет проходить в обратном направлении, т.е. явление **обратного осмоса**.

В данном процессе очень важно контролировать рабочее давление, превышающее осмическое для избегания перехода растворенного вещества через мембрану.

Электродиализ. Диализ в электрическом поле в десятки раз ускоряет процесс очистки растворов от электролитов. Электродиализ – это процесс разделения ионов веществ под действием постоянного электрического поля в растворе, когда положительные и отрицательные ионы удаляемого электролита перемещаются к соответствующим

электродам, проникая при этом сквозь ионообменные мембраны.

4.3. Лабораторные работы

Учебным планом не предусмотрено.

4.4. Практические занятия

№ п/п	Номер раздела дисциплины	Наименование тем практических занятий	Объем в часах	Вид занятия в интеракт. форме
1	1.	Расчет различных видов концентраций растворов	2	Работа в малых группах (2 час.)
2	1.	Показатели качества воды	4	Работа в малых группах (4 час.)
3	2.	Образование отложений в паровых котлах	4	
4	3.	Водный режим паровых котлов.	4	
5	4.	Коррозия теплоэнергетического оборудования	2	
6	5.	Обработка воды по методу ионного обмена.	2	
ИТОГО			18	6

4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрено

5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№, наименование разделов дисциплины	Компетенции Кол-во часов	Компетенция	Σ комп.	$t_{ср}$ час	Вид учебных занятий	Оценка результатов
		ПК-1				
1	2	3	5	6	7	8
1. Природные воды	30	+	1	30	Лк, ПЗ, СРС	экзамен
2. Образование отложений в паровых котельных агрегатах, тепловых сетях, теплообменниках и их предотвращение	21	+	1	21	Лк, ПЗ, СРС	экзамен
3. Загрязнение пара и способы борьбы с ним	24	+	1	24	Лк, ПЗ, СРС	экзамен
4. Коррозия теплоэнергетического оборудования	15	+	1	15	Лк, ПЗ, СРС	экзамен
5. Методы обработки и очистки воды	18	+	1	18	Лк, ПЗ, СРС	экзамен
Всего часов	108	108	1	108		

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Фрог Б.Н. Водоподготовка: учебник для вузов / Б. Н. Фрог, А. Г. Первов. Москва: АСВ. 2015. – 512 с. URL: [Электронный ресурс]. - URL: <http://ecat.brstu.ru/catalog/Ресурсы%20свободного%20доступа/Фрог%20Б.Н.Водоподготовка.Учебник.%202015.pdf>

2. Чебанов С.Н. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых электростанций: Практич. Пособие / Чебанов С.Н., Ларин Б.М. - ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2009. – 428 с. [Электронный ресурс]. - URL: <http://ecat.brstu.ru/catalog/Ресурсы%20свободного%20доступа/Чебанов%20С.Н.Водоподготовка%20и%20водно-химический%20режим%20тепловых%20электростанций.Практич.пособие.2009.PDF>

3. Белан Ф.И. Водоподготовка: учебник / Ф.И. Белан. – 3-е изд., перераб. – Москва : Энергия, 1979. - 208 с. – Б. ц.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование издания	Вид занятия	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./чел.)
1	2	3	4	5
Основная литература				
1.	Фрог Б.Н. Водоподготовка: учебник для вузов / Б. Н. Фрог, А. Г. Первов. Москва: АСВ. 2015. – 512 с. URL: [Электронный ресурс]. - URL: http://ecat.brstu.ru/catalog/Ресурсы%20свободного%20доступа/Фрог%20Б.Н.Водоподготовка.Учебник.%202015.pdf	Лк, ПЗ	ЭР	1
Дополнительная литература				
2.	Белан Ф.И. Водоподготовка: учебник / Ф.И. Белан. – 3-е изд., перераб. – Москва : Энергия, 1979. - 208 с. – Ил.	Лк, ПЗ	21	0,84
3.	Чебанов С.Н. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых электростанций: Практич. Пособие / Чебанов С.Н., Ларин Б.М. - ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2009. – 428 с. [Электронный ресурс]. - URL: http://ecat.brstu.ru/catalog/Ресурсы%20свободного%20доступа/Чебанов%20С.Н.Водоподготовка%20и%20водно-химический%20режим%20тепловых%20электростанций.Практич.пособие.2009.PDF	Лк, ПЗ	ЭР	1
4.	Елсуков В.К. Водоподготовка: Программа, задания и методические указания / В.К. Елсуков, Е.А. Паршин, Е.В. Тартыкова. – Братск: ГОУ ВПО «БрГТУ», 2004. – 20 с.	ПЗ	63	1
5.	Белан Ф.И. Водоподготовка: (расчеты, примеры, задачи) / Ф.И. Белан: М.: Энергия, 1980. – 256 с.	ПЗ	10	0,48

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ
http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=.
2. Электронная библиотека БрГУ
<http://ecat.brstu.ru/catalog>.
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»
<http://biblioclub.ru>.
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»
<http://e.lanbook.com>.
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"
<http://window.edu.ru>.
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru>.
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)
<https://uisrussia.msu.ru/>.
8. Национальная электронная библиотека НЭБ
<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/>.

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных/практических работ

Практическое занятие №1

Расчет различных видов концентраций растворов.

Цель работы:

Решение задач по данной тематике.

Пример: Задача: В $0,5 \text{ м}^3$ раствора содержится 25 кг кальцинированной соды Na_2CO_3 . Нужно выразить концентрацию раствора в рассмотренных выше единицах измерения, если относительная плотность раствора равна 1.05.

Решение:

Проценты по массе

$$C_{\text{в.п.}} = \frac{25 \cdot 10^3}{10^3 \cdot 0,5 \cdot 1,05 \cdot 1000} \cdot 100 = 4,76\%$$

Объемная концентрация

$$C_{\text{о.к.}} = \frac{25 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 1000} = 50 \frac{\text{г}}{\text{л}} = 50 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Молярная концентрация

$$C_{\text{м}} = \frac{C_{\text{о.к.}}}{M} = \frac{25}{0,5 \cdot (23 \cdot 2 + 12 + 16 \cdot 3)} = 0,47 \frac{\text{г - моль}}{\text{л}}$$

Эквивалентная концентрация

$$C_{\text{э}} = \frac{25 \cdot 10^3}{0,5 \cdot \frac{106}{2}} = 945 \frac{\text{мг - экв}}{\text{л}}$$

Форма отчетности:

Решение задач оформляется и сдается в печатном или рукописном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта
2. Условия задач
3. Решение
4. Необходимые выводы

Задания для самостоятельной работы:
Предусмотрены вариантом студента.

Основная литература : [1]

Дополнительная литература: [4] .

Практическое занятие №2

Показатели качества воды

Цель работы:

Решение задач по данной тематике.

Пример 1: В 1 литре дистиллированной воды растворено 1,23 мг $MgSO_4 \cdot 7H_2O$.
Определить жесткость раствора.

Решение:

Сначала нужно найти сколько молекул Mg находится в соединении 1,23 мг $MgSO_4 \cdot 7H_2O$.

$$Mg = \frac{\nu(Mg)}{\nu(MgSO_4 \cdot 7H_2O)} * C = \frac{24}{246} * 1,23 = 0,12 \text{ мг}$$

$$C_3 = \frac{C'_{\text{о.к.}}}{\text{Э}_k} = \frac{0,12}{1 \cdot \frac{24,3}{2}} = 0,0098 \frac{\text{мг - экв}}{\text{кг}}$$

Пример 2: Во сколько раз необходимо упарить котловую воду, щелочность которой обусловлена NaOH и равна 5 мг-экв/л, чтобы концентрация NaOH увеличилась до 10 г/л

Решение:

$$C_3 (\text{NaOH}) = 5 \text{ мг-экв/л}$$

$$C_{\text{об}} (\text{NaOH}) = 10 \text{ г/л}$$

$$C_{\text{экв}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot n}{\mu}$$



$$\text{Щ}_r = C_{\text{экв}(\text{OH})}$$

$$\frac{C_{\text{об}}(\text{NaOH})}{C_{\text{об}}(\text{OH})} = \frac{\mu(\text{NaOH})}{\mu(\text{OH})}$$

$$C_{\text{об}}(\text{OH}) = \frac{\mu(\text{OH}) \cdot C_{\text{об}}(\text{NaOH})}{\mu(\text{NaOH})} = \frac{17 \cdot 10}{40} = 4,25 \text{ г/л}$$

$$C_{\text{экв}(\text{OH})} = \frac{4,25 \cdot 1}{17} = 0,25 \frac{\text{г - экв}}{\text{л}} = 250 \frac{\text{мг - экв}}{\text{л}}$$

Т.е. упарить нужно в 50 раз.

Форма отчетности:

Решение задач оформляется и сдается в печатном или рукописном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта

2. Условия задач
3. Решение
4. Необходимые выводы

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Основная литература : [1]

Дополнительная литература: [4] .

Практическое занятие №3

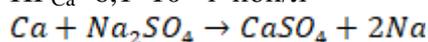
Образование отложений в паровых котлах

Цель работы:

Решение задач по данной тематике.

Задача 1: Кальциевая жесткость раствора составляет 20 мг-экв/л. Какую следует создать в этом растворе концентрацию сульфата натрия, чтобы выпал осадок сернокислого кальция при температуре 298 К.

$$ПР_{Ca} = 6,1 \cdot 10^{-5} \text{ г-ион/л}$$



$$ПР_{CaSO_4} = C_{\mu Ca} \cdot C_{\mu SO_4}$$

$$C_{SO_4} = \frac{ПР_{CaSO_4}}{C_{Ca}}$$

$$C_{\mu Ca} = \frac{C_z}{z} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,01 \frac{\text{г-ион}}{\text{л}}$$

$$C_{\mu SO_4} = \frac{6,1 \cdot 10^{-5}}{0,01} = 0,0061 \frac{\text{г-ион}}{\text{л}}$$

$$m_{SO_4} = C_{\mu} \cdot V \cdot \mu = 0,0061 \cdot 96 = 0,59 \text{ г}$$

$$\frac{m(SO_4)}{m(Na_2SO_4)} = \frac{\mu(SO_4)}{\mu(Na_2SO_4)}$$

$$m(Na_2SO_4) = \frac{\mu(Na_2SO_4) \cdot m(SO_4)}{\mu(SO_4)} = \frac{0,59 \cdot 142}{96} = 0,89 \text{ г}$$

Форма отчетности:

Решение задач оформляется и сдается в печатном или рукописном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта
2. Условия задач
3. Решение
4. Необходимые выводы

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Основная литература : [1]

Дополнительная литература: [4] .

Практическое занятие №4

Водный режим паровых котлов

Цель работы:

Решение задач по данной тематике.

Пример: Качество исходной воды характеризуется карбонатной жесткостью 1,8 мг-экв/кг и сухим остатком 400 мг/кг. Щелочность котловой воды была принята равно 7 мг-экв/кг и сухой остаток 1400 мг/кг. Добавка умягченной воды составляет 15%. Определить, можно ли применить при умягчении воды натрий-катионитную прямоточную схему и будет ли щелочность лимитировать водный режим котлов.

Решение:

Щелочность натрий-катионированной воды определяется, как известно, щелочностью исходной воды. Для решения воспользуемся формулой:

$$Щ_{u.в.} = \frac{p_n}{100 + p_n} \frac{Щ_{к.в.}}{a_k}$$

Неизвестной в этом выражении является продувка p_n , численное значение которой, определенное по щелочности $p_{щ}$ и сухому остатку p_c может быть различно. Поэтому:

$$p_n = \frac{S_k a_k}{S_{к.в} - S_k a_k} 100$$

При этом принимаем сухой остаток натрий-катионированной воды равным сухому остатку исходной воды, что, однако, не является точным, но допустимо для прикидочного технического расчета

$$p_{щ} = \frac{1,8 * 0,15 * 100}{7 - 1,8 * 0,15} = 4\%$$

$$p_c = \frac{400 * 0,15 * 100}{1400 - 400 * 0,15} = 4,5\%$$

Водный режим котла будет лимитироваться размером сухого остатка, и, следовательно, по щелочности натрий-катионирование допустимо.

Форма отчетности:

Решение задач оформляется и сдается в печатном или рукописном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта
2. Условия задач
3. Решение
4. Необходимые выводы

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Основная литература : [1]

Дополнительная литература: [4].

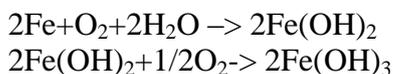
Практическое занятие №5

Коррозия теплоэнергетического оборудования

Цель работы:

Решение задач по данной тематике.

Пример: Процесс электрохимической коррозии с кислородной деполяризацией может быть представлен следующими реакциями:



Определить количество кислорода, необходимое для разрушения слоя металла толщиной в 0,1 мм на площади 1 м^2 с образованием $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и количество образующегося Fe_2O_3

Решение

Приведенные две реакции можно заменить одной



Исходя из которой можно определить расход кислорода на 1 г прокорродированного железа:

$$q_{\text{O}_2} = \frac{3\text{O}_2}{4\text{Fe}} = \frac{3 \cdot 32}{4 \cdot 55,8} = 0,43 \text{ г/г}$$

Масса слоя железа толщиной 0,1 мм на площади 1 м равна $0,01 \cdot 10000 \cdot 7,8 = 780$ г.

Следовательно, требуемое количество кислорода составит $780 \cdot 0,43 = 336$ г.

Количество образующихся Fe_2O_3 можно определить из соотношения:

$$\frac{q_{\text{Fe}_2\text{O}_3} m_{\text{Fe}}}{2\text{Fe}} = \frac{159,7 \cdot 780}{2 \cdot 55,8} = 1116 \text{ г}$$

Форма отчетности:

Решение задач оформляется и сдается в печатном или рукописном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта
2. Условия задач
3. Решение
4. Необходимые выводы

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Основная литература : [1]

Дополнительная литература: [4] .

Практическое занятие №6

Обработка воды по методу ионного обмена

Цель работы:

Решение задач по данной тематике.

Пример: Катионный фильтр диаметром 2,6 м работает со скоростью фильтрования 15 м/ч. Высота слоя сульфогля составляет 2,5 м, обменная емкость его 330 г экв/м³. Определить расчетный расход воды на собственные нужды фильтра $q_{с.н.}$, расход соли на регенерацию при $\gamma_c = 180$ г/г экв, межрегенерационный период и часовую производительность фильтра q , если концентрации регенерационного раствора C равна 6%, $Ж=3,5$ мг экв/л, простой фильтра в регенерации 2 ч.

Решение

Площадь фильтра 5,3 м². $T=330*2,5/3,5*15=15,7$ ч.

Расход соли на регенерацию $q_c=330*2,5/180*5,3*10^{-3}=800$ кг

Часовая производительность фильтра $q=15*5,3=80$ м³/ч.

Расход воды на приготовление соли

$$q = \frac{q_c}{10\rho C} = \frac{800}{10*1,04*6} = 12,8\text{ м}^3$$

Расход воды на отмывку фильтра

$$q = \frac{\nu_{отм} \nu_{вз}}{60} = \frac{10*5,3*50}{60} = 44\text{ м}^3$$

Расход воды на взрыхление аналогично 16 м³

Общий расход на собственные нужды будет равен 72,8 м³.

Форма отчетности:

Решение задач оформляется и сдается в печатном или рукописном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта
2. Условия задач
3. Решение
4. Необходимые выводы

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Основная литература : [1]

Дополнительная литература: [4] .

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Microsoft Imagine Premium
2. ОС Windows 7 Professional
3. Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level
4. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security
5. Adobe Reader
6. Архиватор 7-Zip

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ЛР</i>
1	2	3	4
Лк	Лекционная аудитория	Меловая доска	№1-9
СР	Читальный зал №3	15 ПК-CPU 5000/RAM 2Gb/HDD (Монитор TFT 19 LG 1953S-SF);принтер HP LaserJet P3005.	-
ПЗ	Дисплейный класс	AMD Athlon 64 (5GHz/250Gb/2Gb/DD-RW), 2 ядра	№1-6

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ПК-10	готовность к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов	1. Природные воды	1.1. Введение. Природные воды как исходное технологическое сырьё для водоподготовительных установок ТЭС	Экзаменационные вопросы 1-7
		1.2. Технологические показатели качества воды. Краткая характеристика водного баланса ТЭС разного типа	Экзаменационные вопросы 8-14	
		2. Образование отложений в паровых котельных агрегатах, тепловых сетях, теплообменниках и их предотвращение		2.1. Образование отложений в котельных агрегатах. Внутрикотловая обработка воды
		2.2. Предотвращение образования отложений в конденсаторах, тепловых сетях и удаление образовавшихся отложений	Экзаменационные вопросы 20-25	
		3. Загрязнение пара и способы борьбы с ним		3.1. Растворимость веществ. Капельный и избирательный унос
		3.2. Многоступенчатое испарение, продувка котельных агрегатов, промывка пара	Экзаменационные вопросы 26-32	
		4. Коррозия теплоэнергетического оборудования		4.1. Сущность и форма проявления коррозии металлов. Основные внешние факторы коррозии
		4.2. Коррозия водо-конденсатного тракта и методы борьбы с ней		
		5. Методы обработки и очистки воды	5.1. Ионный обмен воды.	
		5.2. Сущность процессов коагуляции, обратного осмоса и электродиализа.		

2. Экзаменационные вопросы

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела	
	Код	Определение			
1	2	3	4	5	
1.	ПК-10	готовность к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов	1. Предмет водоподготовки. Природные воды как исходное технологическое сырье для водоподготовительных установок ТЭС.	1. Природные воды	
			2. Краткая характеристика водного баланса ТЭС разного типа.		
			3. Гидрохимическая карта рек России по временам года.		
			4. Показатели воды, характеризующие общее количество примесей: прозрачность, солесодержание, сухой остаток, прокаленный остаток.		
			5. Показатели, характеризующие отдельные группы примесей: жесткость, щелочность, кремнесодержание, окисляемость.		
			6. Технологические показатели воды: рН и рОН.		
			7. Углекислотное равновесие.		
			8. Состав и свойства накипей и шламов.		2. Образование отложений в паровых котельных агрегатах, тепловых сетях, теплообменниках и их предотвращение
			9. Возможность и обязательность образования отложений. Скорость образования отложений.		
			10. Методы борьбы с отложениями в барабанных котлах.		
			11. Предотвращение образования отложений в прямоточных котельных агрегатах.		
			12. Предотвращение образования в конденсаторах паровых турбин.		
			13. Предотвращение образования отложений в тепловых сетях.		3. Загрязнение пара и способы борьбы с ним
			14. Удаление образовавшихся отложений.		
			15. Растворимость различных веществ в паре в зависимости от давления и температуры.		
			16. Капельный и избирательный унос.		
			17. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов (удельные нагрузки парового объема и зеркала испарения, нагрузки котла) на величину уноса.		
			18. Зависимость коэффициента уноса кремниевой кислоты от рН котловой воды.		
			19. Сепарационные устройства и продувка котельных агрегатов.	4. Коррозия теплоэнергетического оборудования	
			20. Сущность и форма проявления коррозии металлов.		
			21. Влияние O ₂ на интенсивность коррозионных процессов.		
			22. Влияние CO ₂ на скорость коррозионных процессов.		
			23. Стояночная коррозия и способы борьбы с ней.		
			24. Методы борьбы с коррозией питательного и пароконденсатного тракта.		
			25. Методы борьбы с межкристаллитной и пароводяной коррозией.		
			26. Сущность обработки природных вод и конденсатов методов ионного обмена.	5. Методы обработки и очистки воды	
			27. Na – катионирование.		
			28. H – катионирование.		
			29. NH ₄ – катионирование.		
			30. Анионирование.		
			31. Сущность процессов коагуляции.		
			32. Сущность процессов обратного осмоса и электродиализа.		

3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
Знать (ПК-10) - теоретические основы и терминологию водоподготовки, физико-химических процессов, протекающих в воде при эксплуатации теплоэнергетического оборудования, принципов действия и областей применения различных способов обработки воды; Уметь (ПК-10) - рассчитывать физико-химические показатели качества воды и режимов работы оборудования; Владеть (ПК-10) - методиками выбора технологий химии воды и водоподготовки.	отлично	Оценка «отлично» выставляется в случае, если обучающийся глубоко и прочно усвоил программный материал и демонстрирует: - всестороннее знание программного материала; - умение правильного применения основных положений программного материала; - владеет всеми навыками, полученными в ходе изучения программного материала.
	хорошо	Оценка «хорошо» выставляется в случае, если обучающийся демонстрирует: -недостаточно полное знание программного материала; - применение с несущественными ошибками основных положений программного материала
	удовлетворительно	Оценка «удовлетворительно» выставляется в случае, если обучающийся демонстрирует частичное знание программного материала; неоднократно допускал ошибки в ответе
	неудовлетворительно	Оценка «неудовлетворительно» выставляется в случае, если уровень владения программным материалом не отвечает требованиям; все вышеуказанные разделы не усвоены.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина Водоподготовка направлена на изучение показателей качества воды; таких процессов, как образования отложений, электролиза, коррозии, которые протекают в водопаровом и газовом трактах источников теплоснабжения

Изучение дисциплины Водоподготовка предусматривает:

- лекции,
- практические занятия,
- самостоятельную работу,
- экзамен.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется на первом этапе ознакомиться с основными определениями и понятиями водоподготовки, основными показателями качества воды, способами выражения концентрации и далее более подробно рассматривать основные уравнения и зависимости, применяемые для описания процессов, происходящих в водопаровом и газовом трактах источников теплоснабжения.

В процессе проведения практических занятий происходит закрепление навыков применения методов анализа основных процессов, протекающих в установках, оценки основных свойств жидких сред, показателей качества воды в котельных установках а также условий образования отложений в них.

Самостоятельную работу необходимо начинать с изучения теоретического материала.

В процессе консультации с преподавателем необходимо выяснить все непонятные моменты.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературы.

Предусмотрено проведение аудиторных занятий в интерактивной форме (лекции-беседы, лекции с разбором конкретных ситуаций, работа в малых группах) в сочетании с внеаудиторной работой.

АННОТАЦИЯ рабочей программы дисциплины

Водоподготовка

1. Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является: получение знаний о физико-химических основах процессов образования отложений, коррозии и др., которые протекают в водопаровом и газовом трактах источников теплоснабжения.

Задачей изучения дисциплины является: изучение современных методов водоподготовки.

2. Структура дисциплины

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: Лк 18 ч; ПЗ 18 ч; СР 72 ч.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 144 часа, 4 зачетных единиц

2.2 Основные разделы дисциплины:

- 1 - Природные воды;
- 2 - Образование отложений в паровых котельных агрегатах, тепловых сетях, теплообменниках и их предотвращение;
- 3 - Загрязнение пара и способы борьбы с ним;
- 4 – Коррозия теплоэнергетического оборудования;
- 5 - Методы обработки и очистки воды.

3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-10 - Готовность к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов

4. Вид промежуточной аттестации: экзамен

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе
на 20__-20__ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

Протокол заседания кафедры № _____ от «___» _____ 20__ г.,
(разработчик)

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.13.01 Теплоэнергетика и теплотехника от «01» октября 2015г. № 1081.

для набора 2015 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «04» декабря 2015 г. №771 , заочной формы обучения от «04» декабря 2015 г. №771

для набора 2016 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» июня 2016 г. №429 , заочной формы обучения от «06» июня 2016 г. №429 для заочной формы (ускоренного обучения) от «06» июня 2016 г. № 429

для набора 2017 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» марта 2017 г. №125 , заочной формы обучения от «06» марта 2017 г. №125 для заочной формы (ускоренного обучения) от «04» апреля 2017 г. №203

для набора 2018 года и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018 г. №130 , заочной формы обучения от «12» марта 2018 г. №130

Программу составил:

Нефедов А.С., ассистент каф. ПТЭ _____

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры ПТЭ

от «13» декабря 2018 г., протокол № 4

Заведующий кафедрой ПТЭ _____

А.А. Федяев

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий выпускающей кафедрой ПТЭ _____

А.А. Федяев

Директор библиотеки _____

Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией факультета ЭиА

от «28» декабря 2018 г., протокол № 5

Председатель методической комиссии факультета ЭиА _____

А.Д. Ульянов

СОГЛАСОВАНО:

Начальник
учебно-методического управления _____

Г.П. Нежевец

Регистрационный № _____