

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Блинова Светлана Павловна

Должность: Заместитель директора по учебно-воспитательной работе

Дата подписания: 22.03.2024 09:37:55

Уникальный программный ключ:

1cafd4e102a27ce11a89a2a7ceb2611767abf665

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Норильский государственный индустриальный институт»**  
**Политехнический колледж**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по самостоятельной работе для студентов  
заочной формы обучения по междисциплинарному курсу  
«Химико-технологические процессы на тепловых электрических станциях»

**для специальности**  
**13.02.01 Тепловые электрические станции**

Методические указания по самостоятельной работе по междисциплинарному курсу ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ разработаны на основе Федерального государственного образовательного стандарта по специальности среднего профессионального образования

13.02.01 Тепловые электрические станции

**Организация-разработчик:** Политехнический колледж ФГБОУ ВО «Норильский государственный индустриальный институт»

**Разработчик:**

С.И.Семенова, преподаватель Политехнического колледжа

Утверждено на заседании методического совета колледжа

Протокол № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021г.

Зам. директора по УР

С.П.Блинова

## Содержание

Введение .....	4
1 Тематический план .....	6
2 Содержание междисциплинарного курса	
Раздел 1 Очистка воды от грубодисперсных, коллоидных и истинно-растворенных примесей .....	7
Тема 1.1 Примеси природных и контурных вод. Показатели качества воды ...	7
Тема 1.2 Очистка воды методами коагуляции и осаждения .....	8
Тема 1.3 Осветление воды методами фильтрования .....	10
Тема 1.4 Обработка воды методами ионного обмена .....	11
Тема 1.5 Мембранная технология водообработки .....	12
Раздел 2 Очистка воды от растворенных газов .....	13
Тема 2.1 Физические и химические методы удаления агрессивных газов .....	14
Раздел 3 Обработка охлаждающей воды .....	15
Тема 3.1 Предотвращение образования минеральных отложений.....	15
Тема 3.2 Предотвращение биологических обрастаний.....	16
Раздел 4 Стоки электростанций и технология их обезвреживания .....	16
Тема 4.1 Характеристика сточных вод электростанций .....	16
Тема 4.2 Способы очистки сточных вод .....	17
Раздел 5 Термическая водоподготовка.....	19
Тема 5.1 Испарительные и паропреобразовательные установки.....	19
3 Экзаменационные вопросы .....	21
Литературные источники .....	22

## **Введение**

Методические указания по междисциплинарному курсу «Химико-технологические процессы на тепловых электрических станциях» предназначены для реализации государственных требований к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников специальности 13.02.01 Тепловые электрические станции в условиях действия государственного образовательного стандарта СПО, оказания помощи обучающимся на заочной форме обучения в организации их самостоятельной работы при изучении учебного материала.

Данный междисциплинарный курс предусматривает изучение основных методов очистки воды, технологических схем водоподготовительных и очистных установок, организации водно-химического режима на тепловых электрических станциях) далее ТЭС).

Преподавание данного междисциплинарного курса имеет практическую направленность и осуществляется в тесной взаимосвязи с другими междисциплинарными курсами профессионального цикла.

В процессе изучения междисциплинарного курса «Химико-технологические процессы на тепловых электрических станциях» большое внимание уделяется вопросам экологической безопасности производства.

Перечень рекомендуемой литературы и вопросов для самоконтроля позволяет обучающимся самостоятельно определить необходимый объем изучаемого материала.

В результате изучения междисциплинарного курса обучающийся должен:

### **иметь практический опыт по:**

- чтению технологической схемы подготовки питательной воды ;
- управлению работой водоподготовительной установки;
- составлению и заполнению оперативной документации по обслуживанию водоподготовительной установки;
- регистрации показаний контрольно-измерительных приборов;

### **уметь:**

- рассчитывать технологические показатели качества воды;
- выбирать оптимальный режим работы оборудования водоподготовительной установки;
- контролировать показания средств измерений
- определять причины возникновения неполадок;

### **знать:**

- устройство, принцип работы и технические характеристики оборудования водоподготовительной установки и очистных сооружений ТЭС;
- технологические показатели качества воды и пара;
- водные режимы барабанных и прямоточных котлов;
- условия образования и способы предотвращения отложений на поверхностях нагрева;
- способы очистки сточных вод котельного цеха;

Содержание междисциплинарного курса ориентировано на подготовку студентов к освоению профессиональных модулей ОПОП по специальности 13.02.01 Тепловые электрические станции и овладению профессиональными компетенциями:

ПК 1.1. Проводить эксплуатационные работы на основном и вспомогательном оборудовании котельного цеха, топливоподачи и мазутного хозяйства.

ПК 1.3. Контролировать работу тепловой автоматики и контрольно-измерительных приборов в котельном цехе.

ПК 1.4. Проводить наладку и испытания основного и вспомогательного оборудования котельного цеха.

В процессе освоения дисциплины студент должен овладевать общими компетенциями:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, определять методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Решать проблемы, оценивать риски и принимать решения в нестандартных ситуациях.

ОК 4. Осуществлять поиск, анализ и оценку информации, необходимой для постановки и решения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии для совершенствования профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, обеспечивать ее сплочение, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Ставить цели, мотивировать деятельность подчиненных, организовывать и контролировать их работу с принятием на себя ответственности за результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Быть готовым к смене технологий в профессиональной деятельности.

## 1 Тематический план

Наименование разделов и тем
РАЗДЕЛ 1 Очистка воды от грубодисперсных, коллоидных и истинно-растворенных примесей
Тема 1.1 Примеси природных и контурных вод. Показатели качества воды
Тема 1.2 Очистка воды методами коагуляции и осаждения
Тема 1.3 Осветление воды методами фильтрации
Тема 1.4 Обработка воды методами ионного обмена
Тема 1.5 Мембранная технология водообработки
РАЗДЕЛ 2 Очистка воды от растворенных газов
Тема 2.1 Физические и химические методы удаления агрессивных газов
РАЗДЕЛ 3 Обработка охлаждающей воды
Тема 3.1 Предотвращение образования минеральных отложений
Тема 3.2 Предотвращение биологических обрастаний
РАЗДЕЛ 4 Стоки электростанций и технологии их обезвреживания
Тема 4.1 Характеристика сточных вод электростанций
Тема 4.2 Способы очистки сточных вод
РАЗДЕЛ 5 Термическая водоподготовка
Тема 5.1 Испарительные и паропреобразовательные установки

## 2 Содержание междисциплинарного курса

### РАЗДЕЛ 1 Очистка воды от грубодисперсных, коллоидных и истинно-растворенных примесей

#### Тема 1.1 Примеси природных и контурных вод. Показатели качества воды

Круговорот воды в природе. Вещества, загрязняющие природные воды. Основные технологические показатели качества природных вод: щелочность, жесткость, сухой остаток, окисляемость, прозрачность, солесодержание, кремнесодержание.

Грубодисперсные, коллоидные, молекулярно- и ионодисперсные примеси. Факторы, влияющие на растворимость твердых и газообразных веществ в воде.

#### *Краткие теоретические сведения*

Примеси поступают в воду, находящуюся в природном круговороте, из окружающей среды. Наряду с природным существует производственно-бытовой круговорот воды, создаваемый в результате потребления ее для различных целей.

Примеси поступают в воду на всех этапах отмеченных круговоротов, условно определяя подразделение природных вод по их возникновению и содержанию примесей на атмосферные, поверхностные, подземные и морские.

Существенно большим разнообразием примесей по сравнению с природными водами характеризуются производственно-бытовые стоки. По характеру загрязнений эти стоки подразделяют на три группы: бытовые сточные воды; производственные сточные воды; стоки, образующиеся при лесозащитных и растениеводческих работах.

Природные воды классифицируют по ряду признаков:

- по солесодержанию;
- по степени дисперсности;
- по химическому составу.

Показатели качества воды подразделяются на:

- физические;
- химические;
- бактериологические.

Группируя отдельные химические показатели, получают технологические показатели качества воды:

- жесткость общая, карбонатная и некарбонатная;
- щелочность общая и ее отдельные формы;
- окисляемость;
- сухой остаток;
- прокаленный остаток;
- общее солесодержание и др.

Растворение большинства твердых веществ сопровождается поглощением теплоты, что объясняется затратой энергии на разрушение кристаллической решетки. Поэтому в таких случаях повышение температуры приводит к увеличению растворимости вещества. Если же растворение сопровождается выделением энергии, растворимость с ростом температуры понижается. При растворении твердых тел в воде объем системы изменяется незначительно, поэтому растворимость их практически не зависит от давления.

Растворимость газов в воде – процесс экзотермический, то есть с повышением температуры растворимость их уменьшается. Повышение давления приводит к увеличению растворимости газа, так как при растворении газа в жидкости объем системы существенно уменьшается.

Примеры расчетов технологических показателей качества воды приведены в практической работе (Приложение 1).

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 Поступление примесей в природную воду.
- 2 Классификация примесей.
- 3 Технологические показатели качества воды.

***Литература:*** [1, стр. 14-32], [2, стр. 12-40].

## **Тема 1.2 Очистка воды методами коагуляции и осаждения**

Назначение и сущность процесса коагуляции. Факторы, влияющие на процесс коагуляции. Реагенты и оптимальные условия их применения для коагуляции природных вод.

Сущность известкового, содоизвесткового способов обработки воды. Конструкция и принцип работы осветлителя типа ВТИ.

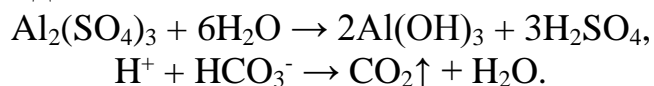
### ***Краткие теоретические сведения***

*Коагуляция* – процесс укрупнения коллоидных частиц, завершающийся выпадением вещества в осадок, удаляемый осаждением или фильтрованием. В водоподготовке под коагуляцией понимают обработку воды специальными реагентами – коагулянтами с целью удаления из нее коллоидных примесей.

Коллоидные растворы отличаются высокой устойчивостью. Это значит, что коллоидные частички не способны к самопроизвольному соединению в крупные образования и выпадению из раствора, если отсутствуют побудители такого процесса. Причина этого в том, что коллоидные частицы данного вещества несут одноименный электрический заряд, препятствующий их соединению. Реагенты, способные при введении в воду вызывать коагуляцию коллоидов – коагулянты, частицы которых несут разноименные заряды, что приводит к взаимной коагуляции двух коллоидов. Спустя некоторое время после ввода коагулянта происходит помутнение воды, постепенно образуются крупные рыхлые хлопья, оседающие на дно и увлекающие за собой все загрязнения.



При введении в воду, например, сульфата алюминия вначале происходит его гидролиз с образование гидроксида алюминия и серной кислоты, которая нейтрализует щелочность воды:



Коагуляция – достаточно сложный процесс, чувствительный к изменениям условий. Наиболее важными из них являются:

- доза коагулянта;
- рН воды;
- температура воды.

Наиболее приемлемой является доза, при которой раньше всего появились хлопья и быстрее осели на заданную глубину, оставив прозрачный слой воды.

Влияние рН особенно существенно при коагуляции воды сульфатом алюминия. Как следует из реакции гидролиза увеличение концентрации водородных ионов, то есть понижение рН воды, сдвигает равновесие этого процесса влево. Оптимальное значение рН лежит в пределах 5-7,7, то есть иногда в достаточно кислой среде, поэтому вся аппаратура, контактируемая с коагулированной водой, должно иметь противокоррозионные защитные покрытия.

В последние годы широко применяются флокулянты, при добавлении которых в воду происходит укрупнение и утяжеление хлопьев, что ускоряет процесс их осаждения.

Коагуляцию воды можно осуществлять по двум схемам:

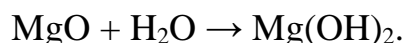
- в осветлителях;
- непосредственно на фильтрах (прямоточная схема).

При коагуляции удаляются только коллоидные органические вещества. Коагуляция должна снизить в воде содержание железа, алюминия и кремниевой кислоты.

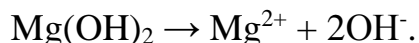
*Известкование* применяется, когда необходимо снизить щелочность воды. Глубокого умягчения воды при этом не достигается. Известкование реализуется при обработке исходной воды в осветлителях гашеной известью  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , называемой известковым молоком.

Процесс известкования основан на том, что при вводе известкового молока достигается повышение рН воды до значения 9,5-10,3, при котором ионы  $\text{HCO}_3^-$  и углекислота  $\text{CO}_2$  трансформируются в ионы  $\text{CO}_3^{2-}$ . С учетом присутствия в обрабатываемой воде  $\text{Ca}^{2+}$  и образовавшихся  $\text{CO}_3^{2-}$  из воды выделяется труднорастворимый  $\text{CaCO}_3$ .

При необходимости снижения кремнесодержания в воде процессы известкования и коагуляции дополняются магниальным обескремневанием. При дозировке в осветлитель каустического магнезита (смесь  $\text{MgO}$  с  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$ )  $\text{MgO}$  гидролизуются:

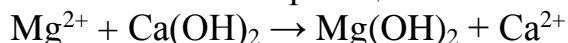


При диссоциации по схеме:

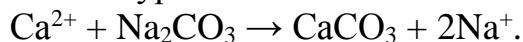


Поверхность твердой фазы приобретает положительный заряд и на ней происходит адсорбция ионов кремниевой кислоты.

Для повышения эффекта осаждения ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  технологию известкования дополняют обработкой воды кальцинированной содой  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . При содоизвестковании  $\text{Mg}^{2+}$  при замене на  $\text{Ca}^{2+}$  по реакции:



Удаляются практически полностью, а кальциевые соли некарбонатной жесткости осаждаются содой согласно уравнению:



### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 Химизм процесса коагуляции.
- 2 Факторы, влияющие на процесс коагуляции.
- 3 Какие показатели качества воды изменяются в процессе коагуляции?
- 4 Назначение процесса очистки воды методом осаждения.
- 5 Химизм процессов известкового и содово-известкового способов обработки воды.
- 6 Устройство и принцип работы осветлителя типа ВТИ.

***Литература:*** [1, стр. 35-52], [2, стр. 48-88].

### **Тема 1.3 Осветление воды методами фильтрации**

Сущность метода очистки воды фильтрованием. Виды фильтрующих материалов. Факторы, влияющие на процесс фильтрации.

Устройство и эксплуатация зернистых и намывных осветлительных фильтров.

#### ***Краткие теоретические сведения***

Осветление воды – это процесс удаления из воды грубодисперсных и коллоидных примесей. Осветление является первой технологической операцией обработки воды. Удаление грубодисперсных загрязнений может быть осуществлено осаждением и фильтрованием.

При осаждении частички твердых веществ под действием силы тяжести оседают на дно резервуара, в котором осветляемая вода находится в состоянии покоя или медленного движения по горизонтали или снизу-вверх. Данный способ требует длительного времени, больших объемов резервуаров и не может обеспечить полного удаления грубодисперсных примесей.

Фильтрация – процесс осветления воды путем пропуска ее через пористый материал, на поверхности и в порах которого вода оставляет грубодисперсные примеси. Аппарат, в котором производится фильтрация – фильтр, а пористый материал, содержащийся в нем – фильтрующая среда или фильтрующий материал. Фильтры, служащие для целей осветления воды – осветлительные фильтры; иногда их называют механическими фильтрами.

Фильтрация воды происходит под воздействием разности давлений над слоем фильтрующего материала и под ним.

По достижении предельного загрязнения фильтр выводится из работы и ставится на промывку, после чего вновь включается в работу. Время работы фильтра между двумя последовательными промывками – его рабочий период или фильтроцикл.

Таким образом, работа осветлительных фильтров подразделяется на три периода:

- полезная работа фильтра по осветлению воды;
- взрыхляющая промывка фильтрующего материала;
- спуск первого фильтрата.

В качестве фильтрующих материалов применяют дробленый антрацит крупностью 0,8-1,5 мм, кварцевый песок крупностью 0,5-1 мм, керамзит крупностью 0,8-1,5 мм.

Для очистки таких вод, как конденсаты, наряду с насыпными применяются также намывные механические фильтры, в конструкции которых предусмотрена реализация принципа пленочного фильтрования в слоях толщиной 305 мм, создаваемых тонкодисперсным материалом с размером частиц 10-60 мкм.

Работа установки с фильтром намывного типа складывается из трех последовательно проводимых операций:

- намыв фильтрующего слоя;
- фильтрование;
- смыв отработавшего фильтрующего слоя вместе с задержанными примесями.

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 Определение и сущность процессов «осветление воды», «фильтрование».
- 2 Понятие о грязеемкости фильтра и межпромывочном периоде.
- 3 Назовите стадии, из которых состоит процесс выведения грубодисперсных примесей при объемном фильтровании.
- 4 Устройство и принцип работы намывного фильтра.

***Литература:*** [1, стр. 68-78], [2, стр. 89-103].

## **Тема 1.4 Обработка воды методами ионного обмена**

Технология ионного обмена. Назначение и область применения натрий-катионирования и водород-катионирования. Анионирование воды. Показатели качества катионитов.

Конструкция и принцип работы ионитных фильтров. Прямоточная и противоточная регенерации. Схемы катионитных водоподготовительных установок.

### ***Краткие теоретические сведения***

Заключительная стадия подготовки воды, связанная с изменением ее ионного состава, вплоть до полного удаления растворенных примесей, реализуется с помощью ионообменной технологии, а также мембранными или термическими методами.

Сущность ионного обмена заключается в способности специальных материалов (ионитов) изменять в желаемом направлении ионный состав воды. Иониты – нерастворимые высокомолекулярные вещества, которые благодаря наличию в них специальных функциональных групп способны к реакциям ионного обмена. Другими словами, иониты способны поглощать из раствора ионы в обмен на другие, содержащиеся в ионите, имеющие заряд того же знака.

Ионит состоит из твердой фазы (матрицы), на которой тем или иным способом нанесены специальные функциональные группы, которые при помещении ионита в раствор могут быть заменены другими ионами того же знака. Обычно матрицу с фиксированными ионами обозначают символом R, а противоион – химическим символом, например, RNa-катионит с обменным ионом натрия, а ROH – анионит с обменной гидроксильной группой. С использованием таких символов типичная реакция катионного обмена записывается так:



Данная реакция осуществляется, например, при умягчении воды с помощью катионита в исходной натриевой форме.

Обратимость процессов обмена ионов позволяет многократно использовать дорогостоящие иониты в технологии обработки воды. После истощения ионита осуществляется обратный процесс – регенерация, приводящая к восстановлению способности катионита извлекать из обрабатываемой воды ионы.

Качество ионитов характеризуется рядом физических и химических свойств. К основным физическим свойствам ионитов относятся:

- гранулометрический состав;
- насыпная масса;
- механическая прочность;
- осмотическая стабильность;
- степень набухания в водных растворах.

К химическим свойствам относятся:

- химическая стойкость;
- кислотность (для катионитов) или основность (для анионитов);
- обменная емкость;
- удельный расход реагентов и отмывочной воды при заданной глубине удаления из воды поглощаемых ионов;
- термическая и радиационная стойкости.

Процесс ионирования воды на ВПУ реализуется в насыпных ионитных фильтрах.

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 Назначение и сущность процесса катионирования.
- 2 Химизм, достоинства и недостатки процессов Na-катионирования и H-катионирования.
- 3 Назначение и сущность регенерации катионитов, понятие о «голодной» регенерации.
- 4 Сущность ступенчатого катионирования.
- 5 Конструкция и принцип работы ионитных фильтров.

***Литература:*** [1, стр. 78-114], [2, стр. 104-150].

## **Тема 1.5 Мембранная технология водообработки**

Технологии обратного осмоса, ультрафильтрации и электродиализа. Преимущества мембранных методов.

### ***Краткие теоретические сведения***

Ужесточение требований к сбросным водам ВПУ определило развитие безреагентных методов очистки воды, среди которых наиболее разработаны для практического использования мембранные методы:

- обратный осмос (гиперфильтрация);
- ультрафильтрация;
- электродиализ.

В основе мембранных технологий лежит перенос примесей или растворителя (воды) через мембраны. Природа сил, вызывающих такой перенос, и строение мембран в названных процессах различны. При использовании сил давления при гипер- и ультрафильтрации мембраны должны пропускать молекулы воды, задерживая ионы и молекулы примесей. При использовании электрических сил в электродиализном методе мембраны должны быть проницаемы для ионов и не должны пропускать молекулы воды.

Обратный осмос и ультрафильтрация принципиально отличны от процессов фильтрования, так как при их реализации образуется не осадок, как при фильтровании, а лишь два раствора с различными концентрациями примесей.

Механизм осмотических и ультрафильтрационных процессов базируется на капиллярно-фильтрационной модели, согласно которой в полупроницаемой мембране имеются поры диаметром, достаточным для прохода молекул воды, но недостаточным для прохождения гидратированных ионов и молекул растворенных веществ.

Установки обратного осмоса используются как в схемах ВПУ, так и для очистки сточных вод. Для работы таких аппаратов требуется тщательная очистка воды от коллоидных и грубодисперсных примесей. Установки комплектуются системами химической и биологической очистки мембран, приборами и устройствами автоматики.

Электродиализ – процесс удаления из раствора ионов растворенных веществ путем переноса их через мембраны в поле постоянного тока.

Электродиализные аппараты конструируют по типу фильтр-пресса и включаются в схему водоприготовления последовательно или параллельно.

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 Сущность обратного осмоса, ультрафильтрации и электродиализа.
- 2 Преимущества мембранных методов очистки воды.
- 3 Основные показатели, характеризующие свойства полупроницаемых мембран.
- 4 Какие факторы ограничивают возможность получения глубоко обессоленной воды в процессе электродиализа?
- 5 Какие требования предъявляют к воде, поступающей на электродиализаторы?

***Литература:*** [1, стр. 120-130], [2, стр. 167-181].

## **РАЗДЕЛ 2 Очистка воды от растворенных газов**

### **Тема 2.1 Физические и химические методы удаления агрессивных газов**

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

### ***Краткие теоретические сведения***

Основной целью удаления из воды растворенных в ней газов является предотвращение коррозии оборудования. Все известные способы удаления из воды растворенных газов основаны на двух принципах: десорбции, химического связывания с превращением газов в иные безвредные вещества.

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

На практике обычно вода находится в контакте не с одним каким-либо газом, а со смесью их, например, с воздухом. Парциальное давление газа в смеси определяется законом Дальтона, который гласит, что полное давление газовой смеси  $p_0$  равно сумме парциальных давлений составляющих смесь газов  $p_1, p_2, p_3, \dots$ , т.е. каждый газ в смеси ведет себя так, как если бы он один заполнял весь объем:

$$P_0 = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n.$$

Из данной формулы следует, что полного удаления газов можно достичь при  $p_г = 0$  (парциальное давление газа) или, что то же самое, при  $p_0 = 0$  или  $p_0 = p_{H_2O}$ . Это достигается созданием над поверхностью воды либо вакуума, либо атмосферы, не содержащей удаляемого газа, в частности, путем нагрева воды до кипения, когда парциальное давление паров воды становится равным общему давлению ( $p_0 = p_{H_2O}$ ), что равносильно снижению парциального давления удаляемого газа до нуля.

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

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

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 С какими целями организуется очистка воды от растворенных газов?
- 2 Напишите зависимость, связывающую растворимость газа в воде с его параметрами, и проанализируйте условия, приводящие к уменьшению растворимости газа в воде.
- 3 Типы и принцип действия деаэраторов.
- 4 Почему эффект удаления  $O_2$  в деаэраторах выше, чем эффект удаления  $CO_2$  и  $NH_3$ ?
- 5 Охарактеризуйте значение выпара для работы деаэратора.

6 Какие реагенты используются для химического связывания растворенных в воде  $O_2$  и  $CO_2$ ?

7 Принцип действия декарбонизатора.

*Литература:* [1, стр. 142-152, 163-172, 198-215], [2, стр. 182-209].

### **РАЗДЕЛ 3 Обработка охлаждающей воды**

#### **Тема 3.1 Предотвращение образования минеральных отложений**

Системы охлаждения. Предотвращение образования минеральных отложений: подкисление, фосфатирование, рекарбонизация охлаждающей воды. Магнитная обработка воды.

##### ***Краткие теоретические сведения***

Основная часть природной воды, потребляемой ТЭС, используется в системах охлаждения для конденсации пара. Расходы охлаждающей воды достаточно велики (60-100 кг на конденсацию 1 кг пара).

Основные требования к качеству охлаждающей воды сводятся к тому, чтобы она имела температуру, обеспечивающую требуемую глубину вакуума в конденсаторе, не вызывала при нагреве образования в системе охлаждения минеральных отложений и биологических обрастаний, а также коррозии оборудования и трубопроводов.

Для охлаждения конденсаторов используются прямоточные системы при наличии водотоков с большим дебитом воды или оборотные системы двух типов:

- с прудами-охладителями;
- с градирнями или брызгальными бассейнами.

Подкисление циркуляционной воды проводится в целях частичного снижения жесткости с использованием серной кислоты в качестве наиболее дешевого и доступного реагента.

Фосфатирование охлаждающей воды производится в целях торможения процесса образования твердой фазы карбоната кальция.

Рекарбонизация воды – это процесс насыщения ее углекислым газом, что предотвращает процесс гидролиза гидрокарбонатов с образованием ионов  $CO_3^{2-}$ .

Магнитная обработка воды производится в аппаратах, в которых поток охлаждающей воды пересекает силовые линии магнитного поля. При этом происходит снижение интенсивности образования отложений на теплопередающих поверхностях и повышается количество выпадающего шлама.

Для удаления мягких илистых биологических отложений – обрастаний в конденсаторных трубках может применяться очистка этих трубок монолитными резиновыми шариками.

##### ***Вопросы для самоконтроля***

1 В чем состоит принципиальное различие прямоточных и оборотных (с градирнями) систем по качеству охлаждающей конденсаторы воды?

2 Какие эффекты стабилизации охлаждающей воды наблюдаются при ее подкислении?

3 Какие методы применяют для предотвращения образования минеральных отложений в конденсаторах в оборотных системах?

4 Какие компоненты дымовых газов обеспечивают стабилизацию охлаждающей воды при их использовании?

5 Какие, кроме реагентных, методы борьбы с отложениями Вам известны?

*Литература:* [1, стр. 24-50], [2, стр. 210-221].

### **Тема 3.2 Предотвращение биологических обрастаний**

Предотвращение биологических обрастаний: обработка сильными окислителями. Очистка резиновыми шариками.

Повышение температуры воды в системах охлаждения, наличие питательных веществ и кислорода являются причинами интенсивного развития бактерий, грибов и водорослей. Для борьбы с биообрастаниями, приводящими к ухудшению вакуума в конденсаторах и интенсификации коррозионных процессов, применяют обработку охлаждающей воды сильными окислителями.

Для удаления мягких илистых биологических отложений – обрастаний в конденсаторных трубках может применяться очистка этих трубок монолитными резиновыми шариками.

#### ***Вопросы для самоконтроля***

1 К каким негативным результатам приводят биообрастания конденсаторов?

2 Какие реагенты применяют для борьбы с биологическими отложениями?

3 Какие, кроме реагентных, методы борьбы с биообрастаниями Вам известны?

*Литература:* [1, стр. 24-50], [2, стр. 221-223].

## **РАЗДЕЛ 4 Стоки электростанций и технология их обезвреживания**

### **Тема 4.1 Характеристика сточных вод электростанций**

Классификация сточных вод ТЭС, их состав. ПДК сбросов вредных веществ в водоемы. Источники попадания загрязнений в сточные воды ТЭС. Влияние сточных вод ТЭС на природные водоемы.

#### ***Краткие теоретические сведения***

Охрана водоемов производится в соответствии с «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами». Вредное влияние примесей, сбрасываемых со сточными водами, проявляется лишь в случае превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) этих примесей в водоемах.



Сброс тепла с охлаждающей водой приводит к повышению температуры воды в водоемах и атмосферного воздуха, увеличивая при этом его влажность. Сброс тепла должен быть таким, чтобы естественная температура в водоеме не повышалась более чем на 5<sup>0</sup>С в зимнее время и 3<sup>0</sup>С – в летнее. Температура воды является наиболее мощным фактором, воздействующим на жизнедеятельность водоемов.

В зависимости от мощности турбин и применяемых параметров пара удельный расход воды на ТЭС составляет 0,12-0,45 м<sup>3</sup>/кВт.ч. подавляющая часть этой воды (85-95%) идет на конденсацию пара, а остальная часть на охлаждение масла и воздуха (3-8%), пополнение потерь в оборотных циклах (4-6%), удаление шлака и золы (2-5%), подпитку котлов (0,2-0,8%).

ТЭС является источником следующих видов сточных вод:

- Воды охлаждения конденсаторов турбин, вызывающие тепловое загрязнение воды;
- Регенерационные и промывочные воды от ВПУ и конденсатоочисток;
- Воды, загрязненные нефтепродуктами;
- Воды от обмывок наружных поверхностей котлов, работающих на сернистом мазуте;
- Отработанные растворы после химической очистки теплового оборудования и его консервации;
- Воды систем гидрозолоудаления на ТЭС, работающих на твердом топливе;
- Коммунально-бытовые и хозяйственные воды;
- Воды от уборки помещений тракта топливоподачи;
- Дождевые (ливневые) воды с территории станции.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1 Перечислите типы сточных вод, которые могут возникать при эксплуатации ТЭС.

2 Перечислите основные показатели сточных вод, подлежащие контролю.

3 Чем опасны воды прямооточных систем охлаждения?

4 Приведите и проанализируйте зависимость, связывающую коэффициент концентрации в системе оборотного охлаждения с расходами испаряющейся и продувочной вод.

***Литература:*** [2, стр. 224-237],[3, стр. 7-34, 167-189].

### **Тема 4.2 Способы очистки сточных вод**

Механические (физические), физико-химические, химические и биологические методы очистки сточных вод ВПУ и конденсатоочисток ТЭС.

Принцип работы схемы установки для обезвоживания шлама продувки осветлителей. Самонейтрализация и нейтрализация известью. Схема нейтрализации щелочных регенерационных вод дымовыми газами. Схемы напорной флотации.

### ***Краткие теоретические сведения***

Сточные воды прямоточных систем охлаждения, только нагревающие воду природных источников, но не загрязняющие ее химическими или механическими примесями, не требуют очистки, но вызывают «тепловое загрязнение» водоемов. Для обеспечения требуемого уровня температуры воды применяют:

- Глубинные водозаборы и поверхностные выпуски;
- Брызгальные устройства над акваторией отводящих каналов;
- Увеличение кратности охлаждения конденсаторов в зимний период;
- Эжектирующие водовыпуски.

Совершенствование экономичных и экологических схем ВПУ в настоящее время ведется в следующих направлениях:

- Применение противоточных фильтров в схемах ВПУ;
- Использование мембранных технологий;
- Изменение внутренних взаимосвязей различных узлов технологических схем и применение оборудования, позволяющего снизить расходы реагентов и воды на собственные нужды, извлекать из сточных вод ценные компоненты, то есть создавать малоотходные ВПУ.

Недостаточно очищенные нефтесодержащие сточные воды, попадая в водоем, образуют пленку на поверхности воды, ухудшая условия аэрации, а тяжелые нефтепродукты, оседая на дно, губительно действуют на водную флору и фауну. Согласно действующим нормам нефтесодержащие стоки ТЭС должны очищаться и повторно использоваться в качестве исходных вод для ВПУ, систем оборотного охлаждения и других систем, а уловленные нефтепродукты – сжигаться в котлах.

Состав стоков от химических очисток и консервации оборудования весьма сложный, они содержат вредные химические вещества, что не допускает их сброса в природные водоемы. Технология очистки вод такого типа предусматривает их реагентную нейтрализацию, использование окислителей, бассейна-отстойника для осаждения оксидов и гидроксидов тяжелых металлов. Заканчивается обезвреживание стоков биохимическим разрушением остаточных органических соединений.

В последние годы реализуется попытка отказа от применения химических реагентов при очистках и консервации теплоэнергетического оборудования путем использования пароводокислородного метода очистки и пассивации.

При сжигании в котлах сернистых мазутов на хвостовых поверхностях нагрева оседает зола, содержащая сульфаты ванадия, железа, никеля и меди. При обмывке регенеративных воздухоподогревателей эти соединения переходят в раствор, в составе которого имеется также серная кислота. Такие стоки требуют предварительной нейтрализации и извлечения ванадийсодержащего шлама.

В целях уменьшения выноса загрязняющих веществ с поверхностными стоками необходимо иметь самостоятельную систему сбора и отведения таких стоков, которая не имела бы связи с другими системами водоотведения для очистки поверхностного стока. Кроме того, необходимо предусматривать организационные мероприятия, связанные с упорядочением складирования и хранения нефтепродуктов и других реагентов.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1 Комбинированная схема работы системы оборотного охлаждения и ВПУ ТЭС с закрытой системой теплоснабжения.

2 Схема нейтрализации сточных вод обессоливающих установок.

3 Оборотные системы гидрозолоудаления.

4 Очистка от нефтепродуктов с применением нефтеловушки.

5 Флотационная очистка от нефтепродуктов.

6 Схема нейтрализации и обезвреживания вод от химических очисток оборудования.

7 Схема обезвреживания обмывочных вод регенеративных воздухоподогревателей.

*Литература:* [2, стр. 224-237], [3, стр. 39-58, 153-167, 58-152].

## **РАЗДЕЛ 5 Термическая водоподготовка**

### **Тема 5.1 Испарительные и паропреобразовательные установки**

Одно- и многоступенчатые испарители. Включение испарителей в тепловую схему электростанций. Очистка пара в испарителях и паропреобразователях. Малосточные технологии на ТЭС с термической водоподготовкой.

#### ***Краткие теоретические сведения***

В основе термической подготовки воды положен принцип концентрации примесей в процессе парообразования. Добавочной водой при этом является конденсат получаемого пара. Аппараты, в которых происходит процесс парообразования с концентрацией примесей, называются испарителями.

Для нагрева воды и получения пара из питательной воды в испаритель подводится пар одного из отборов турбины (первичный). Получаемый в испарителе пар называют вторичным. Вторичный пар отводится в теплообменник (конденсатор испарителя), где он конденсируется и затем поступает в цикл. Конденсат испаряемой воды является дистиллятом, свободным от солей жесткости, растворимых солей, щелочей, кремниевой кислоты и др.

При работе испарителя на ТЭС для отпуска пара промышленным потребителям вторичный пар отводится на потребление.

Загрязнение вторичного пара обусловлено выносом капель воды, из которой он генерируется. В испарителях применяют в основном паропромывочные устройства, выполненные в виде простых дырчатых листов. В таких устройствах жидкость удерживается над листом за счет прохождения пара через отверстия листа.

#### ***Вопросы для самоконтроля***

1 Каково назначение испарительных установок на ТЭС?

2 Поясните принцип работы испарителей мгновенного вскипания.

3 За счет чего происходит загрязнение солями вторичного пара?

4 Поясните процесс промывки пара в слое воды.

5 За счет чего достигается эффективность применения на ТЭС малосточной технологии?

*Литература:* [2, стр. 239-260, 264-266], [3, стр. 163-214, 300-317].

### 3 Экзаменационные вопросы

- 1 Классификация примесей природных вод.
- 2 Технологические показатели качества воды.
- 3 Удаление грубодисперсных примесей методом фильтрования.
- 4 Устройство и принцип работы зернистых осветлительных фильтров, требования, предъявляемые к фильтрующему материалу.
- 5 Понятие о грязеемкости осветлительного фильтра и межпромывочном периоде.
- 6 Устройство и принцип работы намывных осветлительных фильтров.
- 7 Назначение и сущность процесса очистки воды методом осаждения, химизм процесса.
- 8 Назначение и химизм процесса коагуляции.
- 9 Какие факторы и как влияют на процесс коагуляции?
- 10 Назначение и технология ионного обмена, эксплуатация ионитовых установок.
- 11 Химизм, достоинства и недостатки процесса натрий-катионирования.
- 12 Химизм, достоинства и недостатки процесса водород-катионирования.
- 13 Назначение и технология анионирования.
- 14 Назначение и технология обратного осмоса.
- 15 Основные показатели, характеризующие свойства полупроницаемых мембран.
- 16 Назначение и сущность электродиализа. Какие факторы ограничивают возможность получения глубоко обессоленной воды в процессе электродиализа?
- 17 Назначение и технология деаэрации, значение выпара для работы деаэратора.
- 18 Назначение и технология декарбонизации.
- 19 Химические методы удаления агрессивных газов из воды.
- 20 Безреагентные методы борьбы с отложениями и обрастаниями поверхностей теплообменных аппаратов.
- 21 Флотационная очистка нефтепродуктов.
- 22 Очистка стоков от нефтепродуктов с применением нефтеловушки.
- 23 Реагенты, используемые для борьбы с биологическими отложениями.
- 24 Назначение и конструкция испарителей.
- 25 Малосточные технологии на ТЭС с термической водоподготовкой.

## Литературные источники

### Основные источники

1 Гужулев Э.П. и др. Водоподготовка и вводно-химические режимы в теплоэнергетике: Учеб. пособие / Э.П. Гужулев, В.В. Шалай, В.И. Гриценко, М.А. Таран. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – 384 с.

2 Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 309 с.

3 Стерман Л.С., Покровский В.Н. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 2014. – 328 с.

### Дополнительные источники

4 Лифшиц О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок. М.: «Энергия», 2013. – 288 с.

