**ЛЕКЦИЯ №1**

**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВОДНО-ХИМИЧЕСКИХ**

**РЕЖИМАХ И ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ**

**ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Водно-химический режим электростанции – это комплекс мероприятий по минимизации: 1) коррозионных процессов; 2) процессов образования отложений в водопаровом тракте и основном оборудовании. К числу этих мероприятий относятся, прежде всего, мероприятия по кондиционированию состава теплоносителя. Для этого каждая электростанция располагает системой ВПУ, объединенных общей целью подготовки и поддержания состава питательной воды котлов и пара перед турбиной в соответствии с нормами Правил технической эксплуатации электростанций и сетей (ПТЭ). В барабанных котлах поступающие с питательной водой примеси концентрируются в котловой воде. Путем введения в котловую воду корректирующих добавок можно проводить её доумягчение, переводя малорастворимые соединения в шлам. Накапливающийся шлам, а также растворённые примеси удаляются из котловой воды с продувкой. Таким образом, в барабанных котлах имеется возможность регулировать состав котловой воды, что позволяет в определенной мере снизить требования к качеству питательной воды.

Система ВПУ каждой современной электростанции включает: 1) установку водоочистки, предназначенную для химической очистки исходной воды и получения добавочной воды, восполняющей потери в водопаровом тракте и теплосети; 2) установку очистки конденсата, возвращаемого с производства; 3) установку, предназначенную для коррекционной обработки конденсата турбин и питательной воды путем введения в конденсатно-питательный тракт корректирующих реагентов в соответствии с принятым водно-химическим режимом; 4) кроме того, на электростанциях с энергоблоками СКД (сверхкритических давлений) имеется блочная обессоливающая установка (БОУ) для очистки турбинного конденсата; 5) на электростанциях с барабанными котлами предусматривается установка для коррекционной обработки котловой воды. Следует отметить, что на ряде зарубежных электростанций очистка турбинного конденсата производится и для энергоблоков с барабанными котлами.

Предварительная очистка заключается в осветлении исходной воды путем удаления из неё грубодисперсных и коллоидных примесей, а при определённом качестве воды и в её декарбонизации, т.е. снижении и частичном удалении из этой воды солей жёсткости и кремниевой кислоты.

Осветление воды производится методом коагуляции, т. е. слипания частиц под действием молекулярных сил притяжения, путем введения в обрабатываемую воду специального коагулянта. В качестве коагулянта используются соли алюминия или железа, образующие в воде вследствие гидролиза труднорастворимые гидроксиды, которые проходят сначала коллоидную форму, а затем превращаются в микро- и макрохлопья с сильно развитой поверхностью.

Коагуляция примесей обрабатываемой воды, а также сцепление грубодисперсных загрязнений завершается выделением хлопьев в осадок.

Декарбонизация производится при pН > 9, что достигается введением в исходную воду заданного количества извести в виде известкового молока. Для улучшения процессов хлопьеобразования при предварительной очистке воды в обрабатываемую воду часто добавляют флокулянт.

Образование и отделение хлопьев от обрабатываемой воды при её предварительной очистке производится преимущественно в осветлителях с контактной средой из хлопьевидного осадка (шлама) и на механических фильтрах, а иногда (при обработке только путем коагуляции) – на механических фильтрах. В зависимости от этого установки предварительной очистки воды состоят из осветлителей и механических фильтров, реже только из механических фильтров. Для дозирования реагентов, используемых для обработки воды, применяются специальные дозировочные устройства.

Химическое обессоливание воды осуществляется методом ионного обмена путем пропуска ее через ряд последовательно включенных фильтров. Каждая установка химического обессоливания состоит из комбинаций H-катионитных и OH-анионитных фильтров 1 и 2 ступени, где путем обмена на ионы Н+ и OH− из обрабатываемой воды удаляются катионы Ca2+, Mg2+, Nа+ и анионы сильных (серная, соляная ) и слабых (угольная, кремниевая) кислот.

При истощении ионообменных материалов производится их восстановление путем пропуска через них регенерационных растворов кислоты (для катионитных фильтров) или щёлочи (для анионитных фильтров). На электростанциях сверхкритических параметров на химводоочистке устанавливаются катионитные и анионитные фильтры III ступени. При этом часто катионирование и анионирование производят одновременно в одном фильтре смешанного действия (ФСД).

Очистка турбинного конденсата производится с целью удаления из него примесей, поступивших с присосами охлаждающей воды в конденсаторе, и продуктов коррозии конструкционных материалов. Установка состоит из фильтров для обезжелезивания и фильтров для полного химического обессоливания воды. На электростанциях с блоками сверхкретических параметров (СКП) производится очистка всего турбинного конденсата. При этом каждый энергоблок имеет отдельную конденсатоочистку (БОУ).

Коррекционная обработка питательной воды и конденсата производится для обеспечения антикоррозионных свойств теплоносителя. Это достигается введением в него специальных корректирующих добавок, в качестве которых традиционно используют аммиак и гидразин.

Аммиак нейтрализует свободную угольную кислоту, образующуюся в воде по равновесным реакциям из бикарбонатов и карбонатов, и обуславливает необходимую щёлочность среды (pH = 9,1 ± 0,1). При введении гидразина происходит связывание растворимого в воде кислорода. Кроме того, гидразин взаимодействует с окислами железа и меди и способствует образованию устойчивой защитной плёнки на поверхностях нагрева котла.

На электростанциях с энергоблоками СКД и подогревателями низкого давления со стальными трубками получили распространение в качестве корректирующего реагента кислород и кислородосодержащие соединения. В сочетании со слабым амминированием теплоносителя (pH = 7,5 ÷ 8,5) введение в тракт энергоблока кислорода способствует минимизации коррозионных процессов в конденсатно-питательном тракте и вследствие этого снижению концентрации железа и его соединений на входе в котел.

Коррекционная обработка котловой воды на электростанциях с барабанными парогенераторами осуществляется преимущественно растворами фосфатов, подаваемыми в барабан котла насосами-дозаторами. Кроме того, применяется метод коррекционной обработки питательной воды барабанных котлов с применением нелетучей щёлочи и комплексона.

**ОСНОВНЫЕ ОБЪЕКТЫ И ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ**

**И УПРАВЛЕНИЯ ВПУ И ВХР**

Основной задачей при автоматизации контроля и управления ВПУ и ВХР является поддержание химического состава и теплофизических параметров обрабатываемой среды. Исходя из этого, и в соответствии с технологическими признаками, задачу контроля и управления комплексом мероприятий по кондиционированию состава теплоносителя можно решить в двух направлениях: контроль и управление оборудованием и процессами химической обработки основного потока теплоносителя в конденсатно-питательном тракте энергоблока, т. е. водно-химическим режимом электростанции.

В соответствии с этим различаются следующие объекты автоматизации контроля и управления ВПУ и ВХР: оборудование установки химводоотчистки; оборудование установок по ведению водно-химического режима; конденсатно-питательный тракт энергоблока.

К оборудованию установок химводоочистки относятся: осветлители, дозирующие устройства и механические фильтры установки предварительной очистки воды, ионообменные фильтры и устройства для приготовления и подачи регенерационных растворов установки химического обессоливания воды.

К оборудованию установок по ведению ВХР относятся: ионообменные, обезжелезивающие фильтры и устройства для приготовления и подачи регенерационных растворов установки очистки турбинного конденсата; устройства для приготовления и дозирования реагентов установки коррекционной обработки питательной воды и конденсата, а на электростанциях с барабанными котлами – для коррекционной обработки котловой воды, а также устройства регулирования продувки.

Задачи автоматизации комплекса ВПУ определяются основными условиями, обеспечивающими надежность и оптимальное протекание процессов водоприготовления, а также необходимость снижения себестоимости обработанной воды путем сокращения затрат на эксплуатацию и обслуживание установки.

Автоматизация комплекса ВПУ должна ускорить и улучшить прежде всего следующие рабочие процессы:

1) при предварительной очистке воды – контроль и регулирование температуры обрабатываемой воды, производительности установки, шламовый режим осветлителей, дозирование реагентов, а также контроль за качеством обрабатываемой воды, режимом работы и восстановления механических фильтров;

2) при химическом обессоливании добавочной воды и умягчения подпиточной воды теплосети – контроль и регулирование производительности установки, приготовление и подачу регенерационных растворов – контроль за качеством обрабатываемой воды, режимом работы и восстановления ионообменных фильтров – регулирование процессов нейтрализации сбросных вод;

3) при очистке турбинного конденсата – те же, что и при химическом обессоливании добавочной воды, а также контроль за эксплуатацией фильтров для обезжелезивания конденсата;

4) при коррекционной обработке питательной и котловой воды – контроль и регулирование дозирования реагентов и контроль за качеством обрабатываемой воды;

5) при регулировании продувки барабанных котлов – контроль за размером продувки и качеством котловой воды.

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ** **ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНЫХ СРЕД ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Типы примесей в воде и паре водно-паровых контуров ТЭС и АЭС

По происхождению примеси в контурных водах подразделяют на:        1) естественные, 2) образующиеся в самом контуре и 3) реагенты, вводимые специально для коррекции водного режима.

Естественные примеси попадают в контур из природных водоисточников через неплотности трубок конденсаторов и с недостаточно очищенной добавочной водой. В основном это различные соли, кремниевая кислота, а также некоторые органические соединения.

К числу примесей, образующихся в самом контуре, относятся продукты коррозии всех конструкционных материалов контуров, как правило, оксиды и их гидраты, а также продукты деления ядерного топлива, проникающие в реакторную воду и представляющие собой в основном радиоактивные изотопы йода, цезия, стронция, благородных газов и т.д.

Кондиционирующие (или корректирующие) реагенты могут быть классифицированы в соответствии с механизмом их воздействия на свойства растворов (водные и паровые системы):

1. Реагенты, связывающие накипеобразующие ионы, в результате чего образуется шлам (соли фосфорной кислоты).

2. Реагенты, связывающие накипе- и шламообразующие примеси, в результате чего образуются растворенные комплексы (соли этилендиаминтетрауксусной кислоты, аммиакаты меди и др., а также их композиции с рядом других реагентов).

3. Реагенты, регулирующие реакцию среды (значения рН) с целью снижения ее коррозионной агрессивности (слабые основания: аммиак и его производные (летучие амины); сильные основания: едкий калий и едкий литий, а также гидролизуемые натриевые соли фосфорной кислоты).

4. Соединение элементов, ядра которых используются для регулирования мощности реакторов (например, борная кислота, соединения гадолиния и др.).

5. Реагенты, регулирующие окислительно-восстановительное равновесие системы (кислород, перекись водорода, гидразин).

6. Пленкообразующие реагенты и реагенты, оказывающие влияние на поверхностное натяжение в двухфазной области вода - пар (октадециламин и некоторые другие высокомолекулярные амины).

7. Высокомолекулярные органические антинакипины и стабилизаторы коллоидных частиц (полиэлектролиты и ряд фосфорорганических соединений).

Основные показатели качества реальных вод ТЭС и АЭС

1. Водородный показатель рН.

Фундаментальная закономерность

Если в системе появляются дополнительные ионы Н+, то это приведет к уменьшению аОН− (аН+ > аОН−), т.е. образованию кислой среды, рН > 7 и наоборот.

Величина рН характеризует кислотно-щелочное равновесие.

2. Удельная электрическая проводимость χ характеризует содержание в воде ионогенных примесей и также как КWзависит от температуры. В воде современных энергоблоков СКП χ не более 0,1 – 0,15 мк⋅Ом/см.

3. Окислительно-восстановительный потенциал среды еН измеряют с помощью платинового электрода по отношению к стандартному водородному электроду. Данный потенциал характеризует окислительное равновесие в водном теплоносителе.

Равновесия при коррекционной обработке воды

Коррекционная обработка воды под действием аммиака и углекислоты

При коррекционной обработке воды, достигаемое изменение значения рН определяется кислотно-основными свойствами используемых реагентов, т.е. их константами диссоциации.

Аммиак и его производные повышают значение рН воды. В результате взаимодействия с водой, т.е. протонирования, аммиак и амины проявляют себя как слабые электролиты со свойствами оснований.

Чаще всего для кондиционирования теплоносителя и рабочего тела по пароводяному тракту используют аммиак и гидразин. У гидразина сочетаются свойства восстановителя и основания.

При повышении температуры основные свойства аминов, т.е. их константы, а также степени диссоциации уменьшаются.

При растворении в воде, в результате присосов СО2 из воздуха, образуется еще один слабый электролит – угольная кислота, которая интенсифицирует общую коррозию. Влияние углекислоты, приводящее к уменьшению рН, понижается с ростом температуры.

**ЛЕКЦИЯ №2**

**КОРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ**

Продукты коррозии и их растворимость в воде

Из всех продуктов коррозии наиболее интересен Fe3O4 – магнетит. Это оксид, термодинамически равновесно существующий на поверхности углеродистой стали, относящийся к классу шпинелей и обладающий защитным действием. В щелочной среде растворимость магнетита снижается, чем объясняется более высокая коррозионная стойкость стали в области высоких значений рН.

Условия водной среды существенно изменяются при изменении не только показателя рН, но и показателя еН, т. е. при появлении в воде какого-либо окислителя, или востановителя. Равновесно существующие области изображают обычно в координатах рН = *f*(еН) в виде так называемых Пурбэ-диаграмм, которые используются для выбора оптимальных, с точки зрения коррозионного состояния металла, сочетаний значений рН и потенциалов.

Комплексными называются соединения, состоящие из центральной частицы и координированных вокруг неё лигандов.

Вспомним терминологию комплексных соединений: например, [Fe(OH)3], Fe3+ − ион-комплексообразователь, OH− − лиганд, 3 − координационное число.

Ионы железа образуют ряд гидроксо-комплексов: [Fe(OH)4]2−, [Fe(OH)4]-[Fe2(OH)2]4+ и др.

Из корректирующих реагентов, способных к образованию прочных комплексных соединений, наименьшей устойчивостью характеризуются комплексы с аммиаком: [Fe(NH3)]2+и [Fe(NH3)2]2+ (рКнест. = 1,4 и 2,2, соответственно).

Более прочные комплексы образуются с гидразином:

Комплексы Fe со щавелевой кислотой [Fe(C2O4)] и [Fe(C2O4)]+ имеют    рКнест. = 4,7 и рКнест. = 9,41 соответственно:

Наиболее прочные комплексы в воде ионы железа образуют с комплексонами в связи с хелатным эффектом, т. е. образованием пятичленного цикла (дополнительная стабилизация):

Весьма прочные комплексы образуют ионы Fe2+ и Fe3+ с этилендиаминтетрауксусной кислотой (Н4ЭДТУ):

В растворах ионов Fe2+ и Fe3+ могут образовываться смешанные комплексы – гидроксокомплексонатные, обладающие повышенной растворимостью: [Fe(ОH)(ЭДТУ)]3−, [Fe(OH)(ЭДТУ)]2−, [Fe(OH)2(ЭДТУ)]4−, [Fe(OH)2ЭДТУ]3−. В растворах Fe−H2O2−ЭДТУ также образуются смешанные комплексы в щелочных и нейтральных средах.

Существуют смешанные комплексы в растворах Fe−N2H4−ЭДТУ.

К числу конструкционных материалов конденсатных трактов ТЭС относятся латуни. Компоненты латуни – Cu, Zn – проявляют высокую склонность к комплексообразованию.

В нейтральных и щелочных средах Cu и Zn образуют устойчивые комплексы с гидразином и перекисью водорода.

Естественные примеси и их растворимость в воде.

Под естественными примесями воды подразумевают катионы и анионы, поступающие в цикл с присосами охлаждающей воды в конденсаторе с добавочной водой. Когда упоминают естественные примеси воды, то из числа катионов имеют в виду Na+, Ca2+, Mg2+.

Все натриевые соединения относятся к числу веществ, обладающих высокой растворимостью в воде, называемых потому легкорастворимыми. Они относятся к типу соединений с положительным температурным коэффициентом растворимости, т.е. их растворимость с ростом температуры увеличивается. Поэтому при организации водного режима поведения натриевых соединений по тракту обычно не рассматривают.

Соединения кальция и магния относятся к числу труднорастворимых. Растворимость соединений кальция и магния зависит от температуры и анионного состава воды.

Хлориды CaCl2 и MgCl2 обладают относительной высокой растворимостью в воде и имеют положительный температурный коэффициент растворимости.

CaCO3 и особенно CaSO4 имеют отрицательный температурный коэффициент растворимости (рис. 2.1):

Рис.2.1. Зависимость растворимости кальциевых соединений в воде от температуры

Как видно из рис. 2.1 при температурах более 300 °С растворимости CaSO4 и СaСO3примерно одинаковы, но при низких температурах они отличаются уже на два порядка.

Естественно поэтому ожидать в трубках конденсаторов отложений карбоната кальция, а не сульфата кальция.

Содержание кальция в природных водах обычно превалирует над содержанием магния, поэтому при рассмотрении поведения труднорастворимых соединений обычно ограничиваются кальциевыми соединениями.

**Классификация коррозионных повреждений**

Коррозия металлов – процесс самопроизвольного разрушения металлов и их сплавов в результате физико-химического взаимодействия с окружающей средой.

Первой причиной коррозии металлов является их термодинамическая неустойчивость в различных, в том числе, водных средах. В процессе коррозии металлы переходят в оксиды, гидроксиды, соли, комплексы, являющиеся термодинамически более устойчивыми по сравнению с чистыми металлами.

Различают общую и местную коррозию. Общая коррозия носит равномерный характер. Однако, при большой равномерной коррозии происходит переход значительных количеств продуктов коррозии в теплоноситель, что затрудняет нормальную эксплуатацию установки.

По известной скорости общей равномерной коррозии при изготовлении элементов оборудования можно вычислить и перенять толщину изделия с запасом на коррозию. Местная коррозия приводит к разрушению металла на отдельных участках. Среди видов местной коррозии различают: коррозию пятнами, язвенную коррозию, точечную, межкристаллитную, интеркристаллитную, коррозийное растрескивание, щелевую коррозию, контактную, подшламовую и т.д.

Язвенная коррозия характеризуется повреждениями металла на глубину, соизмеримую с диаметром локального участка, при этом существует опасность разгерметизации оборудования, т.к. язвы могут развиваться до сквозных поражений.

Коррозия под напряжением приводит к образованию трещин в металле. Если трещины пересекают тело зерен в металле, то коррозию называют интеркристаллитной, а если трещины проходят по границе зерен – межкристаллитной.

Подшламовая коррозия интенсифицируется при сохранении на поверхности металла ионов Fe3+, действующих как переносчик кислорода. При подшламовой коррозии возможно глубокое упаривание воды в толще шлама с концентрированием в ней примесей, ускоряющих коррозию.

Упаривание воды в щелях вызывает щелевую коррозию. Скорость коррозии зависит от многих факторов, но всегда есть контролирующий фактор. Скорость общей коррозии выражают в удельной потере массы металла в единицу времени [г/(м2⋅c)].

Критерием местной коррозии является проницаемость коррозии по язвам, трещинам (мм/год).

Для коррозии под напряжением в качестве меры интенсивности процесса принимают время до появления первых трещин или время до разрушения металла.

Местная (локальная) коррозия характеризуется разрушением отдельных участков поверхности металла, причем она бывает нескольких видов:

1. коррозия пятнами, когда диаметр пятна значительно превышает глубину проникновения коррозии;

2. язвенная коррозия, при которой диаметр пораженного участка соизмерим с глубиной проникновения;

3. точечная (питтинговая) коррозия, когда диаметр пораженного участка значительно меньше глубины проникновения;

4. межкристалльная коррозия, когда разрушение сосредоточено по границам зерен.

Местная коррозия более опасна, чем общая, так как при сравнительно небольших потерях металла полностью выходит из строя дорогостоящие конструкции.

Механические воздействия на металл (внешние и внутренние напряжения, вибрация) ускоряют коррозионный процесс. В таких случаях наблюдаемое разрушение конструкций называют коррозией под напряжением (коррозионное растрескивание) и коррозионной усталостью. Разрушение металлов может протекать по границам кристаллитов или в их толще. В последнем случае коррозия называется транскристаллитной.

В зависимости от условий контактирования металла с коррозионно-активными растворами различают коррозию:

1) при полном погружении; 2) при неполном погружении; 3) при переодическом погружении; 4) струйную.

В зависимости от механизма коррозионного процесса коррозия бывает химическая, электрохимическая и биохимическая.

Химическя коррозия – это процесс, протекающий за счет гетерогенной химической реакции. Продукты коррозии образуются непосредственно на корродируемых участках. К этому же виду коррозии относятся:

1) газовая коррозия (окисление металлов при нагревании до высоких температур газовой атмосферы); 2) коррозия в неэлектролитах.

Электрохимическая коррозия – это процесс, подчиняющийся законам электрохимической кинетики. При этом виде коррозии одновременно протекают две реакции – анодная и катодная, локализованные на определенных участках поверхности корродирующего металла.

Биохимическая коррозия – это процесс, связанный с воздействием микроорганизмов на металл. При этом металл может разрушаться как из-за того, что он служит питательной средой для микроорганизмов, так и под действием продуктов, образующихся в результате их жизнедеятельности. Биохимическая коррозия в чистом виде встречается редко, поскольку в присутствии влаги протекает одновременно и электрохимическая коррозия. Поэтому при рассмотрении отдельных видов коррозии разрушения, вызванные биохимической коррозией, относят к разрушению от электрохимической коррозии.

Коррозия стали в перегретом паре.

Система железо – водяной пар термодинамически неустойчива.

Взаимодействие этих веществ может протекать с образованием магнетита Fe3O4 и вюстита (FeO):

При коррозии сталей в перегретом паре в отсутствии кислорода могут образоваться только Fe3O4 и FeO. При наличии в перегретом паре кислорода возможно образование гематита (Fe2O3) за счет доокисления магнетита.

В результате воздействия пара на сталь на ее первоначально чистой поверхности постепенно образуются топотактический слой, плотно сцепленный с самим металлом и поэтому защищающий его от коррозии. С течением времени на этом слое нарастает эпитактический слой. Оба эти слоя до температуры пара, равной 545 °С представляют собой магнетит, но с различной структурой. Эпитактический слой – крупнозернистый и не защищает от коррозии.

Электрохимическая коррозия перлитных сталей

Электрохимическая коррозия характеризуется возникновением электрохимического тока между отдельными участками поверхностей стали. Неоднородную поверхность корродирующего металла можно представить как сложную систему гальванических элементов, за счет действия которых происходит разрушение металла. Действие коррозионных элементов определяется следующими процессами:

1) Анодный процесс перехода ионов металла в раствор, протекающий за счет энергии гидратации:

Ме + n H2O → Me2++n H2O + 2 e−

или

Ме + n H2O → Me+ + n H2O + e−.

На аноде создается двойной электрический слой: вблизи металла гидратированные ионы создают внешнюю положительную часть этого слоя, а избыточные электроны – внутреннюю его часть.

2) Катодный процесс ассимиляции электронов на катоде, т. е. удаление из металла электронов, появившихся в результате анодного процесса, в частности за счет разряда ионов водорода:

Н+ + е− → Н; 2 Н → Н2.

При этом говорят о коррозии с водородной деполяризацией.

Возможна также кислородная деполяризация за счет ионизации кислорода:

О2 + 2 Н2О + 4 е− ↔ 4 ОН−.

3) Омическое сопротивление металла и раствора – чем больше их омическое сопротивление, т. е. меньше удельная проводимость, тем менее интенсивен коррозионный ток.

Установлению равновесного электродного потенциала мешает сорбция сталью кислорода, молекул воды или ионов, присутствующих в воде. Реальный электродный потенциал называют стационарным.

Изменение потенциала электрода ϕ при прохождении через него тока *i*  (т.е. процесс поляризации) графически представляют в виде поляризационных кривых (рис. 3.2).

Рис. 3.2. Анодная поляризационная кривая пассивирующегося металла

Для анализа состояния металла снимают анодную поляризационную кривую, когда внешний анодный ток принят эквивалентным общей скорости растворения электрода.

На анодной поляризационной кривой выделяется область пассивации, т.е. область резкого уменьшения растворения металла, хотя он по-прежнему термодинамически неустойчив. Пассивность металла объясняют образованием на нем защитных оксидных плёнок или адсорбционных слоёв.

На участке ВС происходит растворение металла в активном состоянии – увеличение скорости растворения при увеличении потенциала.

При достижении потенциала, соответствующего точке С, ток достигает предельного значения и уменьшается с дальнейшим ростом ϕ. Затем начинается снижение анодного процесса – начало пассивации металла. От точки Д до точки Е скорость анодного процесса наименьшая и не зависит от потенциала. Участок DЕ – область пассивации или пассивного состояния металла. Пассивное состояние явилось результатом начала образования защитных плёнок на участке ВС вблизи точки С и завершения формирования их на участке СD. При дальнейшем росте ϕ на участке ЕF скорость анодного процесса вновь возрастает. Этот участок называют областью перепассивации. Соответственно, потенциал в точке D называют потенциалом пассивации (или     Фладе-потенциалом), а потенциал в точке Е – потенциалом перепассивации   (или потенциалом пробоя).

Вместо участка АВ в ряде случаев наблюдается участок А′В. По аналогии с участком DЕ (независимость тока от ϕ) его называют участком псевдопассивации.

В некоторых водных средах пассивность металлов не наблюдается – линия ВС продолжается без обнаружения предельного тока, т. е. идет непрерывный процесс растворения металла. Задачей водного режима является создание такой среды, при которой может быть достигнута пассивность металла.

Влияние внутренних и внешних факторов

на протекание коррозионных процессов

К внутренним факторам коррозии относятся свойства и состояние самого металла – структура, наличие напряжений и др.К внешним факторам коррозии относятся состав электролита, температура, скорость движения и значение рН электролита, тепловая нагрузка, облучение.

Стали, относящиеся к перлитному классу наименее стойки к общей (равномерной) коррозии (скорость коррозии – 10 мг/(м2⋅г)) и язвенной коррозии. Повышение общей коррозионной стойкости сталей происходит при переходе к аустенитной, более однородной структуре сплавов, путем введения не только Cr, но и Ni в качестве легирующих добавок.

Стали аустенитного типа дороже и склонны к коррозии под напряжением, но обладают высокой коррозионной стойкостью (1 – 2 мг/м2⋅ч) и не склонны к язвенной коррозии.

Следующие факторы коррозии, связаны с составом среды:

1) содержание в воде углекислоты;

2) окислителей (О2, Н2О2);

3) восстановителей (гидроксиламин, гидразин);

4) хлоридов, фторидов, щелочей, водорода.

Углекислота способствует коррозии как непосредственно, так через снижение рН, так как кислая среда неблагоприятна для перлитных сталей. Поэтому деаэрация питательной воды предназначена прежде всего для удаления углекислоты.

Кислород, особенно в присутствии аммиака, резко повышает коррозию медных сплавов (за счет образования аммиачных комплексов). Влияние кислорода (и перекиси водорода) на коррозию сталей двояко: с одной стороны они способствуют коррозии стали (особенно язвенной), с другой, создавая на стали оксидные пленки, способствуют пассивации стали.

Для вод высокой чистоты концентрация кислорода, необходимая для пассивации, 1мг/кг. Для вод со значительной удельной электрической проводимостью, т. е. большим содержанием солей, концентрация кислорода, необходимая для пассивации, составляет несколько десятков г/л. Поскольку в водах с λ=0,2 мк⋅Ом/см наблюдается кислородная коррозия, необходимо удаление кислорода в ходе деаэрации питательной воды, т. к. скорость коррозии простых углеродных сталей, из которых изготовлены все подогреватели высокого давления на ТЭС, пропорциональна концентрации кислорода.

Введение гидразина приводит к восстановлению кислорода:

О2 + N2H2 → N2 + Н2О.

Эта реакция протекает при повышенных температурах, поэтому введение N2Н2 в конденсат низких температур не влияет на концентрацию О2. Гидразин – дорогой реагент, поэтому его вводят после деаэратора для ликвидации остатков О2. Присутствие хлоридов и фторидов интенсифицирует коррозию под напряжением аустенитных нержавеющих сталей и циркониевых сплавов. Для установок высокого давления проводят удаление хлоридов путем обессоливания добавочной воды, а в ряде случаев и обессоливание турбинного конденсата.

Аустенитные нержавеющие стали сохраняют высокую коррозию стойкость в области рН 5,5 – 12,5. Для перлитных благоприятно рН > 9,4. Высокие тепловые нагрузки (q) интенсифицируют коррозионные процессы.

Коррозия под напряжением аустенитных нержавеющих сталей

Существенным недостатком аустенитных нержавеющих сталей является их склонность к особому виду разрушений – коррозии под напряжением (или коррозионному растрескиванию), проявляющейся при наличии наклепа, неизбежного в процессе изготовления изделий из этих сталей. Разрушение металла при этом носит транскристаллитный характер. Трещины располагаются перпендикулярно растягивающим усилиям. Скорость развития трещин велика и может достигать несколько см/час. При этом скорость общей коррозии, происходящей наряду с коррозионным растрескиванием, весьма невелика. Разрушение идет по участкам металла, находящимся в активном состоянии, в то время как остальная поверхность стали запассивирована. Коррозионое растрескивание имеет электрохимическую природу. Его причиной являются локальные деформации с образованием α-фазы и интенсивное ее растворение в среде, содержащей хлориды. Растрескивание ускоряется в присутствии растворенного кислорода, хлоридов и при повышенной щелочности воды.В отсутствие кислорода, но при высокой щелочности воды может развиваться щелочная хрупкость напряженного металла, особенно при наличие наклепа.

Коррозия латуней

Наиболее целесообразно применение медных сплавов, в основном латуней, в конденсаторах турбин. Высокая общая коррозионная стойкость сочетается у латуней с большой теплопроводностью.

Коррозионная стойкость латуней различается по отношению к охлаждающим водам с разным солесодержанием. Простейшая латунь Л68 применяется только для ПНД – подогревателей низкого давления. Для конденсаторных трубок предпочтительнее латуни мышьяковистые, оловянистые, алюминиевые. Для особо агрессивных охлаждающих вод латуни целесообразно заменять на мельхиор (медно-никелевый сплав).

В конденсаторных латунных трубках бывают следующие коррозионные повреждения:

1) общее и пробочное обесцинкование;

2) коррозионное растрескивание;

3) ударная коррозия;

4) коррозионная усталость.

Обесцинкование является электрохимическим процессом, в котором цинк является анодом, а медь – катодом.

Коррозионное растрескивание возникает в процессе контакта латуни с конденсирующимся паром. Оно может протекать как межкристаллитно, так и транскристаллитно. Непременным условием его является наличие растягивающих напряжений.

Растрескивание наблюдается при одновременном наличии в паре кислорода и аммиака. Увеличение в латуни содержанияцинка сильно повышает её склонность к коррозионному растрескиванию.

Ударной коррозии латунь подвергается при контакте с охлаждающей водой, что связано с явлением кавитации, т.е. разрывов потока охлаждающей воды при завихрении последней в местах пониженных давлений. Воздушные полости, возникающие при этом, устраняются как только они переносятся в районы более повышенного давления. Разрушение этих полостей сопровождается внезапными значительными сжимающими усилиями.

Коррозия циркониевых и алюминиевых сплавов

Циркониевые сплавы относятся к числу наиболее коррозионно-стойких, скорость их общей коррозии 1мг/м2⋅ч, т. е. меньше, чем у аустенитных нержавеющих сталей.

Конструктивно неизбежный контакт циркония с аустенитными нержавеющими сталями не вызывает контактной коррозии. Не склонны циркониевые сплавы к щелевой межкристаллитной коррозии и коррозии под напряжением.

Скорость коррозии циркониевых сплавов увеличивается при возрастании теплового потока. При постоянной температуре скорость тем выше, чем выше давление.

В водной среде максимальное влияние на скорость коррозии циркониевых сплавов оказывают хлориды и фториды.

Коррозия циркониевых сплавов имеет электрохимический характер, но протекает не с потерей массы, как у сталей, а с возрастанием массы за счет оксидной пленки, которая представляет собой моноклинную модификацию диоксида циркония. Сначала оксидная пленка растет на поверхности раздела металл-пленка, а кислород диффундирует сквозь пленку в металл, образуя твердый раствор кислорода в цирконии. В определенных условиях термодинамически более устойчивым становится не твердый раствор кислорода в цирконии, а его оксид. Происходит перестройка кристаллической решетки твердого раствора в решетку диоксида циркония, избыток атомов циркония растворяется в оксиде, и образуется твердый раствор циркония в его диоксиде.

Особенностью поведения циркониевых сплавов является склонность к наводороживанию. В течение начального периода окисления в цирконии растворяется 30 – 40 % “коррозионного” водорода, а на втором этапе растворяется весь остальной коррозионный водород. Гидриды циркония вызывают значительное охрупчивание сплавов циркония.

Одним из методов борьбы с коррозией циркониевых сплавов, особенно в начальный период времени, является их комплексонная обработка.

Общая коррозионная стойкость алюминиевых сплавов высокая, но лишь в пределах определенных температур. Эти сплавы чувствительны к значению рН, при этом оптимальное значение зависит от уровня температур. Один из наиболее распространенных сплавов Аl-САВ-6 требует рН = 4 ÷ 5 при *t* = 100 °C и рН = 3,5 при *t* = 200 °С.

Увеличение рН до 9 может привести к росту скорости коррозии не менее чем в 2 раза. Для регулирования рН оправдано применение фосфорной кислоты, являющейся одновременно ингибитором коррозии алюминиевых сплавов. В отличие от циркониевых, алюминиевые сплавы подвержены эрозии и разрушению в связи с кавитацией, а скорость коррозии алюминиевых сплавов зависит от скорости водной среды и от соотношения суммарной его поверхности с объемом контура и с суммарной поверхностью других конструкционных материалов, в частности сталей.

Алюминиевые сплавы склонны ко многим видам коррозии – контактной, щелевой, межкристаллитной, под напряжением.

Из примесей воды общую и местную коррозию алюминиевых сплавов наиболее интенсифицируют фториды, которые, адсорбируясь на поверхности сплава, нарушают его пассивное состояние. Недопустимо наличие в воде щелочей. В обычной теплоэнергетике алюминиевые сплавы используют в сухих градирнях в сочетании со смешивающими конденсаторами.

КОНДЕНСАТООЧИСТКА В СОСТАВЕ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ ТЭС

В процессе эксплуатации возможно некоторое загрязнение конденсатов. Турбинный конденсат может загрязняться естественными примесями за счет присоса охлаждающей воды в конденсаторах турбин. Остальные потоки загрязняются продуктами коррозии конструкционных материалов.

Конструктивные меры борьбы с присосами охлаждающей воды

Конденсатоочистка эффективно ликвидирует последствия присосов охлаждающей воды в конденсаторах турбин. Чем больше присос, тем меньше период между регенерациями фильтров. Поэтому необходимы специальные меры по сокращению присосов.

Охлаждающая вода проходит внутри конденсаторных трубок. Подсос охлаждающей воды в конденсаторах обусловлен тем, что давление охлаждающей циркуляционной воды существенно больше давления в конденсаторе. Вследствие этого охлаждающая вода проникает в конденсат через неплотности в вальцовочных соединениях трубок с трубными досками и через места коррозионных повреждений самих трубок. Для устранения этих присосов охлаждающей воды раньше применяли двойные трубные доски с вальцеванием трубок сначала во внутренних, а затем во внешних досках. В настоящее время применяют более рациональные способы – применение утолщенных трубных досок и уплотняющих обмазок.

Обычно толщина трубных досок – 20 мм. Применение трубных досок повышенной толщины (до 30 – 40 мм) существенно уменьшает возможность недовальцовки труб. Но даже первоначально плотная вальцовка может нарушиться из-за переменного теплового режима конденсатора и вызываемых этим термических напряжений, например, при пусках и остановках и в связи с динамическим воздействием потока пара. Поэтому перспективно применение способов уплотнения мест вальцовки. Применяемые для того уплотняющие обмазки должны обладать хорошей адгезией с металлом, долговечностью и эластичностью в связи с возможными вибрациями, а также высокой сопротивляемостью износу механическими примесями, присутствующими в охлаждающей воде. Одним из материалов смазки является масляный жидкий найрит. Уплотнения им мест вальцовки производят методом троекратной окраски, дающей покрытие толщиной примерно 1мм. Вулканизацию осуществляют при невысоких температурах (~100 °С) с обогревом паром межтрубного пространства конденсатора. На трубную доску накладывают специальный грунт последовательными слоями с просушкой каждого из них.

Технологические схемы очистки турбинных конденсатов

Основная задача конденсатоочистки – удаление механических примесей – нерастворённых продуктов коррозии конструкционных материалов и удаление истинно растворенных и коллоидных веществ, главным образом, примесей охлаждающей воды.

До последнего времени преобладающей является блочная очистная установка (БОУ) турбинного конденсата для каждой турбины. Основными элементами оборудования при этом являются предвключенные механические и ионитные фильтры смешанного действия (ФСД), при совместном  Н-ОН-ионировании и внешней регенерации слоя. Преимущества фильтров смешанного действия по сравнению с фильтрами раздельного действия для глубокой очистки конденсата связаны с тем, что в ФСД реализуется ионный обмен с таким большим количеством ступеней, которое не может быть достигнуто в схемах раздельного действия.

Однако у ФСД есть недостатки, связанные с неполным разделением шихты анионита и катионита перед их регенерацей щелочью и кислотой. Это приводит к переходу некоторого количества катионита в натриевую форму с повышенным проскоком ионов натрия в очищенный конденсат.

Для получения максимального эффекта обессоливания и обескремнивания необходимо глубокое удаление при Н-катионировании всех катионов, в том числе наиболее трудно задерживаемого катиона натрия. В ФСД применяют сильнокислотные катиониты.

Соотношение катионита и анионита в ФСД колеблется в пределах 1:1 – 1:2 (в зависимости от требуемого значения рН фильтрата) при общей высоте слоя шихты 0,5 – 1,0 м. При нормальных условиях эксплуатации длительность фильтроцикла ФСД составляет 15 – 30 суток в зависимости от качества конденсата перед БОУ. Переключение фильтра на регенерацию определяется не истощением ёмкости смол, а увеличением перепада давления в слое за счет уплотнения шихты и загрязнения её продуктами коррозии.

В схемах обессоливания турбинного конденсата сильнокислотный катионит регенерируется 3 – 4 %-ным раствором кислоты (Н2SO4 или НNO3). Высокоосновной анионит регенерируется слегка подогретым 4 – 5%-ным раствором NaOH. Отмывку ионитов от регенерационных растворов проводят обессоленной водой до понижения концентрации регенерирующих компонентов до 100 мкг-экв/л. Окончательную отмывку ионитов осуществляют в рабочем фильтре после перемешивания смол сжатым воздухом.

Регенерация применяется как внутренняя, так и внешняя (рис.2.2, 2.3). Внутренняя регенерация осуществляется непосредственно в рабочем фильтре. Такой фильтр-регенератор кроме дренажной системы имеет еще дополнительную, расположенную выше, систему (рис.2.2).

Рис. 2.2. Схема последовательности операции для проведения внутренней регенерации: а – работа; б – разделение смол; в – регенерация смол;

г - отмывка от регенерационных растворов; д – перемешивание шихты

Рабочему состоянию соответствует (а). После выключения фильтра из работы за счет подачи обратным током промывочной воды в связи с различием плотностей ионитов происходит разделение ионитов (б), слой более плотного катионита оказывается внизу, а менее плотного анионита – наверху. Затем промывочную воду отключают и подают регенерационные растворы в количестве, рассчитанном для регенерации и сброса их в дренаж (в). Остатки регенерационных растворов удаляются в дренаж при промывке обессоленной водой (г). Последующее перемешивание отрегенерированных смол производится воздухом, после чего фильтр снова готов к работе.

Первые порции обессоленной воды рассматриваются как окончательная отмывка отрегенерированной шихты и потому сбрасываются. Такая регенерация требует выключения ФСД из работы на 4-5 часов.

Водой производят операции по транспортировке смол и их разделению, выгрузке шихты из ФСД (8), транспортировку общей шихты в корпус (5) и разделению её на катионит и анионит, транспортировку анионита в корпус (3) на регенерацию, транспортировку отрегенерированного катионита из корпуса (5) и отрегенерированного анионита из корпуса (3) в корпус (1) – запаса отрегенерированной смолы. Эти операции могут производиться технической водой. Кроме того, предусматриваются линии обессоленной воды, назначение которых – удаление остатков кислоты и щелочи из отрегенерированных смол. Перемешивание отрегенерированных смол производится воздухом в корпусе (1) и дополнительно в ФСД (8). Первые порции обессоленного конденсата сбрасываются в дренаж. Внешняя регенерация позволяет в корпусе (1) всегда иметь готовую шихту для одного ФСД и транспортировать её в тот ФСД, который освобожден от смол, подлежащих регенерации.

Это требует выключения ФСД из работы не более чем на 1 ч. Хотя оборудования для внешней регенерации требуется больше, чем для внутренней, но такие ФСД при прочих равных условиях обеспечивают большую надежность работы установок обессоливания турбинного конденсата.

Возможность размещать рабочие фильтры на значительном расстоянии от регенераторов и хранилищ реагентов при схеме с выносной регенерацией ФСД облегчает компоновку ФСД в турбинном зале при одновременном сокращении линии сброса кислых дренажей. В выносных регенераторах промывка смол может осуществляться при более высокой скорости воды и воздуха, что способствует удалению с поверхности зёрен частиц грубодисперсных загрязнений – продуктов коррозии. Система выносной регенерации упрощает досыпку смол в рабочие фильтры и их удаление из фильтров при ревизии и ремонте оборудования. Выносная регенерация позволяет предусматривать одну установку для двух БОУ, что удешевляет оборудование.

Важным для оптимизации схемы очистки турбинного конденсата является наличие или отсутствие перед ионообменным ФСД механического фильтра. В случае его отсутствия в шихте ионитов накапливаются продукты коррозии, механически и химически разрушающие смолы. Срок работы ионитов сокращается с 6 – 7 до 1 – 2 лет.

Только для смешанной шихты из макропористых ионитов, механически прочных и могущих эффективно очищаться от продуктов коррозии барботажем, ультрозвуковой очисткой, механический фильтр не обязателен. Но в большинстве случаев включение перед ФСД механического фильтра считается целесообразным. В качестве таковых используют электромагнитный, намывной целлюлозный и насыпной катионитный (с сульфоуглем или с КУ-2) фильтры. За рубежом широко используют фильтрующие элементы с намоткой из различных волокон, например, целлюлозы, полипропилена, аустенитной стали.

За последние годы в США и ряде западных стран широкое распространение получили конденсатоочистки с использованием намывных ионитных фильтров (НИФ). Особенностью НИФ является использование смеси тонко измельченных катионита и анионита со средним размером частиц 0,05 мм и толщиной рабочего слоя ионитов 3 – 10 мм. При смешивании ионитов с частицами с различным зарядом в процессе намыва образуются хлопья с равномерной пористостью и малым гидравлическим сопротивлением. В таком фильтре одновременно протекают процессы ионного отмена и механического задержания дисперсных примесей.

Благодаря высокой степени измельчения ионита значительно улучшается кинетика процесса и даже в тонких слоях используется до 90 % обменной емкости. НИФ имеют следующие преимущества перед обычными ФСД: 1) на них достигается более высокая эффективность очистки, обеспечивается быстрое достижение требуемого качества воды как при первичном, так и повторных пусках; 2) процесс намыва суспензии ионитов прост по сравнению с общепринятой технологий регенерации ФСД обычных конденсатоочисток; 3) иониты поставляются на станцию в полностью отрегенерированном виде, поэтому отпадает необходимость применения коррозионно-активных регенерирующих растворов; 4) для НИФ нет проблем старения, так как каждый намыв осуществляется свежими ионитами, а регенерация истощенных порошкообразных ионитов не производится; 5) эксплуатация НИФ требует минимума времени со стороны персонала, а операция смыва истощенного слоя и намыва нового требует от 30 мин до 1 ч, что особенно важно в пусковые периоды; 6) большинство элементов НИФ автоматизировано, за исключением операции приготовления ионитной суспензии.

Оптимизация состава блочной обессоливающей установки

До последнего времени состав БОУ решался единообразно и включал в себя ФСД при соотношении катионита и анионита 1:1 и предвключенный механический фильтр (обычно сульфоугольный или нерегенерируемый катионитный). Соотношение катионита и анионита 1:1 оправдано только для гидразинного режима, для кислородного режима это соотношение должно быть 1:1,5. В целом для определения оптимального соотношения катионита и анионита в ФСД рекомендуется проведение несложных исследований для конкретных условий ТЭС.

Несмотря на наибольшее распространение на отечественных электростанциях в качестве наполнителей механических фильтров сульфоугля для БОУ ТЭС СКП (сверхкритических параметров) и катионита КУ-2 для БОУ одноконтурных АЭС в последние годы наметилась тенденция замены их на: 1) электромагнитные фильтры (ЭМФ); 2) насыпные фильтры с использованием в них сополимера стирола и дивинилбензола.

ЭМФ, созданные фирмой “Крафтверк-Унион”, изготовляются в России по лицензии. Они могут работать при любых температурах, хотя при очень высоких температурах усложняются способы охлаждения электрообмотки. Преимуществом ЭМФ является компактность, что связано с большими допустимыми скоростями фильтрования (1000 м/ч). На блок  500 МВт на полном расходе турбинного конденсата достаточен один фильтр диаметром около 1м и высотой около 3 м.

В фильтр загружаются мягкомагнитные шарики диаметром 6 мм. При положении электромагнитного поля ферромагнитные загрязнения воды перемещаются к магнитным полюсам шариков, где и отлагаются. Немагнитные оксиды железа и других металлов и неметаллические загрязнения адсорбируются отложившимися магнитными оксидами железа. При превышении сопротивления фильтр автоматически переводится в режим промывки, по завершении которой также автоматически включается в работу.

Фирма гарантирует степень удаления магнитных оксидов железа не менее чем на 90%. Однако такой высокий КПД достижим только при большом содержании оксидов железа перед фильтром.

Перспективно использование в механических фильтрах сополимера стирола и дивинилбензола. Этот материал служит матрицей для производства ионообменных смол, поэтому он не только существенно дешевле смолы, но и инертен, т. е. не влияет на стабильность значений рН.

**ЛЕКЦИЯ № 3**

**ВОДНЫЙ РЕЖИМ КОНДЕНСАТНО-ПИТАТЕЛЬНОГО ТРАКТА**

Требования к организации водного режима

конденсатно-питательного тракта

Основными процессами, вызывающими ухудшение чистоты конденсата и питательной воды на КПТ, являются процессы коррозии и эрозии. Главное требование к организации водного режима на КПТ – сведение к минимуму перехода в воду оксидов конструкционных материалов. Достигнуть это можно:

1) выбором соответствующих скоростей, снижающих или ликвидирующих процессы эрозии;

2) использованием на КПТ коррозионно-стойких конструкционных материалов;

3) поддержанием физико-химических показателей, уменьшающих интенсивность процессов коррозии и замедляющих переход в воду образовавшихся оксидов;

4) организацией возможно более полного вывода из КПТ оксидов конструкционных материалов.

Выбор скоростей конденсата и питательной воды производят на стадии проектирования технологических схем подогревателей. Чем больше скорость среды, тем выше коэффициент теплоотдачи от поверхности к обогреваемой среде и, следовательно, меньше требуемые поверхности теплообмена, соответствующие капиталовложения, и отчисления от них, входящие в себестоимость вырабатываемой электроэнергии. Но чем больше скорости среды, тем выше гидравлические сопротивления, которые необходимо преодолеть. Это увеличивает подачи конденсатного и питательного насосов и, следовательно, эксплуатационные расходы, также входящие в себестоимость электроэнергии. Обе эти зависимости и суммирующую их кривую рассчитывают для нескольких значений скоростей.

Водные режимы КПТ

Для уменьшения скорости коррозии на конденсатно-питательном тракте применяют два принципиально отличных типа водного режима, которые в соответствии с используемыми значениями рН называют нейтральными и щелочными. Нейтральный режим стал использоваться для котлов СКП в последние десятилетия. Он предусматривает поддержание значения рН в конденсатно-питательном тракте в пределах 6,9 – 7,3 за счет соответствующего выбора соотношения анионита и катионита в конденсатоочистке или за счет добавления микроколичеств аммиака в конденсат, в который после конденсатоочистки вводят окислитель – газообразный кислород или раствор перекиси водорода.

Этот режим применяют также и для КПТ при выполнении определенных обязательных условий. К ним относится высокая чистота воды (удельная электрическая проводимость χ = 0,15 – 0,30 мк⋅Ом/см) и отказ от применения латуней на конденсатном тракте.

Существует еще один, близкий к нейтральному, слабощелочной режим КПТ, который также требует высокой чистоты конденсата, но допускает применение латунных подогревателей низкого давления (ПНД). При этом режиме в конденсат вводят гидразин.

За рубежом наиболее распространенным является высокощелочной режим. При поддержании рН = 9,5 – 9,6 (за счет введения аммиака) конечные результаты получаются столь же хорошими, как и при нейтральных режимах. Но такая высокая щелочность допустима только при отказе от латунных ПНД.

Широко распространенное на отечественных станциях применение латунных ПНД не позволяет использовать требуемые для рН = 9,5 – 9,6 количества аммиака, так как в сочетании с присутствующим в воде кислородом это может привести к интенсивной коррозии латуней. Полностью обескислородить конденсат вводом в него гидразина невозможно, так как при низких температурах реакция между кислородом и гидразином практически не протекает, а в воде сохраняется и кислород, и избыток гидразина. Коррозия латуни усугубляется.

В условиях энергоблоков СКП неизбежно использование БОУ. При этом высокощелочной водный режим можно осуществить только при условии использования катионита в ФСД БОУ в NH-форме. Отечественные катиониты не выпускаются в NH-форме, а при использовании катионитов в Н+-форме высокощелочной режим не может быть реализован.

В прежние годы при использовании латунных ПНД наиболее распространенным в отечественной теплоэнергетике был гидразинно-аммиачный водный режим. Он осуществляется на ряде энергоблоков еще и в настоящее время. Осуществление гидразинно-аммиачного водного режима требует введения гидразина после деаэратора для ликвидации остаточных количеств кислорода. Одновременно после деаэратора вводится аммиак в количестве, обеспечивающем значение рН = 9,1±0,1, с целью уменьшения скоростей коррозии стали 20, используемой для теплообменных поверхностей всех ПВД.

В качестве корректирующих добавок для КПТ используются газообразный кислород, раствор перекиси водорода, гидразин и аммиак.

При кислородном режиме, а также в присутствии добавок перекиси водорода, происходит снижение концентрации железа в конденсатно-питательном тракте, по сравнению с повышением её при гидразинно-аммиачном режиме. Это свидетельствует о расходовании железа при кислородном режиме на создание защитных оксидных пленок на стали.

При наличии латунных ПНД дозирование окислителей в конденсат недопустимо (идет непрерывное растворение меди), для них осуществление нейтрального водного режима КПТ возможно только при дозировании в конденсат гидразина. При этом в воде образуются смешанные гидратированные гидразинные комплексы меди и цинка.

В результате на поверхности латунных трубок появляется защитный слой оксидов меди и цинка, на котором сорбируется гидроксидная пленка. В связи с такой защитой от коррозии концентрация меди в конденсате существенно снижается, причем тем значительнее, чем больше концентрация гидразина. Гидразин также образует комплексы с ионами железа, особенно на тракте после деаэратора. В процессе термолиза этих комплексов могут образовываться защитные оксидные пленки и на стали.

На КПТ неизбежно нарастание концентрации оксидов конструкционных материалов, в основном, сталей, хотя концентрация естественных примесей не меняется. Повышение коррозионной стойкости теплообменных поверхностей предусматривается для всех ПНД и ПВД относительно внутренней поверхности их теплообменных трубок. Однако коррозия может возникнуть и на наружной стороне этих трубок.

Конденсация греющих отборных паров турбины в корпусах подогревателей обусловливает существование в них влажно-паровой среды. В области ПНД, питаемых паром из вакуумных отборов, возможно поступление в эту среду также и атмосферного воздуха, а процесс коррозии в паровоздушной влагосодержащей среде характеризуется высокой интенсивностью. Поэтому дренажи регенеративных подогревателей в условиях их непосредственной закачки в КПТ увеличивают концентрацию продуктов коррозии в основных потоках конденсата и питательной воды. Предлагаются разные способы уменьшения влияния дренажей подогревателей. В основном эти способы касаются организации очистки на КПТ всего потока в целом:

1. Схема конденсатоочистки, при которой после конденсатора стоит только анионитный фильтр (термическая стойкость анионита до 40°С), а катионитный фильтр (термическая стойкость катионита до 100°С) стоит ближе к деаэратору.

Тем самым удаляются катионы кальция и магния, поступившие с присосом в конденсаторе, и катионы железа, меди, цинка, перешедшие в воду в связи с коррозией конструкционных материалов, на тракте с температурами до 100°С. Однако такая схема сложна компоновочно, но главное, она не позволяет реализовать значительные преимущества смешанного слоя в смешанном фильтре.

2. Схемы установки на потоке основного конденсата в области                *t* = 100°С после смещения с ним дренажей ПНД дополнительных катионитных нерегенерируемых фильтров для использования их в качестве механических. Предлагалось применять макропористые и слабокислотные катиониты. Но нужно отметить, что независимо от типа смолы эти решения сложны компоновочно и приводят к нестабильности значения рН.

3. Схема с установкой электромагнитного фильтра на полном расходе питательной воды. ЭМФ улучшает чистоту питательной воды, при этом для энергоблока 300 МВт достаточно одного ЭМФ диаметром 1 м и высотой 3 м. Однако в случае аварийного снятия напряжения все сорбированные в ЭМФ продукты коррозии выбрасываются в тракт и далее в паропроизводящий агрегат, т. е. происходит самопроизвольная промывка ЭМФ.

Предлагается устанавливать механические насыпные фильтры на напорах сливных насосов. В качестве наполнителей на конденсатном тракте можно использовать сополимер стирола и дивинилбензола.

Для поддержания необходимой чистоты питательной воды на ТЭС необходимо обеспечить должное качество возвратных конденсатов с производства. Для очистки производственных конденсатов можно использовать те же фильтры и наполнители, что и для очистки конденсатов греющих паров ПНД.

ВОДНЫЕ РЕЖИМЫ БАРАБАННЫХ КОТЛОВ

Твердые отложения, образуемые на поверхности нагрева котлов, называют накипями. Наиболее опасны малотеплопроводные накипи CaSO4, CaSiO3, что создает опасность пережога поверхностей нагрева. Надежный водный режим современных парообразующих систем должен исключать кальциевое накипеобразование. Наилучшим образом это достигается 100%-ным обессоливанием как добавочной воды, так и турбинного конденсата. Однако это дорого и применяется только для прямоточных котлов и для парогенерирующих систем АЭС.

Твердые соединения могут образовываться и в водяном объеме котла. Такие соединения называются шламом. Так как шлам в основном содержится в воде, то появляется возможность вывода его с продувкой. Поэтому целесообразна такая коррекционная обработка, которая обеспечивала бы шламовый, а не накипный режим в отношении кальциевых соединений.

В отличие от кальциевых соединений железооксидные соединения уже в питательной воде находятся в виде шлама. Концентрация кальциевых соединений на КПТ не изменяется, а концентрация железооксидных соединений нарастает. Полное удаление из питательной воды кальциевых соединений возмозможно, а исключить железооксидные соединения из питательной и котловой вод невозможно. Кальциевые накипи малотеплопроводны, а железооксидные соединения обладают более высокой теплопроводностью.

Предотвращения образования кальциевых накипей на поверхности нагрева барабанных котлов можно достичь путем: 1) фосфатирования воды,     2) комплексонной обработкой.

Ввод фосфатов обеспечивает перевод кальциевых соединений в шламовую форму. Ввод комплексона обеспечивает перевод кальциевых соединений в форму комплексонатов, обладающих высокой растворимостью в воде.

Чтобы в воде образовался фосфатно-кальциевый шлам, необходима определенная её щелочность, т. к. фосфорит, т. е. Са3(РО4)2, является накипью. Ввод фосфатов производится в барабан котла, т. е. в котловую воду.

Образующийся по этой реакции гидроксилапатит является шламом. Для протекания этой реакции и связывания всех ионов кальция в гидроксилапатит, не допуская образования таких накипей как СаSO4и СаSiO3 при упаривании воды, необходим избыток РО-ионов. Но, с другой стороны, большой избыток РОнежелателен, чтобы не образовалась магниевая накипь Мg3(РО4)2и накипь железа в виде FeРО4.

Из этого следуют ограничения избыточных концентраций РО и, в тем большей степени, чем меньше жёсткость питательной воды.

Фосфаты вводят в воду обычно в виде натриевых солей ортофосфорной кислоты – триортофосфата и диортофосфата.

Наряду с фосфатированием для барабанных котлов предлагается комплексонный водный режим. По сравнению с фосфатированием комплексонный водный режим имеет то преимущество, что обеспечивает истинно растворенное состояние в питательной воде комплексонатов Са2+, Mg2+, Fe3+, Fe2+, Cu2+, Zn2+.

В качестве комплексона для коррекции водного режима применяется двухзамещенная натриевая соль ЭДТУ – Трилон Б. Такой режим имеет большие преимущества перед фосфатированием, в частности в отношении малого уноса примесей с паром и эффективности вывода всех примесей с продувкой. Ввод комплексона в питательную воду должен осуществляться непосредственно перед котлом. Наиболее целесообразное место ввода – сниженный узел питания, при этом примеси попадают в котел в закомплексованном, т. е. истинно растворенном состоянии.

Оптимизация водного режима

барабанных котлов высоких давлений

До сих пор для барабанных котлов любых давлений регламентирован режим фосфатирования. Разработанный для средних давлений при большой жёсткости питательной воды режим фосфатирования необоснованно переносится на высокие (9,8 МПа) и сверх высокие (13,8 МПа) давления с малой жёсткостью питательной воды. Преимущества фосфатного режима для котлов высоких давлений проявляются только в периоды резко повышенных присосов охлаждающей воды в конденсаторах. Эти преимущества заключаются в предотвращении кальциевого накипеобразования в условиях, близких к аварийным. Но в процессе всей эксплуатации при высоких тепловых нагрузках, характерных для котлов высоких давлений, фосфатный режим имеет большие недостатки, усугубляемые высокими температурами. Ионы РО проникают в дефекты решётки магнетита, замещая атомы водорода и разрыхляя защитную пленку на стали. Это способствует развитию коррозии с проникновением в металл выделяющегося водорода. В результате на котлах высоких давлений, и особенно при работе на жидком топливе (высокие тепловые нагрузки) наблюдаются хрупкие, бездеформационные разрушения наиболее теплонапряженных экранных труб. Кроме того, образуются малотеплопроводные, пористые железофосфатные отложения, т.к. при давлении 15,5 МПа растворимость всех натриевых солей ортофосфорной кислоты резко снижается.

Поэтому дозируемые фосфаты оказываются в отложениях, и нормируемый избыток фосфатов не удается поддерживать. Увеличение дозирования приводит только к увеличению фосфатов в отложениях. Особенно неблагоприятны отложения кислых фосфатов, т.к. они взаимодействуют с защитной магнетитовой пленкой, разрушая её, и интенсифицируя коррозию.

Поэтому для котлов высоких давлений были предложены другие режимы.

Это бесфосфатный, т.е. бескоррекционный водный режим. Однако на случай больших присосов в конденсаторах и существенного повышения жёсткости питательной воды предусматривается возможность перехода к фосфатированию на период ликвидации присосов. При бесфосфатном режиме оказалось невозможным обеспечить значение рН котловой воды, требуемое для защиты от коррозии поверхностей нагрева.

Повышение коррозионной стойкости перлитных сталей возможно в результате их периодической обработки комплексоном, обычно Трилоном Б. При термическом разложении комплексонатов железа в отсутствие контакта со сталью (например, в стеклянных ампулах в отсутствие стальных образцов) в осадок выпадают оксиды железа, обычно, магнетит. Но, если термическое разложение комплексонатов железа происходит в условиях контакта их раствора со сталью, то:

1) осадок не выпадает;

2) на поверхности стали образуется плёнка магнетита (или магелита), плотно сцепленная со сталью и обладающая защитными свойствами;

3) в растворе оказываются вторичные высокорастворимые комплексы железа.

Эти явления позволили разработать технологию периодической обработки котельных поверхностей раствором Трилона Б: перед растопкой котла его водяной объем заполняется холодной питательной водой, содержащей 300 – 500 мг/кг Трилона Б. В процессе растопки после достижения *t* = 140 – 150 °С при давлении 0,5 – 0,6 МПа в течение 1,5 - 2 часов дальнейшего подъема температуры не производится. В результате этого первого этапа обработки поверхности труб очищаются и подготавливаются к образованию на них оксидной пленки, а образующиеся при этом комплексонаты железа переходят в раствор. В процессе второго этапа обработки температура поднимается вплоть до рабочей. При этом перешедшие в раствор на первом этапе отработки комплексонаты железа термически разлагаются в контакте со сталью, образуя на ней защитные плёнки. Этот процесс зависит только от уровня температуры, но не от уровня тепловой нагрузки, как для обычных накипей. Поэтому образование оксидной плёнки происходит как на обогреваемых, так и на необогреваемых трубах и практически равномерно по периметру. Чем выше температура, тем глубже разложение комплексонатов и эффективнее защитная пленка. При *t* = 316,6°С, соответствующей давлению в парообразующей системе котла 11,0 МПа, происходит глубокое термическое разложение комплексонатов Fe (на 92-94%). Свойства принудительно образованных при этом оксидных пленок наиболее близки к свойствам перлитных сталей. Поэтому механическая сохранность такой пленки высока.

В результате комплексонной обработки структура плёнки магнетита становится другой – кристаллы теряют правильное очертание, грани октаэдров сглаживаются, кристаллы становятся округлыми, их размеры уменьшаются до 0,1 – 1 мкм. Свободные проходы между кристаллами вследствие их более плотной упаковки становятся очень малыми. В итоге площадь прохода к металлу кислорода и водорода резко уменьшается.

Так как термическое разложение комплексонатов железа интенсивно протекает начиная с 200 °С, то такой метод наиболее пригоден для котлов высокого давления. Однако, хотя и менее прочная, но все же защитная оксидная плёнка может быть получена и при несколько меньших температурах, но не ниже 250°С, т. е. метод применим только при давлениях, начиная с 3,9 МПа .

Комплексонный водный режим разрешён как для средних, так и высоких давлений, причем для высоких давлений, он предпочтительнее, чем фосфатный.

Так как обычно дозируют раствор Трилона Б, то такой режим часто называют трилонным или трилонированием. Определенным ограничением для его распространения является некоторая дефицитность комплексонов.

Основы водного режима барабанных котлов

сверхвысоких давлений

При *t* = 343,2°С, соответствующей давлению 15,5 МПа (сверхвысокое давление) глубина разложения комплексонатов железа еще больше, чем при высоких давлениях. Однако при сверхвысоких давлениях уже наблюдается термическое разложение комплексонатов кальция, чего еще не происходит при высоких давлениях. Термолиз этих комплексонатов может мешать образованию хорошей плёнки магнетита за счет двух факторов: 1) частичного внедрения образующегося гидроксида кальция в железооксидную плёнку и нарушения её сплошности; 2) создания в водном объёме частичек кальциевого шлама, на которых могут сорбироваться железооксидные соединения вместо их осаждения на металле экранных труб.

Удельная электрическая проводимость растворов обоих комплексонатов сначала растёт с увеличением температуры (растет подвижность ионов). Это происходит до тех пор, пока не начинается термическое разложение комплексонатов. Связанное с этим преобразование комплексонов во вторичные вызывает снижение удельной электрической проводимости, а продолжающийся рост температуры – увеличение. В результате рост прекращается, а затем её значение резко уменьшается, т.к. термолиз проявляется всё сильнее. Для комплексоната железа прекращение роста происходит в температурном интервале 220 – 300 °С. Образующиеся в воде вторичные комплексы железа получаются в результате необратимых процессов и имеют характеристики, резко отличные от первичных. Об этом свидетельствует различие в зависимостях для процессов нагревания и охлаждения растворов комплексонатов. Комплексонаты Са2+ более стойкие, их термолиз начинается с *t* = 310°С и особенно сильно проявлятся при переходе от 316 до 343°С, т.е. переходе от 11,0 к 15,5 МПа.

Если жесткость питательной воды очень мала, то комплексонаты кальция даже при их разложении не создают помех в образовании защитных плёнок на стали.

Комплексонаты кальция, образуемые в высокощелочной среде, обладают более высокой термической стойкостью.

Режим совместного дозирования Трилона Б и NaOH называется комплексонно-щелочным.

Так как комплексонаты кальция способствуют нарушению комплексонного режима, то необходимо тщательное наблюдение за присосами в конденсаторе и своевременная ликвидация причин их повышения. Но лучше и радикальнее 100 %-ая конденсатоочистка, особенно для блоков с давлением 15,5 МПа.

Следует иметь в виду (и не только для сверхвысоких давлений), что комплексонный водный режим требует большей культуры эксплуатации, чем фосфатный. Недопустима передозировка комплексона, поэтому следует автоматизировать подачу дозируемого раствора по импульсу от паропроизводительности котла.

Газообразные продукты разложения комплексонатов обладают комплексообразующей способностью. Поступая с отборным паром в ПВД, они переходят в образующийся конденсат. Дренажи греющих паров всех ПВД каскадно сливаются в деаэратор. При хорошей вентиляции деаэратора газообразные продукты разложения комплексонатов удаляются с выпаром так же, как кислород и углекислота. Но если выпар деаэратора закрыт, то продукты разложения возвращаются в котел вместе с потоком питательной воды, выходящим из деаэратора. Этот процесс возвращения комплексообразующих продуктов разложения протекает непрерывно, повышая концентрации в водяном объеме котла, вплоть до опасных в отношении интенсификации коррозии стали.

**ЛЕКЦИЯ №4**

**ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПРЯМОТОЧНЫХ КОТЛОВ СКП**

**ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ АЭС**

Прямоточные котлы СКП – основа развития теплоэнергетики. Прямоточность всей системы котла делает практически неизбежными отложения внутри труб. Эти отложения систематически нужно удалять химическими очистками. Чем чаще такие очистки, тем больше будут простои котла и недовыработка электроэнергии. Поэтому увеличение межпромывочного периода – одна из задач рациональной организации водного режима котлов СКП.

При наиболее распространенном гидразинно-аммиачном водном режиме отложения сосредотачиваются в основном в зоне повышенных тепловых нагрузок котла, приходящейся на его нижнюю радиационную часть (НРЧ). Это позволяет подвергать систематической промывке не весь котел, а в основном НРЧ.

Методами водного режима необходимо добиваться высокой теплопроводности отложений и малой их толщины. Так как отложения в НРЧ лишь частично связаны с коррозией собственно труб НРЧ, а в основном определяются заносом продуктов коррозии из конденсатно-питательного тракта, то принятый для КПТ водный режим должен сочетаться с водным режимом самого котла. Для блоков с прямоточными котлами СКП обязательна 100%-ная конденсатоочистка и подготовка добавочной воды путем двух- трёхступенчатого обессоливания.

Температура металла НРЧ тем выше, чем меньше коэффициент теплоотдачи от металла к охлаждающей его среде. В свою очередь, интенсивность теплообмена зависит от плотности среды. Несмотря на однофазность среды в области НРЧ при изменении температуры среды всего на 80 °С, происходит резкое снижение плотности среды более чем в 3 раза. Эта зона, называемая зоной максимальной теплоёмкости, важна в связи с тем, что при средней температуре потока меньшей, чем 360 °С, у самой стенки температура может быть выше, т.е. пристенный слой может быть уже в зоне максимальной теплоёмкости. Необходимо поэтому обеспечить такие массовые скорости среды, чтобы было достигнуто выравнивание температур потока по сечению труб.

Пар из котла направляется в турбину. Его качество должно обеспечивать минимальные отложения в проточной части, особенно в головной части машины. Это тоже одна из задач рациональной организации водного режима котлов СКП. Сложность её обеспечения связана с высокими параметрами пара, подаваемого на турбину (24,0 МПа и 545 °С), при которых значительна растворимость веществ в паре, особенно медистых соединений. Наибольший рост растворимости этих соединений наблюдается в области сверхкритических давлений, поэтому вполне реальна опасность выпадения соединений меди в головной части машины при снижении давления до 20,0 – 17,0 МПа от входного его значения 24,0 МПа.

**Гидразинно-амиачный водный режим блоков СКП**

Сущность гидразинно-аммиачного водного режима заключается в подаче в питательную воду гидразина и аммиака для достижения нормируемого значения рН с целью снижения коррозии сталей на тракте питательной воды (в основном коррозии ПВД) и на дальнейшем тракте в пределах котла.

В водяном экономайзере оксиды железа практически не осаждаются, хотя в этой области тепловые нагрузки малы, поверхности значительны, и поэтому отложения здесь были бы равномерными и не опасными. Основная часть отложений образуется на относительно небольшой поверхности НРЧ. В сочетании с наиболее высокой тепловой нагрузкой НРЧ это приводит к быстрому росту температур на 14 – 20 °С за каждые 1000 часов.

Кристаллы отложений, компонующие слой на поверхности НРЧ, при гидразинно-аммиачном режиме, велики (6 – 12 мкм), практически все кристаллы разрушены – сколоты вершины, имеются трещины. Очевидно, что оксидная плёнка с такой структурой на поверхности НРЧ не может служить защитой от общей коррозии.

**Нейтральный водный режим с дозированием газообразного кислорода**

По концентрациям железа в питательной воде кислородный режим существенно лучше гидразинно-аммиачного, а по остальным показателям равноценен ему.

Из данных по температурам труб НРЧ в рассматриваемом режиме показано, что рост температур составил 3 – 5 °С за 1000 ч, а по отдельным вставкам он вообще не наблюдался. При этом режиме можно проводить химическую очистку НРЧ только в периоды капитальных или расширенных текущих ремонтов. Отложения по трубам НРЧ в 2,7 – 3,7 раза меньше, чем при гидразинно-аммиачном режиме. Длительность работы в нейтральном режиме примерно в два раза превышала межпромывочный период при гидразинно-аммиачном режиме.

Так как при этом удаляется кислород, дозируемый в конденсат, то для защиты от коррозии питательного тракта и тракта самого котла кислород вводят также и в питательную воду после деаэратора. В связи с этим доза кислорода, вводимого в питательную воду, составляет примерно 100 мкг/кг. При большей дозе кислород может быть не израсходован на тракте до первичного пароперегревателя, изготовленного из аустенитных нержавеющих сталей. В условиях высоких температур и давлений в этой области тракта влияние кислорода на аустенитную нержавеющую сталь может оказаться и негативным. Для всех режимов котлов СКП, а для кислородного особенно, необходима высокая чистота питательной воды – удельная электрическая проводимость её должна быть не более 0,3 мкОм/см. Допускается два варианта режима рН – слабощелочной и нейтральный. В последнем случае значение рН в пробе перегретого пара может составлять до 6,5.

**Нейтральный водный режим с дозированием**

**раствора перекиси водорода**

Наряду с газообразным кислородом можно вводить и такие окислители как воздух и раствор перекиси водорода. Механизм воздействия воздуха тот же, что и чистого кислорода. Механизм воздействия перекиси водорода несколько отличается.

По концентрациям железа перекисеводородный режим существенно лучше гидразинно-аммиачного. Температуры металла в перекисеводородном режиме на протяжении времени его осуществления были практически постоянны, а отдельные максимальные значения не превышали 525 °С. Химическая очистка блока в период между капитальными ремонтами не требуется. Оксидная пленка, образуемая на поверхности труб при этом режиме, состоит из малых кристаллов округлой формы, без трещин и сколов. Плотная упаковка кристаллов свидетельствует о хороших защитных свойствах такой плёнки. Положительные показатели такой работы НРЧ при нейтральном режиме с дозированием перекиси водорода связаны как с существенным уменьшением количества оксидов железа, привносимых с питательной водой, так и с уменьшением коррозии собственно труб НРЧ.

**Нейтральный водный режим**

**с дозированием гидразина**

Недостатки гидразинно-аммиачного режима и недопустимость дозирования окислителей при наличии латунных ПНД привели к созданию гидразинного режима. При этом существенно уменьшается вынос меди в тракт, несколько снижается концентрация железа в питательной воде. Отложения в области НРЧ при гидразинном режиме примерно в 4 раза меньше, чем при гидразинно-аммиачном водном режиме.

**Работа БОУ в безаммиачных водных режимах**

Основное отличие нейтральных водных режимов от гидразинно-аммиачного состоит в том, что эти режимы безаммичные, что важно для повышения эффективности БОУ. В присутствии Н-катионита в составе шихты ФСД обменная ёмкость БОУ расходуется в основном на поглощение аммиака из конденсата с последующим вводом новых количеств аммиака в питательную воду (рис.4.1).

Рис. 4.1. Схемы организации водного режима энергоблоков СКП:

а) гидразинно-аммиачный; б) нейтральный с дозированием в конденсат окислителей; в) нейтральный с дозированием в конденсат гидразина

При безаммиачных водных режимах экономится сам аммиак. Кроме того, при нейтральных окислительных режимах имеет место увеличение фильтроциклов БОУ по сравнению с фильтроциклами в условиях гидразинно-аммиачного водного режима. Увеличение фильтроциклов БОУ приводит к уменьшению числа регенераций и сокращения вредных сбросов в водоёмы. Также уменьшение числа регенераций приводит к экономии смол на досыпку в ФСД в составе БОУ.

**Комплексонный водный режим блоков СКП**

Основными недостатками гидразинно-аммиачного режима при           рН = 9,1±0,1 является значительное количество отложений и локализация их в НРЧ. При комплексонном водном режиме локализация отложений исключается. Термолиз комплексонатов железа интенсивно протекает в области температур 250 – 330 °С. Именно этот интервал температур характерен для водяного экономайзера блоков СКП, поэтому при комплексонном режиме подавляющая часть соединений железа будет задержана в этой области тракта. Тем самым может быть существенно снижено количество оксидов железа, поступающих в нижнюю радиационную часть (НРЧ).

На входе в котел концентрация железа даже больше, чем в отсутствии дозирования комплексона. Это свидетельствует о повышении выноса железа из питательного тракта, однако не в виде оксидов, а в виде высокорастворимых комплексонатов железа, которые при последующем термическом разложении в котле будут создавать защитные оксидные пленки на всем тракте котла.

**Сбор и хранение радиоактивных отходов на АЭС**

Хранилища для радиоактивных отходов выполняются подземными или наземными. Их строят на расстоянии не менее 50 м от водопроводных магистралей и не менее 500 м от открытых водоемов на территории, не подверженной затоплениям.

Источником жидких радиоактивных отходов является вода, применяемая в качестве теплоносителя, а также сточные воды спецпрачечных, обмывочные воды и др. Переработка жидких отходов заключается в очистке воды на спецводоочистке и доупаривании. На длительное хранение направляются образующиеся при переработке пульпа и кубовый остаток.

Для сбора и хранения жидких радиоактивных отходов сооружаются специальные могильники, рассчитанные на длительный (до 15 лет) срок хранения. При этом предусматриваются раздельные емкости для каждого вида отходов. Резервная емкость может быть общей для разных видов отходов.