

ОРГАНИЗАЦИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПАРОГЕНЕРАТОРОВ С РЕАКТОРАМИ ТИПА ВВЭР

А.Х. Аль-Самави, В.В. Евстигнеев, Г.Н. Лихачёва

К настоящему времени накоплен достаточно большой опыт работы парогенераторов АЭС. Анализ этого опыта показывает, что одним из способов повышения надёжности их работы является организация рационального водно-химического режима всего пароводяного контура. Последнее, в свою очередь, предполагает поддержание всех примесей в пароводяном контуре в растворённом состоянии, обеспечение минимальных скоростей коррозии конструкционных материалов и отсутствие отложений на теплопередающих поверхностях парогенератора.

В настоящее время водно-химические режимы классифицируют по корректирующим добавкам, дозируемым в воду при рабочих параметрах контура. Основным критерий выбора этих добавок - обеспечение минимальных коррозионных повреждений конструкционных материалов контура.

Основными факторами, влияющими на коррозионные процессы, являются следующие:

- 1) параметры водной среды, контактирующей с материалом (температура, давление, скорость, фазовый состав);
- 2) химический состав водной среды, контактирующей с материалом: pH, окислительно-восстановительный потенциал, содержание кислорода, других растворённых газов, хлорид и (или) фторид иона, общее солесодержание, наличие технологических добавок.

Поверхность материала, контактирующая с водной средой, характеризуется следующим:

- 1) наличием защитной пленки, механических повреждений, а также отложений;
- 2) теплофизическими характеристиками системы (тепловая нагрузка, электрические и магнитные поля);
- 3) конструктивными особенностями (вид материала, наличие стыков, щелей, застойных зон).

В разных компаниях эксплуатирующих парогенераторы АЭС разработаны и реализованы различные водно-химические режимы их контуров. В работе [1] анализируются различные водно-химические режимы АЭС. В частности, рассматриваются бескоррекционный, гидразинный, аммиачный, гидразинно-аммиачный водно-химические режимы. Все эти режимы не являются бесшламовыми, хотя последние три режима уменьшают коррозию конструкционных материалов конденсатно-питательного тракта и, следовательно, вынос продуктов коррозии в контур.

В воде второго контура парообразующей установки в результате упаривания и концентрирования примесей появляется коррозионный шлам, выпадающий в отложения преимущественно в местах с повышенной тепловой нагрузкой и вялой циркуляцией рабочего тела.

Таким образом, режимы, описанные в [1], не предотвращают железо-окисные и тем более кальциево-магниевые отложения.

Опыт эксплуатации парогенераторов западных фирм достаточно подробно изложен в [2,3]. Ведущие американские фирмы «Вестингауз Электрик» и «Комбасчн Инжиниинг» для предотвращения межкристаллитного коррозионного растрескивания напряженного металла парогенерирующих труб из сплава инконель-600 твердо придерживались концепции сильнофосфатного режима воды парогенератора.

Показатели качества воды	Вестинг ауз (США)	Комбасчн (США)	Крафт верк (ФРГ)
Общее соле-содержание, мг/кг	125	500	
РН ₂₅	8,5-10,6	9,8-10,2	8,8-9,5
Растворенный кислород, мг/кг	0,005	0,01	
Хлориды + фториды, мг/кг	75	Хлориды 75	Хлориды 1
Фосфаты (PO ₄ ³⁻), мг/кг	10-80	15-25	2-6

Фосфатирование воды не привело к ожидаемому предотвращению коррозии парогенерирующих труб, а, как показал опыт, ухудшило положение,

На некоторых станциях повреждение парогенерирующих труб приняло характер «эпидемии». Например, на американской АЭС «Полисайд» и японской АЭС «Михама» за несколько месяцев 1973 года коррозионные повреждения имели 2000 труб. Основное количество повреждений имело характер щелочного межкристаллитного растрескивания труб из сплава инконель-600 под напряжением, главным образом вблизи трубной доски, на которой скапливались довольно толстые слои рыхлых отложений шлама- окислов железа.

Специалисты германских фирм отказались от фосфатного режима при использовании менее высоконикелевого сплава инколой-800 [4]. Ими было принято решение заменить способ создания щелочности в воде парогенераторов с дозировки твердой щелочи (натрийфосфат) на летучее щелочное соединение (аммиак). Такой водный режим известен и имеет название AVT. Причинами, обусловившим подшламовую коррозию при фосфатном режиме, были:

- попадание продуктов коррозии в парогенераторы и их отложение в застойных зонах;
- насыщение отложений натрийфосфатом и солями, попадающими через протечки в конденсаторе,
- высокая температура теплоносителя в первом контуре и образование по этой причине паровых пузырьков на греющих трубках верхней половины трубной доски в зоне отложений.

Переход на режим AVT с регулярной промывкой парогенераторов и удалением отложений меди позволил повысить коэффициент теплопередачи до проектного уровня.

Мартыновой О.И. [5] названы вероятные причины резкого ухудшения массообмена между пограничным слоем и основным потоком воды, приводящего к глубокому упариванию и концентрации солей на поверхности труб:

- 1) серьезные нарушения циркуляции рабочего тела;
- 2) плохое омывание нагретых стенок труб в узких щелях между трубами и толстой трубной доской;

- 3) возможность глубокого упаривания воды в норах рыхлых отложении продуктов коррозии (например, магнетита).

Общей тенденцией для американских, французских, германских фирм к середине 70-х годов стал отказ от фосфатного и переход к аммиачно-гидразинному режиму при обязательной очистке турбинного конденсата [6].

Однако, применение этого режима, как уже указывалось, не предотвращает накопления образующихся во втором контуре продуктов коррозии. Во избежание этого процесса необходима дополнительная очистка питательной воды от продуктов коррозии или же такой водный режим, который гарантировал бы минимальные загрязнения циркулирующей воды продуктами коррозии [7].

Применение аустенитных сталей для поверхности нагрева, в частности стали 1X18H9T, вызвано высокой коррозионной стойкостью таких сталей. Это дает возможность обеспечить высокую чистоту воды первого контура, что необходимо для предотвращения отложений на тепловыделяющих элементах реактора.

Но аустенитные стали, содержащие хром и никель, обладают рядом недостатков, наиболее существенным из которых является их склонность к коррозии под напряжением в присутствии кислорода, усугубляемая наличием хлор-иона а составе примесей воды.

В связи с этим российскими исследователями разработаны рекомендации [8] по обработке воды первого контура, по которым в качестве основного водного режима выбран смешанный аммиачно-калиевый режим с бором. Для этого режима характерно введение аммиака с целью получения водорода, подавляющего радиолиз и введение КОН для повышения щелочности воды. Увеличение pH позволяет уменьшить скорость коррозии.

Для повышения коррозионной стойкости сталей используется метод комплексной обработки трилоном Б. Доказано [8], что периодическая пассивация с помощью ЭДТА в условиях любого водного режима способствует значительному повышению коррозионной стойкости как перлитных, так и аустенитных сталей.

В работе [9] приведены результаты обследований состояния водно-химического режима действующих АЭС с ВВЭР-1000. Эти обследования показывают, что нестабильное

поддержание водного режима II контура обусловлено следующими причинами:

присосы охлаждающей воды в конденсаторах турбин в несколько раз превышают гарантированное значение 0,001%;

из-за дефектов конструкции двухпоточных ФСД конденсатоочистки и схемных решений включения БОУ в состав турбоустановки невозможно обеспечить обессоливание 100% турбинного конденсата при необходимой глубине очистки.

Отсутствие специальных смол для высокоскоростных (до 100 м/ч) фильтров конденсатоочистки, неудовлетворительная разделяемость шихты, низкая механическая прочность ионитов, приводит к заметному измельчению выносу ионов пыли в парогенератор, где она подвергается термолизу с образованием щелочных или кислых продуктов.

С декабря 1990 года на действующих АЭС изменены нормы водного режима второго контура, и предусмотрено повышение pH_{25} питательной воды до 9,0 единиц. Благодаря этому несколько снижена концентрация железа в питательной воде с 20-30 мкг/кг до 15 мкг/кг, однако, проблемы поддержания качества продувочной воды при этом не могли быть решены.

Для повышения надежности водного режима авторами статьи [9] рассмотрены методы коррекции качества теплоносителя. В частности, приведены результаты опытно-промышленных испытаний водного режима с дозированием пленкообразующего поверхностно-активного амина-октадециламина (ОДА) в питательную воду. Установлено, что режим с дозированием ОДА может быть использован для предохранительной консервации. Для парогенератора же можно ожидать в лучшем случае некоторого снижения скорости образования отложений на трубном пучке.

Нейтрально-кислородный водный режим положительно влияет на конденсатно-питательный тракт, однако надежность работы аустенитных трубок парогенератора уменьшается.

При кратковременных нарушениях водного режима (по значению pH) целесообразно, по мнению российских исследователей, применять коррекционную обработку котловой воды; ввод борной кислоты при отклонениях pH в щелочную область и фосфатирование при отклонениях в кислую область.

Даже при создании высокоплотных конденсаторов с применением трубок из нержавеющей стали и титана нет оснований отказываться от установки 100% конденсатоочистки. Для повышения эффективности и надежности работы КО особое внимание следует уделить выбору фильтрующих материалов.

Большинство западных фирм кладут в основу гидразинно-аммиачный режим (США, Япония, Германия, Англия, Швеция). При этом необходимо поддерживать высокие значения pH, что предполагает отсутствие в тракте сплавов на основе меди. Наиболее тщательно все особенности гидразинно-аммиачного режима отработаны японскими специалистами. Они установили, что накопление гидратной щелочи в условиях глубокого местного упаривания представляет для инконеля большую опасность, чем кислая среда. Если щелочность оказывается выше допустимой, то в качестве контрмеры японские специалисты рекомендуют для защиты металла дозирование борной кислоты.

Исследованиями ВНИИАЭС определено, [10] что на энергоблоках АЭС с ВВЭР основной вклад в общую загрязненность питательной воды железо-окисными соединениями вносит коррозия оборудования по водной стороне. На аналогичных зарубежных АЭС с PWR загрязненность питательной воды продуктами коррозии определяется в основном коррозионным износом оборудования с паровой стороны.

Снижение концентрации железа, поступающего с питательной водой в парогенератор, может быть достигнуто путем повышения значения pH в питательном тракте.

В стационарном режиме работы энергоблока эффективность очистки основного конденсата от железо-окисных соединений на ФСД БОУ не превышает 50%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мамет А.П., Мамет В.А., Пашевич В.А., Назаренко П.Н. О некоторых перспективных ВХР АЭС с реакторами типа ВВЭР и РБМК. Электрические станции. -1982. - №7.
2. Fltnchr W.D., Picone L.F. Secondary water treatment of PWR steam generators. Труды 33-й Международной водной конференции. Питтсбург, 1972.
3. Gabrielly F., Kurpen G.J. Secondary cycle chemistry control for a pressurized water reactor. Труды 34й Американской Энергетической конференции. Чикаго, 1972.

4. Перевод водно-химического режима второго контура ВВЭР с фосфатного на высокощелочной. Атомная энергетика за рубежом. 1988. Вып.8.
5. Стырикович М.А., Мартынова О.И. Некоторые вопросы генерации пара на двухконтурных АЭС. Теплоэнергетика. - 1974. - №6.
6. Мартынова О.И. К вопросу о водном режиме парогенераторов двухконтурных АЭС (PWR) в США и Западной Европе. Теплоэнергетика. - 1977. - №8.
7. Маргулова Т.Х. Оптимизация водного режима вторых контуров АЭС с ВВЭР. Теплоэнергетика.- 1974. - №7.
8. Маргулова Т.Х., Воронова В.П., Дик В.П. Исследования коррозии сталей в условиях первых контуров ВВЭР. Теплоэнергетика.- 1974. - №2.
9. Мартынова О.И., Мамет В.А. Проблемы выбора ВХР II контура ВВЭР-1000. Теплоэнергетика.- 1991. №7.
10. Быкова В.В., Ерпылева С.Ф., Мамет В.А., Тяпков В.Ф., Распределение продуктов коррозии в пароводяном тракте энергоблока с ВВЭР-1000 при гидразинном водном режиме. Теплоэнергетика.- 1991. №7.