

УДК 621.311.25

## ВЕДЕНИЕ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА II КОНТУРА С ДОЗИРОВАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ АМИНОВ (МОРФИНА И ЭТАНОЛАМИНА) НА АЭС С ВВЭР-1000

Струй Е.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Чиж В.А.

Ввод в эксплуатацию в 2018 г. Белорусской АЭС уже сейчас ставит вопрос обоснованного выбора оптимального водно-химического режима I и II контуров энергоблока ВВЭР-1000. Отсутствие своего опыта эксплуатации АЭС требует тщательного изучения зарубежных аналогов.

Надежность работы любого элемента теплоэнергетического оборудования определяется взаимным влиянием трех факторов:

- конструкцией аппарата;
- конструкционными материалами;
- водно-химическим режимом (коррозионная агрессивность теплоносителя).

Водно-химический режим АЭС является одним из важнейших факторов, влияющих на надежность, экономичность и безопасность эксплуатации. Создание и поддержание таких физико-химических свойств теплоносителей, которые способствовали бы предотвращению коррозионных повреждений конструкционных материалов оборудования и образования отложений на его поверхностях, – актуальная проблема и в настоящее время. Водно-химический режим должен быть организован таким образом, чтобы обеспечивались целостность защитных барьеров (оболочек ТВЭЛов и границ контура теплоносителя), выполнения требований к радиационной безопасности, а также надежности работы оборудования второго контура.

Важнейшими задачами организации оптимального ВХР II контура АЭС с ВВЭР являются:

- минимизация скорости коррозионно-эрозионного износа оборудования;
- повышение надежности работы оборудования;
- уменьшение выноса продуктов коррозии конструкционных материалов в парогенератор (ПГ).

Особенно сложная задача – подавление коррозии-эрозии оборудования, работающего в области влажного пара и двухфазных потоков. Поступление продуктов коррозии железа в питательную воду в основном из пароводяного тракта II контура.

Парогенератор не может быть отключен, он радиоактивен, закрыт теплоизоляцией, помещен в бокс, который расположен внутри герметичной оболочки. Свободный доступ к парогенераторам не возможен. Поэтому в ВХР II контура особое внимание уделяют парогенераторам.

Предотвращение коррозионного износа элементов II контура и, как следствие, уменьшение роста отложений на трубной системе парогенераторов во многом определяются организацией водно-химического режима II контура. Водородный показатель при рабочей температуре ( $pH_t$ ) – это основной параметр для предупреждения коррозии оборудования II контура. Скорость коррозии углеродистой стали, из которой выполнена значительная часть конденсатно-питательного тракта, влияют и другие факторы, такие как температура, качество рабочей среды и концентрация кислорода.

Многочисленными исследованиями показано, что при повышении водородного показателя  $pH$  от нейтрального до щелочных значений существенно уменьшается скорость эрозионно-коррозионного износа углеродистой стали, при увеличении  $pH_t$  от 6,31 до 6,82 (на единицу по отношению к точке нейтральности) при температуре рабочей среды 150 °С скорость коррозии стали снижается почти в 3 раза.

Сложность поддержания ВХР II контура на действующих АЭС с ВВЭР-1000 связана с использованием для оборудования и трубопроводов II контура различных конструкционных материалов. Это обстоятельство не позволяет поддерживать то значение рН, которое соответствовало бы минимуму скорости коррозии для каждого из них, и вынуждает идти на принятие некоторого «компромиссного» значения и вынужденного ВХР.

Наличие медьсодержащих сплавов в конденсатно-питательном тракте не дает возможности повысить рН питательной воды, чтобы уменьшить коррозию трубопроводов и оборудования из углеродистых сталей и тем самым избежать заноса трубчатки ПГ продуктами коррозии.

Основным недостатком существовавшего до 2005 г. на всех АЭС с ВВЭР гидразинно-аммиачного (ГАР) ВХР II контура является то, что поддержание рН питательной воды осуществлялось аммиаком, полученным в результате расположения гидразина. Из-за высокой летучести аммиака при дополнительном поступлении аминов сильных кислот во II контур  $pH_c = 5.7-6.2$  в объеме парогенераторов и в сепарате сепаратора-пароперегревателя (СПП) не обеспечивалось. Концентрация железа в питательной воде ПГ гидразинно-аммиачном ВХР составляла 10–12 мкг/дм<sup>3</sup>.

В 2005–2006 гг. на Ростовской и Балаковской АЭС с ВВЭР-1000 были внедрены соответственно морфолиновый и этаноламиновый водно-химические режимы II контура.

#### **Особенности морфолинового ВХР.**

При работе энергоблока в морфолиновом режиме получены следующие результаты:

- при стабильной работе энергоблока вывод железа с продувкой увеличился с 1 (при ГАР ВХР) до 7,3 количества железа, поступающего в ПГ с питательной водой;
- осаждение железа на теплообменной поверхности снизилось с 65 (при ГАР ВХР) примерно до 35 %.

Химический анализ отложений, отобранных с внутренних поверхностей ПГ со стороны II контура в 2005 и 2007 гг., показал, что по сравнению с ГАР при введении морфолинового ВХР доля оксидов меди в отложениях увеличилась почти в 2 раза (с 8,9 до 16,7 %). Это обусловлено снижением поступления железа в ПГ с питательной водой примерно на 60 %, а поступление меди осталось на прежнем уровне либо снизилось не значительно.

#### **Особенности этаноламинового ВХР.**

При внедрении этаноламинового ВХР:

- при стабильной работе энергоблока вывод железа с продувкой увеличился с 1 (при ГАР ВХР) примерно до 7 % количества железа, поступающего в ПГ с питательной водой;
- осаждение железа на теплообменной поверхности снизилось с 65 (при ГАР ВХР) примерно до 33 %.

При ведении этаноламинового ВХР наблюдается снижение процентного содержания меди в отложениях по всем контролируемым точкам. По теплообменной поверхности ПГ оно снизилось в 3,3 раза (со среднего значения 9,5 при ГАР до 2,9 %). При этом содержание железа увеличилось с 87,9 до 93 %.

Анализ работы БОУ при ведении морфолинового и этаноламинового режимов показал следующее:

- при ведении этих режимов и снижении концентрации железа в конденсате турбины целесообразно отключение электромагнитного фильтра (ЭМФ) блочно-обессоливающей установки (БОУ);
- работа фильтра смешенного действия (ФСД) БОУ в Н–ОН-форме обеспечивает эффективную сорбцию катионов и анионов;
- при одинаковом качестве ионообменных смол в загрузках ФСД и при одном и том же значении присосов охлаждающей воды в концентраторах объемы пропущенной воды через ФСД БОУ сопоставимы.

Анализ работы СВО-5 при ведении морфолинового и этаноламинового режимов показал следующее:

- при работе ниток СВО-5 в Н–ОН-форме наблюдается эффективная сорбция катионов и анионов;
- при введении морфолинового ВХР лимитирующим фактором длительности фильтроциклов ниток СВО-5 является обменная емкость анионита, при введении этаноламинового ВХР – обменная емкость катионита;
- объем пропущенной через СВО-5 при морфолиновом ВХР составил 70–110 тыс. м<sup>3</sup>, при этаноламиновом – 45–65 тыс. м<sup>3</sup>, т.е. в 1,7 раз меньше;
- для увеличения длительности фильтроциклов ниток СВО-5 в этаноламиновом ВХР целесообразно повышать объем катионита, изменяя загрузку одного анионитового фильтра, а в морфолиновом ВХР повышать объем анионита изменением загрузки катионитового фильтра.

В результате изучения опыта эксплуатации энергоблоков с гидразинно-аммиачным ВХР выявил следующие недостатки: сложность поддержания показателя рН питательной воды на уровне безопасным для конструкционных материалов оборудования, загрязнение теплоносителя оксидами железа и меди. Этих недостатков удалось избежать на Ростовской и Балаковской АЭС с ВВЭР-1000, когда на них были внедрены соответственно морфолиновый и этаноламиновый водно-химические режимы II контура.

#### Литература

1. Тяпков В.Ф. Ведение водно-химического режима II контура АЭС с ВВЭР на энергоблоках с отсутствием медьсодержащих сплавов // Теплоэнергетика. 2014. №7.
2. Тяпков В.Ф., Ерпылева С.Ф., Быкова В.В. Внедрение водно-химического режима II контура с дозированием органических аминов на АЭС с ВВЭР-1000 // Теплоэнергетика. 2009. №5.
3. Тяпков В.Ф., Шарафитдинов Р.Б. Состояние, основные проблемы и направления совершенствования водно-химического режима АЭС // Теплоэнергетика. 2007. №5.