

УДК 621.053

ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ ХИМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ВОДНОЙ ХИМИИ 2-ГО КОНТУРА АЭС С ВВЭР-1000

**В.Я. Козлов¹, И.Ю. Добровольская², В.Л. Михайловский³, М.А. Смалько³,
Е.Н. Письменный⁴**

¹ОП «Научно-технический центр» НАЭК «Энергоатом», г. Киев,

²ОП «Запорожская АЭС» НАЭК «Энергоатом», г. Энергодар,

³ООО «Энвитек», г. Киев,

⁴НТУУ «КПИ», г. Киев

Представлены анализ эффективности и оценка работоспособности различных анализаторов для химического контроля водно-химического режима 2-го контура АЭС с ВВЭР-1000, и даются рекомендации по применению приборов различных производителей.

Актуальность проблемы

Эффективность любой диагностической системы зависит от получения своевременной и достоверной информации, то есть работоспособности и чувствительности носителей технологической информации – анализаторов непрерывного контроля [1, 2]. Используемый в течение 15...20 лет на атомных электрических станциях (АЭС) с водородными энергетическими реакторами (ВВЭР) комплект анализаторов системы автоматического химического контроля водно-химического режима 2-го контура (ВХР-2) в составе автоматического кондуктометра АК-310, анализатора натрия рNa-201, рН-метра П-205, анализатора кислорода на основе талиевых патронов морально и физически устарел и неадекватно оценивает уровень ВХР-2 в условиях ужесточения норм химических показателей.

В связи с этим на АЭС возникла задача модернизации системы автоматического химического контроля водно-химического режима 2-го контура и создания на ее основе современной диагностической системы. Решение этой задачи невозможно без замены приборного парка водно-химического контроля.

Оценке эффективности различных анализаторов для химического контроля водно-химического режима 2-го контура АЭС и выработке рекомендаций по применению приборов различных производителей посвящена данная статья.

Решение задачи

Выбор новых анализаторов и опытная оценка их работоспособности для решения задачи модернизации системы автоматического химического контроля водно-химического режима второго контура и создания на ее основе современной диагностической системы проводился на энергоблоке № 5 Запорожской АЭС. Для этого был установлен комплект промышленных автоматических анализаторов фирмы “Swan” (Швейцария).

Комплект состоял из трех анализаторов:

- “SOLO Sodium” – автоматический анализатор для непрерывного измерения концентрации растворенного натрия (рис. 1);
- “FAM Oxytracе” – автоматический анализатор для непрерывного измерения концентрации растворенного кислорода (рис. 2);
- “FAM Deltacон pH” – автоматический анализатор для непрерывного измерения удельной электрической проводимости до и после Н-катионитового фильтра и расчет на основе их разности значений pH (рис. 2).



Рис. 1. Натример “SOLO Sodium” фирмы “Swan”



Рис. 2. Анализаторы фирмы “Swan”
(слева – “FAM Deltacон pH”;
справа – “FAM Oxytracе”)

Приборы “SOLO Sodium” и “FAM Oxytracе” были установлены на штатных точках контроля основного конденсата. Анализатор “FAM Deltacон pH” был установлен на точке контроля питательной воды парогенераторов. Анализаторы были установлены после существующих устройств подготовки проб в помещении датчиков химического контроля ДК 1905. Значения измеряемых параметров выводились на многоканальные регистраторы типа РП 160-14АД, установленные в панели щита автоматического химического контроля. Используемые анализаторы одновременно с контролем основных химических параметров выполняют функцию контроля расхода и температуры проб.

Вышеуказанный комплект анализаторов успешно прошел метрологическую аттестацию в Украинском государственном научно-производственном центре стандартизации, метрологии и сертификации (УкрЦСМ).

Организация и методика проведения опытной эксплуатации

Опытная эксплуатация анализаторов проводилась согласно разработанной совместно специалистами Запорожской АЭС и ООО “Энвитек” “Программ № 17-27” в период с 01.03.2002 г. по 20.05.2002 г. В ходе опытной эксплуатации решались следующие задачи:

- оценка достоверности параметров, измеренных анализаторами фирмы “Swan” путем сравнения их с показаниями штатных лабораторных и автоматических приборов химического контроля;

- метрологическая оценка работы анализаторов в условиях эксплуатации на ЗАЭС;

- оценка эксплуатационных затрат при обслуживании анализаторов по трудозатратам и стоимости расходных материалов к ним.

Кроме вышеперечисленных эксплуатационных и метрологических задач в период опытной эксплуатации рассматривались также следующие технологические аспекты:

- количественная оценка определения источников поступления кислорода в основную конденсат на основании показаний кислородомера “FAM Oxytrace”;

- оценка возможности использования автоматического анализатора концентрации растворенного натрия “SOLO Sodium” для оперативной диагностики протечек конденсатора турбины по охлаждающей воде и поступлению солевых примесей в конденсатор с потоками рабочих сред второго контура (конденсата греющего пара ПСВ, конденсата дренажных баков, обессоленной воды);

- оценка возможности использования расчетных значений pH, полученных с помощью анализатора “FAM Deltacon-pH”, для коррекции параметров рабочей среды добавками гидразина и морфолина.

В процессе решения поставленных эксплуатационных задач в течение всего периода опытной эксплуатации в первую очередь производилось оценка достоверности параметров, измеренных автоматическими анализаторами фирмы “Swan”, путем сравнения их с результатами штатного лабораторного и автоматического контроля (см. рис. 2). Дополнительно выполнялись анализ эксплуатационных затрат и метрологическая оценка проверяемого оборудования.

Показания анализатора “FAM Deltacon-pH” сравнивались с показаниями автоматического кондуктометра АК-310 и результатами лабораторного химического контроля, полученными на приборе ЭВ-74 с использованием ионселективного электрода ЭСЛ-43-07. Аналогично показания анализатора растворенного натрия “SOLO Sodium” сравнивались с результатами лабораторного химического контроля, полученными на штатном приборе ЭВ-74 с использованием ионселективного электрода ЭС-10-07. Показания анализатора кислорода “FAM Oxytrace” сравнивались с показаниями аналогичного по классу автоматического кислородомера модели 9182 фирмы “Polymetron”.

Результаты опытно-промышленных испытаний анализаторов фирмы “SWAN”

Весь комплект приборов обладает высокой чувствительностью и возможностью автоматического переключения диапазонов, что очень важно при контроле динамических изменений водно-химического режима при переходных процессах.

Кроме этого приборы также имеют функцию выбора характера температурной компенсации: линейной, нелинейной и нелинейной с учетом наличия в контролируемой среде добавок (гидразин, морфолин и др.), что дает возможность подобрать оптимальный ее вид для различных условий ведения режимов ВХР-2.

Примером может служить факт увеличения разницы в показаниях анализаторов "FAM Deltacon-pH" и АК-310 при измерении электропроводности в период апреля-мая месяцев. Это объясняется неэффективной работой температурной компенсации прибора АК-310 при повышении температуры пробы от 28 до 35 °С в этот период, что приводит к значительному дрейфу нуля и к росту ошибки в показаниях этого прибора. На это указывает и многолетний опыт наблюдений характерных сезонных изменений показаний этого прибора.

В результате анализа чувствительности и достоверности работы приборов следует отметить очень малый дрейф нуля анализатора "FAM Oxytrac". Так, за период опытной эксплуатации дважды выполнялась сатурация датчика "FAM Oxytrac". В обоих случаях калибровка датчика не понадобилась. Чего нельзя сказать о прототипе – модели 9182 фирмы "Polymetron".

Результат такого явления виден из графиков, представленных на рис. 3, по завышенным показаниям этой модели при одинаковом характере изменений полученных графиков измеренных параметров. После выполнения калибровки показания обоих приборов опять совпадали на определенный промежуток времени, после чего снова наблюдалось увеличение расхождения показаний.

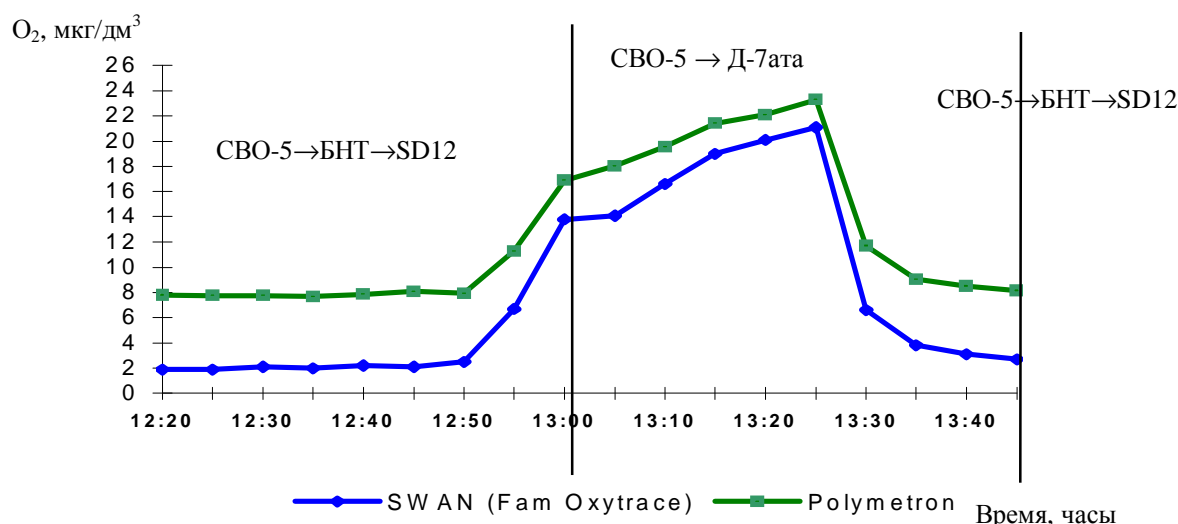


Рис. 3. Динамика показаний автоматических анализаторов содержания кислорода фирм "Swan" и "Polymetron", установленных на основном конденсате энергоблока № 5, при переводе потокоочищенной продувки парогенераторов после установки CBO-5 в деаэрактор Д – 7 ата или бак низких точек (БНТ)

Заложенный алгоритм расчета значений рН по разнице измерений удельной электрической проводимости до и после Н-катионитового фильтра – ΔХ в приборе "FAM Deltacon-pH" обеспечил полное совпадение рассчитываемых значений рН с показаниями лабораторного прибора ЭВ-74, использующего потенциометрическую ячейку с ион-селективным электродом ЭСЛ-43-07. Кроме того, возможность расчета значений рН питательной воды парогенераторов позволяет исключить проблемы и ошибки, связанные со сложностью эксплуатации штатных электрохимических ячеек, получения и сохранения стабильности буферных растворов для калибровки рН-электродов.

Следует отметить, что периодическая метрологическая поверка вышеуказанного комплекта приборов полностью обеспечена методиками поверки, разработанными и утвержденными УкрЦСМ. За весь период опытной эксплуатации все приборы показали

высокую надежность в работе, замечаний со стороны персонала атомной станции по техническому обслуживанию и достоверности показаний не было.

В процессе опытно-промышленной эксплуатации приборов были оценены и рассчитаны годовые трудовые затраты на проведение их технического обслуживания, которые составили:

- для анализатора “FAM Deltacon pH” – 6 часов;
- для анализатора “FAM Oxytrace” – 12 часов;
- для анализатора “SOLO Sodium” – 24 часа.

Анализатор кислорода “FAM Oxytrace”, при еженедельном обслуживании требует только проверки расхода пробы, при ежемесячном обслуживании – выполняется проверки калибровочных параметров и при необходимости калибровка на воздухе. Через каждые полгода выполняется осмотр и очистка мембраны и электрода. Через год так же выполняется проверка состояния мембраны, электролита и электрода, а при необходимости производится замена мембраны и электролита, а также очистка проточной ячейки и электрода или его замена.

Для анализатора “FAM Deltacon pH” наряду с аналогичными для анализатора “FAM Oxytrace” процедурами проверки параметров калибровки и ее выполнения, осмотра, очистки и замены электродов выполняется процедура замены смолы в колонке.

Для анализатора “SOLO Sodium” еженедельно требуется выполнять процедуру проверки пузырьковой системы, пополнение контейнера реагентом, химическая очистка натриевого электрода и проведение его калибровки по одной опорной точке. При ежемесячном обслуживании выполняется только очистка натриевого электрода мягкой тканью и химическом способом с последующей калибровкой его по двум опорным точкам. Ежегодное обслуживание требует проверки состояния натриевого электрода и электрода сравнения с их заменой по необходимости, обслуживания проточной ячейки с очисткой, а при необходимости - частичная замена ее элементов.

При эксплуатации приборов требуются следующие расходные материалы и реагенты:

- для анализатора “FAM Oxytrace” - мембраны и электролит;
- для анализатора “FAM Deltacon pH” – смола в количестве 5,0 л в год для H-катионированного фильтра;
- для анализатора “SOLO Sodium” - реагент диизопропиламин в количестве 10...12 л в год для подготовки пробы, калибровочные растворы и раствор для химической очистки натриевого электрода (калибровочные растворы могут быть приготовлены в лаборатории станции).

При решении технологических задач определялась эффективность использования комплекта приборов для диагностики оборудования и оптимизации водно-химического режима 2-го контура в части своевременного определения и устранения источников поступления в рабочие среды кислорода, солевых примесей, своевременного обнаружения отклонений в работе оборудования турбинного отделения. Так, на основании точной и достоверной информации о содержании растворенного кислорода в рабочей среде, полученной от прибора “FAM Oxytrace”, определены основные источники поступления кислорода в конденсатный тракт и разработаны эффективные способы снижения его концентрации в рабочей среде.

В результате реализации целого комплекса технологических мероприятий удалось снизить уровень растворенного кислорода в основном конденсате с 30...35 мкг/дм³ до 2,0...10,0 мкг/дм³ и успешно отработать технологию морфолинового ВХР-2 на энергоблоках ЗАЭС [3].

При отработке морфолинового ВХР-2 определен количественный эффект влияния растворенного кислорода на значение электропроводности X_n потоков рабочей среды,

что подтвердило механизм окисления продуктов термолитза морфолина растворенным кислородом с образованием и накоплением во втором контуре уксусной и муравьиных кислот (рис. 4).

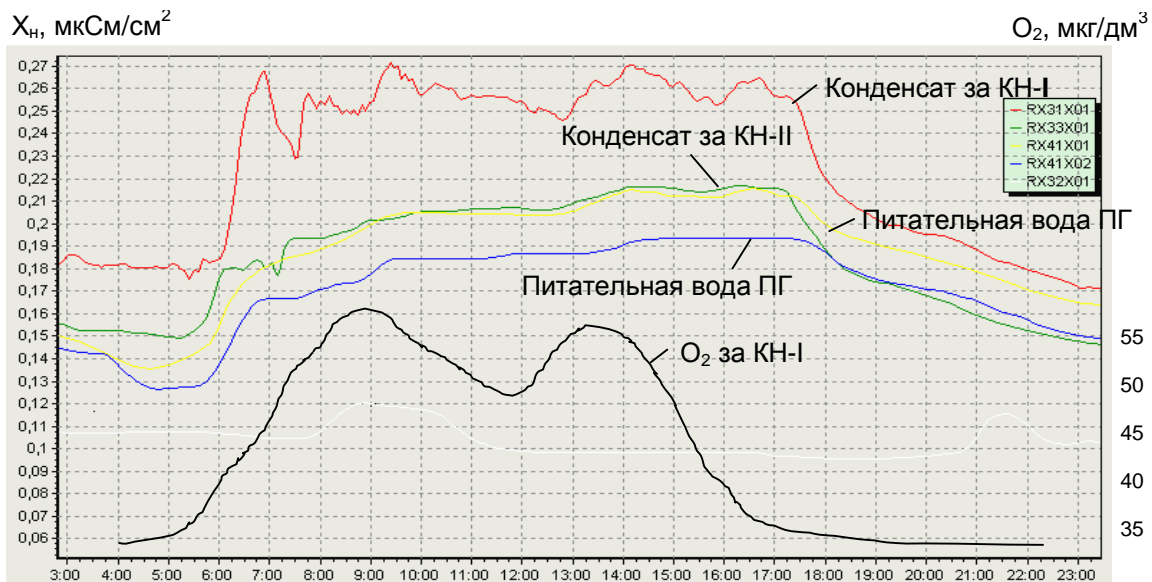


Рис. 4. Эффект влияния растворенного кислорода на электропроводность X_n конденсата и питательной воды при морфолиновом ВХР-2. Энергоблок № 5 30.11.2002

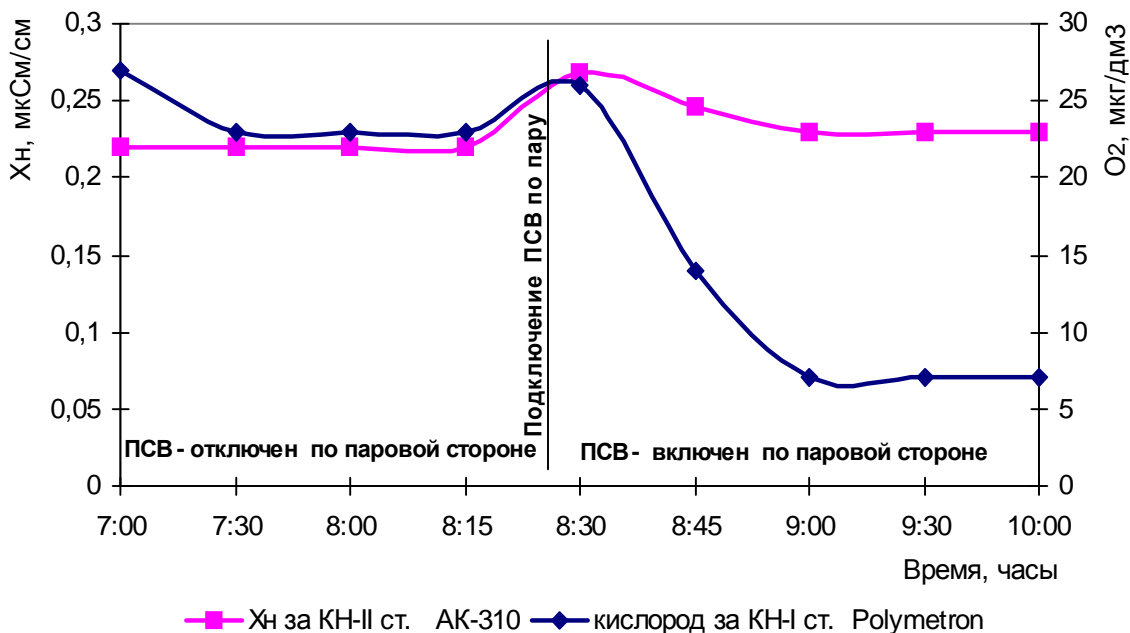


Рис. 5. Диагностика поступления присосов кислорода воздуха через арматуру сброса греющего пара подогревателей сетевой воды (ПСВ) в конденсатор турбины с использованием показаний анализатора кислорода “FAM Oxytrace”. Энергоблок № 5. 16.03.02 г.

Использование высокочувствительного анализатора “FAM Oxytrace” позволило также оценить влияние схем переключения основного оборудования и переходных режимов на изменение показателей водно-химического режима.

На рис. 5 представлено снижение растворенного кислорода в основном конденсате после подключения подогревателей сетевой воды (ПСВ) по паровой стороне, что указывает на неплотности отсекающей арматуры на линиях сброса конденсата греющего пара ПСВ в конденсатор турбины.

На рис. 6 зафиксировано влияние схемы сброса потока очищенной продувочной воды после установки СВО-5 на химические показатели основного конденсата, что указывает на возможный источник поступления кислорода в рабочую среду через дренажный бак.

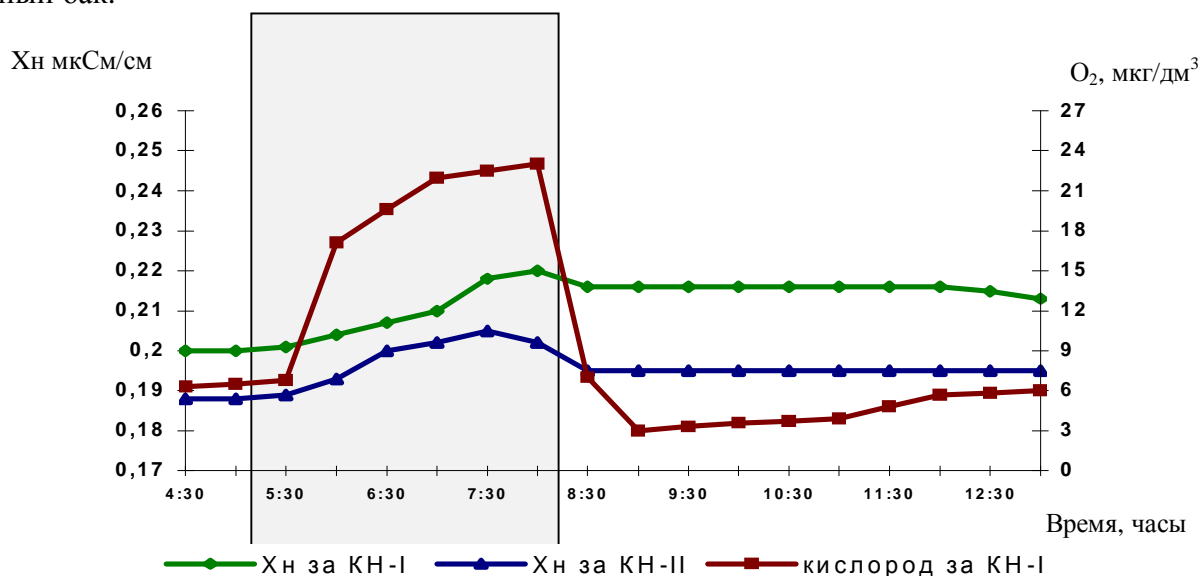


Рис. 6. Эффект влияния схемы перевода потока очищенной продувки после СВО-5 на показатели ВХР-2: 5³⁰ – перевод потока очищенной продувки после СВО-5 на деаэратор; 8⁰⁰ – возврат очищенной продувки после СВО-5 на дренажный бак

На рис. 7 показан в динамике эффект влияния концентрации кислорода на содержание гидразина в рабочей среде.

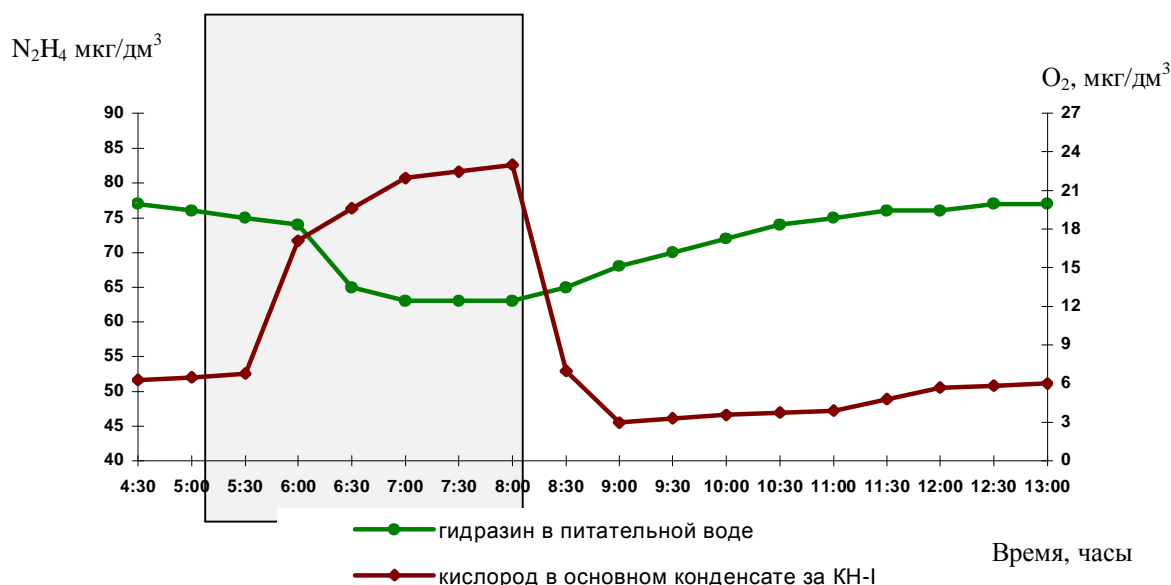


Рис. 7. Эффект влияния растворенного кислорода на содержание гидразина в рабочей среде

При этом следует отметить тот факт, что во всех рассмотренных технологических режимах применяемая параллельно методика определения растворенного кислорода с индикатором “метиленовым голубым” не зафиксировала изменения концентрации растворенного кислорода в диапазоне $0...25$ мкг/дм³ и устойчиво показывала значения кислорода в пределах 5 мкг/дм³.

При анализе работы анализатора “SOLO Sodium” было установлено, что он чувствительно реагирует на малейшие колебания измеряемой величины, начиная со значения $0,1$ мкг/дм³. Это позволило своевременно определить и устранить на энергоблоке АЭС поступление сетевой воды бойлеров в конденсатор турбины 29.04.2002 г. При этом штатный метод определения натрия с использованием ионоселективного электрода ЭС-10-07 в диапазоне измерений $1,0...2,0$ мкг/дм³ не реагировал на изменения концентрации натрия в рабочей среде.

Высокая точность расчетных значения рН питательной воды парогенераторов по ΔХ, выполненная анализатором “FAM Deltacon рН”, позволяет контролировать процесс дозирования коррекционных добавок – гидразина или морфолина - и управлять им.

Выводы

Комплект анализаторов фирмы “SWAN” является эффективным диагностическим инструментом для оптимизации водно-химического режима второго контура АЭС с ВВЭР в части своевременного определения и устранения источников поступления в рабочую среду кислорода, солевых примесей, своевременного обнаружения отклонений в работе оборудования турбинного отделения, что создает благоприятные условия для снижения коррозионно-эрозионного износа оборудования конденсатно-питательного тракта и уменьшения эксплуатационных затрат на обеспечение технологического режима.

Результаты опытной эксплуатации автоматических анализаторов фирмы SWAN на энергоблоке № 5 ЗАЭС показали:

- высокую надежность и простоту в эксплуатации с возможностью контроля температуры и расхода пробы;
- высокую чувствительность по определению растворенного кислорода и натрия в широких диапазонах;
- высокую точность расчета значения рН питательной воды парогенераторов по ΔХ при ведении гидразинно-аммиачного и морфолинового водно-химического режима 2-го контура.

На основании положительных результатов опытной эксплуатации анализаторов фирмы “SWAN” по эксплуатационным, метрологическим и технологическим требованиям целесообразно использовать в проекте создания системы диагностики ВХР-2 на АЭС с ВВЭР анализаторы фирмы “SWAN” на технологических позициях:

- анализатор “SOLO Sodium” для непрерывного измерения концентрации натрия в основном конденсате и продувочной воде парогенераторов с функциями диагностики плотности конденсаторов турбины, сетевых бойлеров, работы фильтров смешанного действия конденсатоочистки;
- анализатор “FAM Oxytrace” для непрерывного измерения растворенного кислорода в основном конденсате и питательной воды после деаэраторов с функциями диагностики плотности конденсационно-вакуумной системы и эффективности работы деаэраторов;
- анализатор “FAM Deltacon рН” для непрерывного измерения удельной электрической проводимости питательной воды парогенераторов (Х и Хн), а также расчета значения рН с функцией диагностики коррекционной обработки рабочей среды гидразином или морфолином.

**ВИБІР АВТОМАТИЧНИХ АНАЛІЗАТОРІВ ХІМІЧНОГО КОНТРОЛЮ
ДЛЯ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ВОДЯНОЇ ХІМІЇ 2-ГО КОНТУРУ АЕС
З ВВЭР-1000**

**В.Я. Козлов, І.Ю. Добровольська, В.Л. Михайловський, М.А. Смалько,
Є.М. Письменний**

Надані аналіз ефективності й оцінка працездатності різних аналізаторів для хімічного контролю водно-хімічного режиму 2-го контуру АЕС з ВВЭР-1000 і рекомендації щодо застосування приладів різних виробників.

**CHOICE OF AUTOMATIC ANALYZERS OF THE CHEMICAL CONTROL
FOR THE WATER CHEMISTRY DIAGNOSTICS SYSTEM OF THE WWER-1000
NPP 2-nd CONTOUR**

V. Kozlov, I. Dobrovolskaya, V. Mihailovsky, M. Smalko, E. Pismenny

The analysis of efficiency and estimation of various analyzers operability for the water-chemical operation regime control of the 2-nd contour of the WWER-1000 NPP are submitted. Recommendations as to devices application of various producers are given.

Список использованных источников

1. Маргулова Т.Х. Водные режимы тепловых и атомных электростанций / Т.Х. Маргулова, О.И. Мартынова. – М.: Высш. шк., 1987. – 319 с.
2. Гончарук В.В. Водно-химическая технология ядерных энергетических установок и экология: справочник / В.В. Гончарук, Э.Б. Страхов, А.М. Волошинова. – К: Наукова думка, 1993. – 488 с.
3. Отчет по оптимизации технологии ведения водно-химического режима 2 контура на энергоблоках ОП ЗАЭС в период 2002 - 2003 гг. – 7 с.

Надійшла до редакції 27.05.10 р.

УДК 621.039.577

**К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ
ОБРАЗЦОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ ИЗ КОРПУСНЫХ СТАЛЕЙ**

И.Н. Лаптев

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»

На основе развитого в предыдущих работах метода фазовых диаграмм мартенситных превращений (ФДМП) предложен новый подход к определению температуры хрупко-вязкого перехода корпусных сталей. Показано, что для однозначного описания деформационно-напряженного состояния корпусов достаточно знать температуру и степень тетрагональности кристаллической решетки материала.