

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038887**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.11.02

(51) Int. Cl. **G21C 17/022 (2006.01)**

(21) Номер заявки
201992836

(22) Дата подачи заявки
2017.07.11

(54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ КОРРОЗИИ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОНТУРОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

(43) **2020.06.30**

(86) **PCT/RU2017/000472**

(87) **WO 2019/013661 2019.01.17**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНО-
КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
"АТОМПРОЕКТ" (АО
"АТОМПРОЕКТ"); АКЦИОНЕРНОЕ
ОБЩЕСТВО "НАУКА И
ИННОВАЦИИ" (АО "НАУКА И
ИННОВАЦИИ") (RU)**

(72) Изобретатель:

**Крицкий Владимир Георгиевич,
Прохоров Николай Александрович,
Николаев Федор Владимирович,
Стяжкин Павел Семенович,
Пинежский Станислав Олегович,
Атаманова Наталья Андреевна (RU)**

(74) Представитель:

Снегов К.Г. (RU)

(56) **RU-C1-2486613
US-A-5579354
US-A1-2002021778**

(57) Изобретение относится к способу управления скоростью коррозии оборудования технологических контуров атомных станций. В способе измеряют значения электрохимического потенциала конструкционного материала теплообменных трубок (ТОТ) и удельной электропроводимости продувочной воды парогенераторов, измеряют значения поляризационного сопротивления конструкционного материала трубопроводов конденсатно-питательного тракта и удельной электропроводимости питательной воды парогенераторов. Далее отображают значения электрохимического потенциала и удельной электропроводимости продувочной воды парогенераторов на двухпараметрической номограмме в соответствии с режимом эксплуатации. Значения поляризационного сопротивления и удельной электропроводимости питательной воды парогенераторов также отображают на двухпараметрической номограмме. В зависимости от нахождения точки в одной из зон двухпараметрических номограмм действий не предпринимают: либо проводят регулировку параметров теплоносителя, либо останавливают энергоблок. Техническим результатом является повышение надежности эксплуатации оборудования технологических контуров атомных станций, парогенераторов и трубопроводов за счет повышения эффективности контроля скорости коррозии конструкционных материалов конденсатно-питательного тракта и теплообменных трубок парогенераторов.

B1**038887****038887****B1**

Изобретение относится к ядерной энергетике, а именно к управлению надежностью оборудования конденсатно-питательного и парового трактов технологических контуров, в частности к оптимизации управления коррозионной агрессивностью рабочей среды и может быть использовано при эксплуатации атомных электростанций (АЭС) с оборудованием из малолегированных перлитных и хромоникелевых аустенитных сталей.

Атомные станции относятся к объектам повышенной технической сложности и опасности. Надежность эксплуатации оборудования конденсатно-питательного и парового трактов технологических контуров уделяется повышенное внимание. Стенки трубопроводов и оборудования технологических контуров, являющиеся физическими барьерами, а также технические и организационные меры по защите барьеров и сохранению их эффективности, предназначены обеспечивать надежность эксплуатации атомной станции. (НП-001-15 Общие положения обеспечения безопасности атомных станций <https://www.seogan.ru/np-001-15>). Во вторых контурах энергоблоков с реакторами типа ВВЭР (водяной энергетический реактор) или PWR (реактор с водой под давлением) барьерами безопасности являются стенки теплообменных трубок парогенераторов. Теплообменные трубки парогенераторов и подогревателей вторых контуров изготавливают из хромоникелевых сталей аустенитного класса, склонных к коррозионному растрескиванию под напряжением в условиях действия растягивающих напряжений и коррозионно-активной среды, содержащей в определенном количестве активаторы (анионы сильных кислот) и кислород. Трубопроводы и паропроводы вторых контуров изготавливают из прочных перлитных и малолегированных сталей, которые подвергаются воздействию рабочей среды, в том числе и по механизму коррозионного износа. Скорость коррозионного износа элементов трубопроводов и паропроводов вторых контуров зависит от состава сталей (содержание хрома, меди, молибдена) и характеристик рабочей среды (линейная скорость потока, значения pH, концентраций примесей и ингибиторов коррозии). Продукты коррозии трубопроводов и оборудования второго контура попадают в составе питательной воды в парогенераторы и отлагаются на теплопередающих поверхностях трубок. Концентрация продуктов коррозии железа в питательной воде влияет в процессе эксплуатации на интенсивность образования отложений окислов железа в парогенераторах и, соответственно, на надежность этого оборудования, (см. Томаров Г.В., Шипков А.А. "Эрозионно-коррозионный вынос железосодержащих соединений - источник отложений в парогенераторах АЭС с ВВЭР" // Теплоэнергетика, № 3, 2011, С. 55-61). Тенденцией развития атомной энергетики является сокращение времени на ремонты, увеличение межремонтных сроков и общего срока эксплуатации энергоблоков. В этих условиях востребована необходимость обеспечения заданной надежности оборудования (см. НП-096-15 Требования к управлению ресурсом оборудования и трубопроводов атомных станций. Основные положения. <https://www.seogan.ru/np-096-15>). Опыт эксплуатации вторых контуров реакторов ВВЭР показывает, что в парогенераторах происходит концентрирование примесей и продуктов коррозии, вызывающее изменение коррозионной агрессивности среды. Продукты коррозии и примеси аккумулируются, главным образом, на поверхностях с высоким тепловым потоком и в застойных гидродинамических зонах. В конденсатно-питательном тракте (КПТ) определяются основные характеристики водно-химического режима второго контура. В КПТ поступают все примеси, формирующие состав рабочей среды. Это компоненты охлаждающей конденсаторы воды (солевые примеси, карбонаты, бикарбонаты и кислород); солевые примеси в составе растворов ингибиторов коррозии (гидразин, аммиак, этаноламин); вода подпитки, содержащая солевые примеси, кислород, углекислоту и нейтральные хлорорганические вещества; подсосы воздуха через неплотности оборудования цилиндров низкого давления (кислород и углекислота). На современных атомных станциях подсосы охлаждающей воды составляют 0,00001 мас.% от расхода пара в конденсаторы. В количественном отношении это все очень небольшие значения. Поэтому при эксплуатации современных энергоблоков с плотными конденсаторами (трубчатки конденсаторов низкого давления изготовлены из нержавеющей сталей или титановых сплавов) расход турбинного конденсата через фильтры системы очистки турбинного конденсата может быть снижен. Учитывая, что в паровую фазу солевые и железистоокисные примеси переходят в ограниченных количествах, вывод примесей из рабочей среды второго контура (продукты коррозии железа и соли) происходит в парогенераторах в виде отложений на теплопередающих поверхностях и на фильтрах системы очистки продувочной воды. Из-за нелинейного воздействия теплофизических процессов, протекающих внутри парогенераторов, на примеси рабочей среды по показателям продувочной воды возможно неблагоприятное соотношение солевых примесей в питательной воде и высокие значения удельной электропроводимости α_H .

Известен способ оценки коррозионной стойкости и, соответственно, надежности оборудования (см. РД ЭО 1.1.2.11.0571-2015. Нормы допускаемых толщин стенок элементов трубопроводов из углеродистых сталей при эрозионно-коррозионном износе, <http://www.snti.ru/snips rd3.htm>), в соответствии с которым осуществляют в период останова энергоблоков оценку состояния стенок оборудования. Измеряют толщину стенок и степень сплошности стенок оборудования с использованием методов ультразвукового контроля (УЗК) и электромагнитных свойств, измеряют поверхностную электрическую и магнитную проводимость. Измеренное значение толщины s_{CT} стенки элемента трубопровода из углеродистой стали при равномерном и локальном эрозионно-коррозионном износе не должно быть меньше нормативного значения $[s]$ по неравенству: $s_{CT} \geq [s]$.

Недостатками известного способа контроля надежности оборудования являются невозможность осуществления контроля и, соответственно, управления скоростью коррозии в межремонтный период.

Известен способ управления качеством воды для атомной электростанции (см. патент US5398269, МПК G01C 19/307, C01D 01/00, G01C 03/08, опубликован 14.03.1995), включающий отбор проб из реакторной воды, измерение pH реакторной воды при комнатной температуре, измерение концентрации железа в питательной воде, измерение концентрации водорода в реакторной воде, поддержание концентрации железа в питательной воде ниже 0,05 ppb (0,05 частей на миллиард) путем увеличения степени удаления железа в системе очистки турбинного конденсата, поддержание pH реакторной воды ниже 6,8, определенный при комнатной температуре, путем введения в реакторную воду материала, образующего с водой кислотные ионы, например углекислого газа, или газообразного азота, или закиси азота, и поддержание концентрации растворенного кислорода в реакторной воде ниже 20 ppb, путем введения водорода в первый контур, посредством чего ионная концентрация ^{60}Co в первом контуре сохраняется длительное время.

Недостатком известного способа является использование углекислого газа для поддержания pH реакторной воды. Во втором контуре АЭС с ВВЭР или PWR углекислота является нежелательной примесью из-за связывания ею щелочных агентов, специально дозируемых в контур для повышения pH и минимизации скорости коррозии. Кроме того, в конденсатно-питательном тракте возможно образование малорастворимых карбонатов железа, кобальта, кальция и гидроксидов магния.

Известен способ уменьшения коррозии конструкционных материалов ядерного реактора (см. патент US8295426, МПК G21C 09/00, G21C 19/307, G21D 01/00, опубликован 23.10.2012), в соответствии с которым вводят в период останова ядерного реактора в реакторную воду раствор или суспензию вещества, генерирующего ток возбуждения в условиях ядерного реактора, и осаждают это вещество, например TiO_2 , ZrO_2 , ZnO , WO_3 , PbO , BaTiO_3 , Bi_2O_3 , SrTiO_3 , Fe_2O_3 , FeTiO_3 , KTaO_3 , MnTiO_3 , SnO_2 , Nb_2O_5 , на поверхность конструкционных материалов в количестве 10-200 мкг/см². Вводят в реакторную воду водород, выдерживая при этом концентрацию водорода в питательной воде в пределах (0,2-1,0) ppb, тем самым контролируя электрохимический потенциал (ЭХП или E_h) реакторной воды, который поддерживают в интервале от -0,4 В до -0,1 В относительно SHE (стандартного водородного электрода).

Недостатком известного способа уменьшения коррозии конструкционных материалов ядерного реактора является возможность управлением скоростью коррозии только сплава оболочек ТВЭЛ (тепловыделяющих элементов) и оборудования из нержавеющей сталей в кипящем реакторе и только за счет дозирования восстановителя - водорода, что ограничивает возможности способа.

Известен способ управления содержанием кислорода в технологическом контуре атомной электростанции (см. заявка CN104090592, МПК C02F 01/20, G05D 11/00, G21C 19/307, опубликована 08.10.2014), включающий формирование системы из последовательно соединенных емкости дегазации и контроля, насоса и технологического контура теплоносителя, подачу насосом обработанной инертным газом питательной воды в технологический контур теплоносителя, при этом продувку инертным газом продолжают до тех пор, пока измеренное содержание кислорода в емкости дегазации не станет меньше 1 об.%. Раствор гидразина вводят при пуске в объеме, определяемом путем расчета, для управления содержанием кислорода в воде технологического контура. Расход гидразина регулируют на основе результатов измерения содержания кислорода в воде технологического контура так, чтобы концентрация кислорода в воде технологического контура была меньше 0,1 мг/кг.

Недостатком известного способа является возможность его использования только на реакторах типа BWR (кипящий водный реактор), конденсатно-питательный тракт которых лишен деаэратора, что ограничивает его применение.

Известен способ мониторинга коррозии трубопровода (см. заявка RU2009117712, МПК G01N 17/00, опубликована 20.11.2010), заключающийся в том, что осуществляют сбор информации об основных технических и эксплуатационных параметрах трубопроводных систем, о характеристиках транспортируемых по трубопроводным системам агрессивных сред, о статистических данных по аварийности трубопроводной системы и данных по техническому диагностированию трубопроводной системы. Моделируют технологическую схему трубопроводной системы, используя всю вышеуказанную собранную информацию; определяют эксплуатационные напряжения трубопровода данной трубопроводной системы, используя созданную модель технологической схемы. Далее рассчитывают скорость коррозии трубопровода и определяют гидродинамический режим транспорта продукции трубопровода, используя определенные эксплуатационные напряжения трубопровода, профиль трассы трубопровода; подтверждают расчетную скорость коррозии трубопровода с помощью лабораторных методов. Ранжируют участки трубопровода по степеням риска скорости коррозии, используя результаты лабораторных методов. Располагают узлы контроля коррозии на коррозионно-опасных участках трубопроводов, используя определенные ранее степени риска, причем количество таких узлов коррозии зависит как от количества таких коррозионно-опасных участков, так и от их протяженности. Выбирают средства измерения коррозии, зная вид коррозии, скорость развития коррозионных дефектов и гидродинамический режим транспорта продукции трубопровода; применяют устройства мониторинга коррозии трубопровода в зависимости от средств измерения коррозии. Формируют карту замеров скорости коррозии трубопровода и коррозионной агрес-

сивности среды с указанием периодичности замеров, используя устройства мониторинга трубопровода и средства измерения коррозии. Измеряют параметры среды на основании карты замеров; синхронизируют измеряемые параметры среды с единой системой часов реального времени. Проводят непрерывный мониторинг коррозии трубопровода с помощью вышеуказанных технических средств измерения.

Известный способ при переносе на другой объект требует дополнительной разработки модели коррозионных процессов и верификации ее для конкретного случая. Кроме того, данный способ ограничен только мониторингом коррозии и не предусматривает управление скоростью коррозии или выдачу рекомендаций по управлению скоростью коррозии по результатам анализа. В известном способе не регламентируется химический режим эксплуатации трубопровода и, соответственно, отсутствуют средства его поддержания в заданных оптимальных пределах.

Известен способ управления скоростью коррозии оборудования технологических контуров атомных станций, в частности, с ядерным уран-графитовым реактором, совпадающий с настоящим техническим решением по наибольшему числу существенных признаков и принятый за прототип (см. патент RU 2486613, МПК G21C 11/00, опубликован 27.06.2013). Способ осуществляют путем измерения значений электрохимического потенциала при рабочей температуре и удельной электропроводимости при комнатной, последующего автоматического усреднения измеренных параметров и сравнения их с нормируемыми значениями, отображения значения электрохимического потенциала и удельной электропроводимости в виде точек на двухпараметрической номограмме с координатами "потенциал нержавеющей стали - удельная электропроводимость", разделенной на зоны А, В и С, характеризующие разные степени коррозионной агрессивности теплоносителя в соответствии с режимом эксплуатации. После оценки качества водно-химического режима проводят действия по оптимизации скорости коррозии: при нахождении координат точки: в зоне А никаких действий не производят; в зоне В проводят в течение регламентированного времени регулировку параметров теплоносителя путем настройки деаэраторов для снижения концентрации кислорода в питательной воде и снижения удельной электропроводимости в системах очистки воды, питательной и продувочной, подключают резервные фильтры со свежей или регенерированной смолами, а работавшие выводят на регенерацию, в зоне С производят останов энергоблока.

Недостатком способа-прототипа является то, что только измерений ЭХП нержавеющей стали в продувочной воде и оценки возможности образования питтингов в условиях переходных режимов или скорости подраста трещин недостаточно для эффективного управления скоростью коррозии трубопроводов конденсатно-питательных трактов вторых контуров АЭС с ВВЭР и PWR. Способ-прототип не учитывает влияние на надежность трубопроводов и оборудования конденсатно-питательного тракта концентрации в них продуктов коррозии железа, поступающих в парогенераторы и влияющих в процессе эксплуатации на интенсивность образования поверхностных отложений на теплообменных трубках, нелинейно связанной с тепловой нагрузкой.

Задачей настоящего технического решения является разработка такого способа управления скоростью коррозии, который бы обеспечивал повышение эффективности контроля скорости коррозии конструкционных материалов конденсатно-питательного тракта и повышение надежности эксплуатации оборудования технологических контуров атомных станций и, прежде всего, парогенераторов.

Поставленная задача решается тем, что способ управления скоростью коррозии оборудования технологических контуров атомных станций включает измерение значений электрохимического потенциала и удельной электропроводимости теплоносителя, автоматическое усреднение указанных параметров и сравнение их с нормируемыми значениями, отображение значений электрохимического потенциала и удельной электропроводимости на мнемосхеме экрана монитора в виде точек на двухпараметрической номограмме с координатами "электрохимический потенциал - удельная электропроводимость", оценку качества водно-химического режима и проведение действий, направленных на управление скоростью коррозии. Новым в способе является то, что измеряют значения электрохимического потенциала при рабочей температуре и удельной электропроводимости Н-катионированной пробы продувочной воды парогенераторов. Одновременно измеряют значения поляризационного сопротивления при рабочей температуре и удельной электропроводимости Н-катионированной пробы питательной воды парогенераторов. Значения электрохимического потенциала (E_h) и удельной электропроводимости (α_{nh}) Н-катионированной пробы продувочной воды парогенераторов отображают в виде точек на двухпараметрической номограмме с координатами $E_h - \alpha_{nh}$, разделенной на зоны А, В, D, F, характеризующие разные степени коррозионной активности продувочной воды парогенераторов в соответствии с режимом эксплуатации. Значения поляризационного сопротивления (R_p) и удельной электропроводимости (α_{nh}) Н-катионированной пробы питательной воды парогенераторов отображают в виде точек на двухпараметрической номограмме с координатами $R_p - \alpha_{nh}$, разделенной на зоны G, Y, X, Z, характеризующие разные степени коррозионной активности питательной воды парогенераторов в соответствии с режимом эксплуатации. При нахождении координат точек в зонах А и G действия не производят. При нахождении координат точек в зонах А и Y проводят в течение регламентированного времени регулировку параметров продувочной воды парогенераторов. Зоны А и G соответствуют коррозионному состоянию оборудования при параметрах качества водно-химического режима, обеспечивающих надежную и безопасную эксплуатацию технологических контуров АЭС. Зоны В, D, F для продувочной воды и Y, X, Z для пита-

тельной воды соответствуют зонам уровней действий, которые необходимо производить по достижении установленных значений концентрации нормируемых примесей в рабочей среде по СТО 1.1.1.03.004.0979-2014 "Водно-химический режим второго контура при вводе энергоблока атомной электростанции проекта АЭС-2006 в эксплуатацию. Нормы качества рабочей среды и средства их обеспечения", ОАО "Концерн "Росэнергоатом" (http://www.snti.ru/snips_rd3.htm). При нахождении координат точек в зонах В и У проводят в течение регламентированного времени регулировку параметров питательной воды парогенераторов. При нахождении координат точек в зонах Д или F и X или Z проводят в течение регламентированного времени поиск и устранение причин, вызвавших отклонения параметров, а при невозможности их устранения проводят останов энергоблока для проведения компенсационных мероприятий.

При нахождении координат точек в зонах А и У регулировку параметров продувочной воды парогенераторов можно проводить путем увеличения ее расхода на (0,5-1,0) мас.% паровой производительности, проведения поиска и устранения причин, вызвавшей увеличение удельной электропроводимости $\alpha_{\text{НВ}}$.

При нахождении координат точек в зонах В и У регулировку параметров питательной воды парогенераторов можно проводить путем увеличения расхода через фильтры системы очистки турбинного конденсата, изменения расхода ингибиторов коррозии, изменения расхода продувочной воды.

В качестве ингибиторов коррозии можно вводить раствор гидразина, и/или раствор аммиака, и/или раствор органических аминов.

При нахождении координат точек в зонах Д или F и X или Z при останове энергоблока компенсационные мероприятия могут включать техническое обследование, ремонт или замену оборудования.

Настоящий способ управления скоростью коррозии основан на комплексной оценке рабочей среды путем совместного анализа положения точек с координатами (E_h , $\alpha_{\text{НВ}}$) и (R_p , $\alpha_{\text{НГ}}$) на обеих номограммах.

Настоящий способ в отличие от способа-прототипа управляет скоростью коррозии второго контура АЭС с ВВЭР и PWR, использует для оценки качества водно-химического режима (ВХР) и управления скоростью коррозии интегральные электрохимические показатели: ЭХП (E_h) в продувочной воде и поляризационное сопротивление (R_p) в питательной воде. Питательная и продувочные воды парогенераторов характеризуются различными ведущими механизмами коррозии конструкционных материалов. При оценке качества ВХР и выдаче рекомендаций по управлению скоростью коррозии используют совместно номограммы R_p - $\alpha_{\text{НГ}}$ питательной воды и E_h - $\alpha_{\text{НВ}}$ продувочной воды. Настоящий способ поясняется чертежами, где

на фиг. 1 показана двухпараметрическая номограмма с координатами E_h - $\alpha_{\text{НВ}}$ продувочной воды парогенераторов;

на фиг. 2 приведена двухпараметрическая номограмма с координатами R_p - $\alpha_{\text{НГ}}$ питательной воды парогенераторов;

на фиг. 3 приведена двухпараметрическая номограмма с координатами R_p - $\alpha_{\text{НГ}}$ питательной воды парогенераторов при первом варианте управления скоростью коррозии;

на фиг. 4 показана двухпараметрическая номограмма с координатами E_h - $\alpha_{\text{НВ}}$ продувочной воды парогенераторов при первом варианте управления скоростью коррозии;

на фиг. 5 приведена двухпараметрическая номограмма с координатами R_p - $\alpha_{\text{НГ}}$ питательной воды парогенераторов при втором варианте управления скоростью коррозии;

на фиг. 6 показана двухпараметрическая номограмма с координатами E_h - $\alpha_{\text{НВ}}$ продувочной воды парогенераторов при втором варианте управления скоростью коррозии.

В пределах настоящего изобретения способ управления скоростью коррозии оборудования технологических контуров атомных станций осуществляют следующим образом: рабочая среда поступает в автоматическом режиме из штатных точек отбора (перед фильтрами системы очистки продувочной воды парогенераторов и за группой подогревателей высокого давления питательной воды) в импульсные трубки к ячейкам датчиков измерения E_h продувочной воды и R_p питательной воды. Параллельно рабочая среда поступает в охладитель и при комнатной температуре проходит ячейки датчиков системы автоматического химического контроля (АХК): питательная вода за группой подогревателей высокого давления проходит ячейки датчиков удельной электропроводимости Н-катионированной пробы, pH_f и концентрации гидразина (N_2H_4); продувочная вода парогенераторов проходит ячейки датчиков удельной электропроводимости Н-катионированной пробы, pH_b и концентрации ионов натрия ($[\text{Na}]$), хлорида ($[\text{Cl}]$) и сульфата ($[\text{SO}_4]$). Сигналы датчиков поступают на вторичные преобразователи и далее уже в стандартизированном виде поступают в компьютер для расчетов значений перечисленных выше параметров. При этом производят усреднение измеренных значений электрохимических потенциалов, поляризационного сопротивления и других показателей АХК ($\alpha_{\text{НГ}}$, pH_f , $[\text{N}_2\text{H}_4]$, $\alpha_{\text{НВ}}$, pH_b , $[\text{Na}]$, $[\text{Cl}]$, $[\text{SO}_4]$); пересчет измеренных значений потенциалов рабочих электродов в единицы стандартного водородного электрода (SHE); формирование видеок кадров номограмм " R_p - удельная электропроводимость Н-катионированной пробы" питательной воды и "ЭХП - удельная электропроводимость Н-катионированной пробы" продувочной воды. Эффективную информационную поддержку оператора при оценке коррозионного состояния оборудования и принятия решений по управлению скоростью коррозии

осуществляют на основе сочетания прямых измерений в наиболее ответственных потоках контура (питательная и продувочные воды) с результатами расчетов по физико-химическим моделям распределения по контуру концентраций примесей рабочей среды и выдачи рекомендаций по возможным вариантам действий в зависимости от положений на номограммах точек с координатами R_p - α_{HF} питательной воды и E_h - α_{HB} продувочной воды. При нахождении координат точек в зонах А и G действия не производят. При нахождении координат точек в зонах А и Y проводят в течение регламентированного времени регулировку параметров продувочной воды парогенераторов. При нахождении координат точек в зонах В и Y производят в течение регламентированного времени регулировку параметров питательной воды парогенераторов. При нахождении координат точек в зонах D или F и X или Z производят в течение регламентированного времени поиск и устранение причин, вызвавших отклонения параметров, а при невозможности их устранения проводят останов энергоблока для проведения компенсационных мероприятий.

Средствами управления скоростью коррозии конструкционных материалов в случае выхода координат точек, характеризующих коррозионную активность рабочей среды, за пределы зон А и G являются: изменение концентраций ингибирующих реагентов путем регулирования расхода дозирования последних в питательную воду; изменение расхода рабочей среды через фильтры системы очистки турбинного конденсата при нарушении герметичности конденсаторной группы; изменение расхода продувки парогенераторов; изменение по необходимости плановых сроков отмывки, дезактивации и технического освидетельствования парогенераторов.

В частности, при нахождении координат точек в зонах А и Y регулировку параметров продувочной воды парогенераторов производят путем увеличения ее расхода на (0,5-1,0) мас.% паровой производительности, поиска и устранения причины, вызвавшей увеличение удельной электропроводимости χ_{HB} .

При нахождении координат точек в зонах В и Y регулировку параметров питательной воды парогенераторов проводят путем увеличения расхода через фильтры системы очистки турбинного конденсата продувочной воды, изменения расхода ингибиторов коррозии, изменения расхода продувочной воды. В качестве ингибиторов коррозии используют раствор гидразина и/или раствор аммиака, и/или раствор органических аминов.

При нахождении координат точек в зонах D или F и X или Z при останове энергоблока компенсационные мероприятия включают техническое обследование, ремонт или замену оборудования.

Настоящий способ управления скоростью коррозии оборудования технологических контуров атомных станций дает оператору возможность визуально оценить расположение точек, соответствующих текущему состоянию, относительно границ зон различной степени коррозионной агрессивности питательной и продувочной воды. Учитывая нелинейный характер границ зон (фиг. 1, фиг. 2) такая визуальная оценка способствует, при наличии отклонений и нарушений, определению кратчайшего расстояния от точки к границе зоны низкой коррозионной агрессивности (вектора необходимого воздействия).

Используя проекции вектора на оси обеих номограмм (прежде всего α_{HF} и α_{HB}), можно получить значения минимальных необходимых изменений контролируемых параметров для снижения коррозионной агрессивности рабочей среды. Организация эксплуатации пробоотбора, монтаж датчиков, преобразователей, арматуры, электрических сетей и сигнальных кабелей системы АХК производят на энергоблоках ЯЭУ по соответствующей технической документации. Прием данных на компьютер, расчет, архивация и передача информации операторам осуществляют с помощью специально разработанного программного обеспечения.

Показатели питательной воды в большей степени характеризуют значения концентрации железа. При повышенных значениях α_{HF} и пониженных R_p вынос железа и, соответственно, его концентрация выше. Это может быть связано с недостатком ингибитора (гидразина, аммиака, органического амина), увеличением содержания анионов сильных кислот и карбонатов или с неблагоприятным соотношением перечисленных компонентов (чаще при изменении мощности энергоблока). Показатели продувочной воды характеризуют, в основном, концентрации солей в непосредственной близости к теплообменным трубкам. Чем положительнее значение E_h и больше значение α_{HB} , тем больше солевых примесей удерживается в железоокисных отложениях на теплообменных трубках и тем выше агрессивность рабочей среды в парогенераторах и выше возможность образования питтингов и последующего коррозионного растрескивания под напряжением теплообменных трубок.

Конкретные примеры, показывающие эффективность использования настоящего способа при эксплуатации АЭС с ВВЭР-1200 при реализации процедуры оценки качества водно-химического режима по настоящему способу, приведены ниже.

Пример 1. На фиг. 3 и 4 показаны номограммы питательной и продувочной воды при эксплуатации энергоблока с ВВЭР-1200 на мощности. Условия эксплуатации следующие: расход конденсата через фильтры системы очистки турбинного конденсата составляет примерно 10 мас.% от расхода пара через конденсаторы - 340 т/ч; проектный присос охлаждающей воды через неплотности конденсаторной группы, 10^{-5} мас.% от расхода пара через конденсаторы, - 0,32 кг/ч; концентрация хлоридов в охлаждающей воде - 5259 мг/дм³, сульфатов - 530 мг/дм³ и, соответственно, поступление во второй контур солевых примесей в виде анионов сильных кислот составляет по хлоридам - 1687 мг/ч, по сульфатам - 170 мг/ч; суммарная продувка парогенераторов минимальная и составляет примерно 0,5 мас.% от паропроизводи-

тельности - 30 т/ч. Ввод ингибиторов коррозии осуществляют в соответствии с требованиями СТО 1.1.1.03.004.0979-2014 "Водно-химический режим второго контура при вводе энергоблока атомной электростанции проекта АЭС-2006 в эксплуатацию. Нормы качества рабочей среды и средства их обеспечения", ОАО "Концерн "Росэнергоатом" (http://www.snti.ru/snips_rd3.htm). Ингибиторами являются аммиак (25% водный раствор), гидразин и этаноламин. Фиг. 3 представляет собой двухпараметрическую номограмму с координатами "поляризационное сопротивление - удельная электропроводимость $\alpha_{\text{НН}}$ Н-катионированной пробы" питательной воды. Точка (1-0) с координатами (R_p , $\alpha_{\text{НН}}$) располагается в зоне G и свидетельствует о высоком качестве питательной воды, в частности концентрации анионов сильных кислот очень малы: хлориды - 1,11 мкг/кг, сульфаты - 0,14 мкг/кг, значение удельной электропроводимости Н-катионированной пробы, $\alpha_{\text{НН}}=0,069$ мкСм/см (значение удельной электропроводимости теоретически чистой воды равно 0,055 мкСм/см). Двухпараметрическая номограмма с координатами "электрохимический потенциал - удельная электропроводимость Н-катионированной пробы" продувочной воды парогенераторов для рассматриваемого случая приведена на фиг. 4. Точка (2-0) с координатами (E_h , $\alpha_{\text{НН}}$) находится в зоне В. Это обусловлено тем, что в результате упаривания в солевых отсеках парогенераторов концентрация хлоридов достигла значения около 128 мкг/кг, сульфатов - 20 мкг/кг. Значение $\alpha_{\text{НН}}$ при этом составляет 1,78 мкСм/см. Учитывая, что объем охлаждающей воды, поступающей из окружающей среды через неплотности оборудования (присосы), и, соответственно, концентрации солевых примесей в турбинном конденсате незначительны, увеличение расхода рабочей среды через фильтры системы очистки нежелательно. Рабочая среда, включая конденсат, содержит реагенты - ингибиторы коррозии, аммиак и этаноламин, концентрации которых превышают содержание солевых примесей более чем в тысячу раз. Фильтры системы очистки сорбируют все примеси и, в первую очередь, ингибиторы коррозии. В результате: рабочая емкость фильтров снижается, а в рабочую среду необходимо вводить дополнительное количество аммиака и этаноламина для поддержания требуемого качества водно-химического режима. В данных условиях целесообразнее увеличить расход продувки парогенераторов с 0,5 мас.% суммарной паровой производительности парогенераторов до примерно 1 мас.%, с 30 до 64 т/ч. После увеличения расхода продувочной воды до 64 т/ч положение точек на номограммах изменилось. Точка с координатами (R_p , $\alpha_{\text{НН}}$) заняла на номограмме фиг. 3 положение (1-1). При этом значения концентрации хлоридов стали 0,51 мкг/кг, сульфатов - 0,08 мкг/кг, значение $\alpha_{\text{НН}}$ - 0,062 мкСм/см. Точка с координатами (E_h , $\alpha_{\text{НН}}$) переместилась на номограмме фиг. 4 в зеленую зону в положение (2-1). При этом значения концентрации хлоридов стали 32,7 мкг/кг, сульфатов - 5,18 мкг/кг, значение $\alpha_{\text{НН}}$ - 0,49 мкСм/см. Принимая во внимание высокое значение концентрации хлоридов в "солевых отсеках" (≥ 30 мкг/кг), дополнительно рекомендуется проведение следующего компенсирующего действия. При снижении мощности во время переходных режимов увеличить расход продувки на фильтры системы очистки продувочной воды до проектного максимума (140 т/ч) для выведения солевых примесей, переходящих в этих режимах из отложений в объем парогенераторов, для снижения возможности возникновения коррозионных дефектов в виде питтингов на теплообменных трубках.

Пример 2. На фиг. 5 и 6 показаны номограммы питательной и продувочной воды при эксплуатации энергоблока с ВВЭР-1200 на мощности. Условия эксплуатации следующие: расход конденсата через фильтры системы очистки турбинного конденсата составляет примерно 10 мас.% от расхода пара через конденсаторы - 340 т/ч; проектный присос охлаждающей воды через неплотности конденсаторной группы, 10^{-5} мас.% от расхода пара через конденсаторы, - 0,32 кг/ч; концентрация хлоридов в охлаждающей воде - 3143 мг/дм³, сульфатов - 363 мг/дм³ и, соответственно, поступление во второй контур солевых примесей в виде анионов сильных кислот составляет по хлоридам - 1008 мг/ч, по сульфатам - 117 мг/ч; суммарная продувка парогенераторов составляет примерно 1 мас.% от паропроизводительности - 64 т/ч. Ввод ингибиторов коррозии осуществляют в соответствии с требованиями СТО 1.1.1.03.004.0979-2014 "Водно-химический режим второго контура при вводе энергоблока атомной электростанции проекта АЭС-2006 в эксплуатацию. Нормы качества рабочей среды и средства их обеспечения", ОАО "Концерн "Росэнергоатом" (http://www.snti.ru/snips_rd3.htm). Ингибиторами являются аммиак (25% водный раствор), гидразин и этаноламин. Фиг. 5 представляет собой двухпараметрическую номограмму с координатами "поляризационное сопротивление - удельная электропроводимость $\alpha_{\text{НН}}$ Н-катионированной пробы" питательной воды. Точка 5 с координатами (R_p , $\alpha_{\text{НН}}$), характеризующая коррозионную активность питательной воды, располагается в зоне между G и Y в непосредственной близости к зоне Y. Концентрации анионов сильных кислот очень малы: хлориды - 0,31 мкг/кг, сульфаты - 0,06 мкг/кг, значение удельной электропроводимости $\alpha_{\text{НН}}$ Н-катионированной пробы - 0,22 мкСм/см. Двухпараметрическая номограмма с координатами "электрохимический потенциал - удельная электропроводимость $\alpha_{\text{НН}}$ Н-катионированной пробы" продувочной воды парогенераторов для рассматриваемого случая приведена на номограмме фиг. 6. Точка 6 с координатами (E_h , $\alpha_{\text{НН}}$) находится в части зоны А, примыкающей к зоне В. Контролируемые параметры продувочной воды солевых отсеков парогенераторов следующие: концентрация хлоридов - 19,7 мкг/кг, сульфатов - 4,2 мкг/кг. Значение $\alpha_{\text{НН}}$ при этом составляет 1,15 мкСм/см. Теоретический расчет значений удельной электропроводимости Н-катионированной пробы, учитывающий только контролируемые анионы, хлориды и сульфаты, дает следующие значения: $\alpha_{\text{НН}}$ - 0,0059 мкСм/см и $\alpha_{\text{НН}}$ - 0,28 мкСм/см. Совершенно очевидно, в рабочей среде технологического

контура имеются неконтролируемые солевые примеси. Наиболее вероятно наличие в этих примесях фторидов или карбонатов различного происхождения. Углекислота в контур может поступать: из воздуха в присосах вакуумной части турбины; в ходе термоллиза как органических аминов, так и нейтральных органических примесей, не задерживаемых фильтрами систем водоподготовки. Углекислоту нейтрализуют щелочными ингибиторами коррозии, поэтому она не удаляется в деаэраторах. Рекомендуются действия: увеличение расходов через системы очистки до максимально доступных; совершенствование герметизации турбинного оборудования; совершенствование систем водоподготовки; изоляция емкостей хранения подпиточной воды, а также планирование расширенного технического освидетельствования оборудования и трубопроводов контура с целью поиска участков коррозионного износа, превышающего нормированные значения.

Таким образом, использование настоящего способа на практике позволит реально повысить оперативность оценки коррозионной агрессивности теплоносителя в технологическом контуре энергоблока атомной станции и, соответственно, обеспечить повышение надежности эксплуатации оборудования технологических контуров атомных станций и, прежде всего парогенераторов, за счет своевременного проведения компенсирующих мероприятий. Кроме того, повышается достоверность определения длительности межконтрольного периода, что позволяет обосновать его увеличение и/или объема технического освидетельствования разных участков конденсатно-питательного тракта и парогенераторов при обеспечении установленного проектом уровня надежности и безопасности эксплуатации атомной станции.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

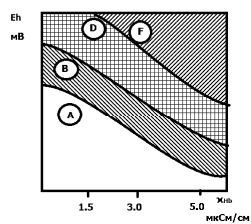
1. Способ управления скоростью коррозии оборудования технологических контуров атомных станций путем использования результатов измерения значений электрохимического потенциала и удельной электропроводимости водной среды, автоматического усреднения указанных параметров и сравнения их с нормируемыми значениями, отображения значений электрохимического потенциала и удельной электропроводимости на мнемосхеме экрана монитора в виде точек на двухпараметрической номограмме с координатами "электрохимический потенциал - удельная электропроводимость", оценки качества водно-химического режима и проведения действий, направленных на управление скоростью коррозии, отличающийся тем, что измеряют значения электрохимического потенциала и удельной электропроводимости продувочной воды парогенераторов, измеряют значения поляризационного сопротивления и удельной электропроводимости питательной воды парогенераторов, значения электрохимического потенциала и удельной электропроводимости продувочной воды парогенераторов отображают в виде точек на двухпараметрической номограмме с координатами "электрохимический потенциал - удельная электропроводимость Н-катионированной пробы" продувочной воды, разделенной на зоны А, В, D, F, характеризующие разные степени коррозионной активности продувочной воды парогенераторов в соответствии с режимом эксплуатации, значения поляризационного сопротивления и удельной электропроводимости питательной воды парогенераторов отображают в виде точек на двухпараметрической номограмме с координатами "поляризационное сопротивление - удельная электропроводимость Н-катионированной пробы" питательной воды, разделенной на зоны G, Y, X, Z, характеризующие разные степени коррозионной активности питательной воды парогенераторов в соответствии с режимом эксплуатации, при нахождении координат точек в зонах А и G действия не производят, в зонах А и Y проводят в течение регламентированного времени регулировку параметров продувочной воды парогенераторов, в зонах В и Y проводят в течение регламентированного времени регулировку параметров питательной воды парогенераторов, в зонах D или F и X или Z проводят в течение регламентированного времени поиск и устранение причин, вызвавших отклонения параметров, а при невозможности их устранения проводят останов энергоблока для проведения компенсационных мероприятий.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что при нахождении координат точек в зонах А и Y регулировку параметров продувочной воды парогенераторов проводят путем увеличения ее расхода на $(0,5-1,0)$ мас. % паровой производительности, поиск и устранение причины, вызвавшей увеличение удельной электропроводимости $\kappa_{\text{нв}}$.

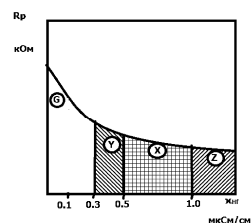
3. Способ по п.1, отличающийся тем, что при нахождении координат точек в зонах В и Y регулировку параметров питательной воды парогенераторов проводят путем увеличения расхода через фильтры системы очистки турбинного конденсата продувочной воды, изменения расхода ингибиторов коррозии, изменения расхода продувочной воды.

4. Способ по п.3, отличающийся тем, что в качестве ингибиторов коррозии используют раствор гидразина, и/или раствор аммиака и/или раствор органических аминов.

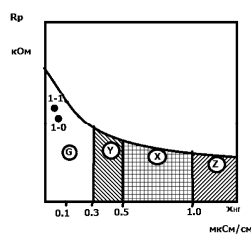
5. Способ по п.1, отличающийся тем, что при нахождении координат точек в зонах D или F и X или Z при останове энергоблока компенсационные мероприятия включают техническое обследование, ремонт или замену оборудования.



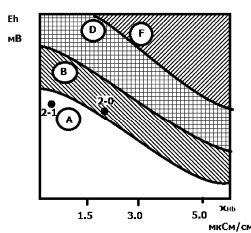
Фиг. 1



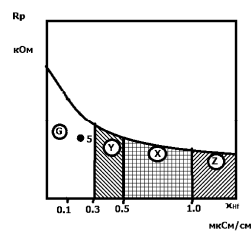
Фиг. 2



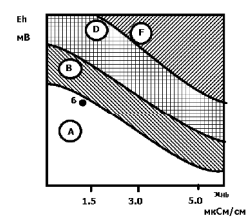
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2