

Введение

Актуальность работы: оптимизация процессов защиты от коррозии оборудования АЭС для обеспечения безопасности эксплуатации и надежности станции.

Цель работы: разработка комплекса мероприятий для повышения эффективности защиты технологического оборудования второго контура АЭС от коррозии, сокращения вероятности возникновения аварий и повышения безопасности эксплуатации АЭС.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучение принципов и механизмов коррозии технологического оборудования второго контура АЭС.

2. Анализ существующих методов защиты от коррозии и их эффективности.

3. Определение наиболее оптимальных методов защиты от коррозии.

4. Разработка рекомендаций по внедрению эффективных методов защиты от коррозии для технологического оборудования второго контура АЭС с целью повышения безопасности и надежности работы АЭС.

Проблема коррозии технологического оборудования является одной из самых актуальных в индустрии энергетики, особенно при эксплуатации атомных электростанций. Коррозия может привести к различным неисправностям и авариям, что существенно влияет на безопасность и эффективность АЭС.

Второй контур АЭС предназначен для охлаждения парогенератора и конденсации пара. Этот контур включает в себя разнообразное технологическое оборудование, которое подвержено воздействию различных условий, таких как температура, давление, влажность и многие другие. Все это

может вызвать появление коррозии, которая может привести к разрушению оборудования.

Для защиты технологического оборудования второго контура АЭС от коррозии используются различные методы и технологии. В их числе – налаживание контроля за состоянием оборудования, применение различных покрытий и материалов, использование ингибиторов коррозии и многие другие.

Структура выпускной квалификационной работы включает: сокращения, введение, три раздела (1 – Литературный обзор, 2 – Исследование коррозионной стойкости на 2-ом контуре АЭС, 3 – Рекомендации для проведения дополнительных мероприятий по защите оборудования 2-го контура АЭС), заключение и список использованных источников.

Основное содержание работы

В первом разделе работы «Литературный обзор» рассматриваются:

1. Технологическая схема АЭС и второго контура АЭС, принципы работы атомных станций на разных типах реактора;
2. Источники поступления примесей и виды коррозионных процессов во 2-ом контуре АЭС.

Проведенный теоретический обзор по теме исследования позволил сделать вывод о том, что современных условиях защита от коррозии является неотъемлемой частью успешной и безопасной деятельности АЭС.

Атомная электростанция — комплекс необходимых систем, устройств, оборудования и сооружений, предназначенный для производства электрической энергии. В качестве топлива станция использует уран-235. Наличие ядерного реактора отличает АЭС от других электростанций.

На АЭС происходит три взаимных преобразования форм энергии:

1. Ядерная энергия переходит в тепловую
2. Тепловая энергия переходит в механическую
3. Механическая энергия преобразуется в электрическую

В зависимости от типа реактора на АЭС могут быть 1, 2 или 3 контура работы теплоносителя. В России наибольшее распространение получили двухконтурные АЭС с реакторами типа ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор).

Тепловая схема каждого блока Балаковской АЭС двухконтурная:

Первый контур – радиоактивный

Состоит из одного реактора и четырех циркулярных петель охлаждения. Теплоносителем и одновременно замедлителем служит обычная (легкая) вода

с дозированным содержанием бора. Нагретая в реакторе вода направляется по четырем трубопроводам в парогенераторы. Давление теплоносителя первого контура поддерживается паровым компенсатором давления, подключенным к общей части контура.

Второй контур – не радиоактивный

Состоит из испарительной, водопитательной установок и одной турбоустановки с системой регенерации. Теплоноситель первого контура охлаждается в парогенераторах, отдавая тепло воде второго контура. Насыщенный пар, производимый в парогенераторах, по четырем паропроводам направляется к турбоустановке, приводящей во вращение генератор.

Источниками загрязнения рабочей среды второго контура являются:

- присосы охлаждающей воды через неплотности гидравлической части конденсаторов турбины, приводов питательных насосов, бойлеров теплосети и др.;
- присосы воздуха через неплотности вакуумной части конденсатного тракта;
- добавочная вода после водоподготовительной установки;
- конденсат дренажных баков;
- ионообменные материалы и продукты их деструкции, попадающие в тракт из фильтров конденсатоочистки;
- регенерационные растворы и отмывочные воды ионообменных установок при некачественной отмывке смол после регенерации;
- протечки турбинного масла через неплотности системы смазки;
- коррозия конструкционных материалов оборудования второго контура.

Машины и аппараты, изготовленные из металлов и сплавов, при эксплуатации в природных или технологических средах, подвержены коррозии. В основе этого взаимодействия лежат химические и электрохимические реакции, а иногда и механическое воздействие внешней среды.

Способность металлов сопротивляться воздействию среды называется коррозионной стойкостью или химическим сопротивлением материала.

Различают внутренние и внешние факторы коррозии. Внутренние факторы характеризуют влияние на вид и скорость коррозии природы металла (состав, структура и т.д.). Внешние факторы определяют влияние состава коррозионной среды и условий протекания коррозии (температура, давление и т.д.). Коррозионные процессы классифицируют:

- по механизму взаимодействия металлов с внешней средой;
- по виду коррозионной среды и условиям протекания процесса;
- по характеру коррозионных разрушений;
- по видам дополнительных воздействий, которым подвергается металл одновременно с действием коррозионной среды.

Во втором разделе «Исследование коррозионной стойкости на 2-ом контуре АЭС» произведен анализ основных факторов воздействия коррозии рабочей среды на оборудование второго контура, водно-химического режима, условий образования продуктов коррозии и механизм их поступления в котловую воду парогенераторов. Выполнен обзор блочной обессоливающей установки и основных конструкционных материалов.

Наличие кипящей воды со стороны 2-го контура создает условия для концентрирования примесей на парогенерирующих поверхностях. Остаточные примеси даже в чистой воде в течение определенного времени могут концентрироваться в результате кипения до коррозионно-агрессивного

раствора в зонах с ухудшенным массообменом, например, в щелях, в слое рыхлого шлама или под отложениями на поверхности трубок.

В конденсаторах турбины всегда возможны неплотности в соединениях конденсаторного корпуса с выхлопными патрубками турбины, в результате чего в конденсатор поступает определенная порция кислорода и угольной кислоты. В конденсаторы турбины подается также подпиточная (обессоленная) вода, которая так же насыщена кислородом и углекислотой.

Приток новых порций агрессивных веществ (кислорода, углекислоты, ионов хлора, сульфатов и др.) с присосами охлаждающей воды и воздуха создает благоприятные условия для протекания процесса коррозии трубных систем конденсаторов и оборудования всего конденсатно-питательного тракта.

Потеря плотности трубной системы конденсаторов и попадание циркуляционной воды в основной конденсат приводит к ухудшению ВХР второго контура.

Как показывает опыт эксплуатации конденсаторов, основное количество повреждений конденсаторных трубок вызвано:

- потерей герметичности трубок из-за их износа в результате вибрации в зоне прохода через отверстия в промежуточных перегородках;
- низким качеством трубок и некачественной их вальцовкой.

Для повышения надежности эксплуатируемого оборудования на действующих АЭС важнейшей задачей организации оптимального ВХР второго контура АЭС является создание и поддержания таких физико-химических свойств теплоносителя, которые предотвращали бы коррозионные повреждения конструкционных материалов оборудования и образование отложений на его поверхностях.

Самой важной задачей ВХР второго контура с дозированием этаноламина на АЭС с ВВЭР-1000 является снижение скорости коррозионно-эрозионного износа оборудования, уменьшение выноса продуктов коррозии конструкционных материалов в парогенератор и повышение надежности его работы.

Водно-химический режим станции (ВХР) – это система организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение и поддержание норм качества водного теплоносителя и допустимого состояния внутренних поверхностей оборудования основного контура в целях достижения безаварийной и экономичной работы оборудования в течение проектного срока эксплуатации.

ВХР – комплекс мероприятий, направленных на обеспечение оптимальных водных режимов основного и вспомогательных контуров АЭС, чтобы обеспечить:

1. Безопасный уровень отложений теплопередающих поверхностях (СПП, ПНД, оболочки ТВЭЛ)
2. Коррозионную стойкость конструкционных материалов основного пароводяного тракта
3. Качество насыщенного пара, не вызывающего отложений в проточной части турбины.

Задачами ВХР 2-го контура являются:

1. борьба с отложениями в ПГ
2. снижение скорости коррозии всех конструкционных материалов.

Для выполнения поставленных задач ВХР 2-го контура должен обеспечивать:

1. минимальное количество отложений на теплообменной поверхности ПГ, в проточной части турбин и в конденсационно-питательном тракте
2. предотвращение коррозионных и коррозионно-эрозионных повреждений конструкционных материалов ПГ, оборудования и трубопроводов
3. низкое содержание кислорода в конденсате и питательной воде
4. стабильное содержание величины рН питательной воды.

Вывод солей и продуктов коррозии из конденсата турбины осуществляется на блочной обессоливающей установке.

Основными конструкционными материалами оборудования и трубопроводов второго контура, находящихся в контакте с теплоносителем, на АЭС с ВВЭР-1000 являются: углеродистая котельная сталь Ст.20 перлитного класса и аустенитная нержавеющая сталь типа 08X18Н10Т.

Котельная сталь Ст.20. Структура стали 20 представляет собой смесь перлита и феррита. В состав сплава входят углерод (С) - 0,17-0,24 %, кремний (S4) 0,17 0,37%, марганец (Mn) - 0,35-0,65 %, содержание меди (Cu) и никеля (Ni) допускается не более 0,25 %, мышьяка (As) - не более 0,08 %, серы (S) не более 0,4 %, фосфора (P) - 0,035 % Котельная сталь Ст.20 имеет наименьшую скорость коррозии при рН рабочей среды 9,3-9,7 ед.

Для трубной системы ПГ применена аустенитная нержавеющая сталь типа 08X18Н101, которая устойчива в окислительных, в том числе кислых (азотнокислой, хромовокислой и т.д.) и сильнощелочных средах

В третьем разделе выпускной квалификационной работы «Рекомендации для проведения дополнительных мероприятий по защите оборудования 2-го контура АЭС» был проведен обзор потенциально

возможных корректирующих агентов в виде органических аминов, выявлены их достоинства и недостатки; представлены рекомендации по совершенствованию коррозионной стойкости оборудования 2-го контура АЭС; предложены мероприятия по реализации поставленной цели.

Для эффективной борьбы с коррозией 2-го контура АЭС ВВЭР 1000 (1200) представляет собой рекомендуемый комплекс мероприятий:

1. Переход на этаноламиновый ВХР;
2. Использование оптимальных конструкционных материалов;
3. Глубокая очистка технологической воды;
4. Отказ от оборудования из меди и медьсодержащих сплавов.

Выполнение всех требований и рекомендаций позволит обеспечить безопасную и надежную работу станции на долгие годы.

Заключение

В заключении можно отметить, что защита от коррозии технологического оборудования второго контура АЭС является важным и необходимым условием для обеспечения безопасной и надежной работы атомных электростанций. Коррозия может вызвать существенные повреждения оборудования, что может привести к авариям и стойкому ущербу для станции и окружающей среды.

Для предотвращения коррозии следует использовать современные технологии и материалы, применять специальные защитные покрытия, регулярно проводить диагностику оборудования и защитных систем. Важно обучать персонал станции правильному использованию оборудования и выполнять его техническое обслуживание в строгом соответствии с рекомендациями производителей.

Самой важной задачей ВХР второго контура на АЭС с ВВЭР-1000 является снижение скорости коррозионно-эрозионного износа оборудования. Наиболее сложной задачей является подавление коррозии - эрозии оборудования, работающего в области влажного пара и двухфазных потоков. Эта область паро-водяного тракта второго контура обуславливает значительную долю поступления железа в питательную воду.

При аммиачно-гидразинном ВХР второго контура в связи с высоким коэффициентом распределения аммиака в паровой фазе, водная фаза пароводяной смеси имеет пониженное значение pH_t , что не обеспечивает необходимой защиты, стали и приводит к усиленной коррозии металла, соприкасающегося с водяной пленкой.

Опыт использования в качестве корректирующих добавок гидразингидрата показал, что поддержание величины pH питательной воды за

счет аммиака, полученного в результате разложения гидразина, не представляется возможным.

Таким образом, гидразинно-аммиачный водный режим, на втором контуре не являлся оптимальным и приводит к интенсивной коррозии оборудования.

На данный момент на всех АЭС с ВВЭР-1000 России применяется ВХР с использованием высших аминов (этаноламин, диметиламин и триэтаноламин).

При переходе на этаноламиновый режим, с поддержанием в питательной воде ПГ рН - 9,0-9,2, было достигнуто заметное снижение общей концентрации железа в питательной воде. Другим очевидным преимуществом было заметное уменьшение скорости накопления шлама в парогенераторах в течение кампании.

В новых проектах отсутствует оборудование из медьсодержащих сплавов, поэтому во втором контуре поддерживается аммиачно-этаноламиновый водно-химический режим с поддержанием в питательной воде ПГ рН - 9,5-9,7.

Таким образом, можно заключить, что защита от коррозии технологического оборудования второго контура АЭС – это сложная и многогранная проблема, решение которой требует совместных усилий многих специалистов и организаций. Однако, выполнение всех требований и рекомендаций позволит обеспечить безопасную и надежную работу станции на долгие годы.

Список использованных источников

1. Как работает АЭС? РОСАТОМ [Электронный ресурс]: URL: <https://www.rosatom.ru/about-nuclear-industry/powerplant/> (Дата обращения: 27.03.2023)
2. Маркин, А. С. Химические технологии на АС. Воднохимический режим 2-го контура с коррекционной обработкой рабочей среды этаноламином. // Личный архив А.М. Торгановой. – 53 л.
3. Хорошевская, Е. С. Коррозия как основная причина износа трубопроводов / Е. С. Хорошевская // Инженерные системы и городское хозяйство. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. — С. 310-315.
4. Акимов, С. П. Виды коррозии, методы защиты от коррозии технологического оборудования 2-го контура. // Личный архив А.М. Торгановой. - 25 л.
5. Акимов, С. П. Этаноламиновый водно-химический режим второго контура // Личный архив А.М. Торгановой. - 44 л.
6. Тяпков В.Ф., Ерпылева С.Ф. Водно-химический режим II контура АЭС с водоводяным энергетическим реактором // Теплоэнергетика. 2017. №5. С. 48-55.
7. Акимов А.М. Водно-химический режим второго контура АЭС с реакторами ВВЭР-1000: учеб. пособие / А.М. Акимов, С.А. Котельникова. – Севастополь: СевГУ, 2018. – 31 с. Тяпков, В. Ф.,

8. Пути совершенствования водно-химического режима второго контура АЭС с ВВЭР-1000 / А.В. Шутиков, В.Е. Савченко, Ю.М. Виграненко, В.А. Хрусталева // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312, № 2. – С. 39-43.
9. Томаров, Г. В., Шипков, А. А., Комиссарова, Т. Н. Локальная эрозия-коррозия сварных соединений трубопроводов энергоблоков АЭС: особенности механизма и предупреждение повреждений / Г. В. Томаров, А. А. Шипков, Т. Н. Комиссарова // Теплоэнергетика. — 2019. — № 2. — С. 76-86.
10. Писаревский, Л. А., Коростелев, А. Б., Липатов, А. А., Филиппов, Г. А., Кин, Т. Ю. Локальная коррозия аустенитных сталей и сплавов для теплообменных труб парогенераторов АЭС / Л. А. Писаревский, А. Б. Коростелев, А. А. Липатов, Г. А. Филиппов, Т. Ю. Кин // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. — 2019. — № 2. — С. 227-242.
11. Акимов, С. П. Химическая промывка парогенераторов от отложения шлама продуктов коррозии с использованием этилендиаминтетрауксусной кислоты, ацетата аммония и устройства интенсивной промывки // Личный архив А. М. Торгановой. – 23 л.
12. Петрова, Т. И., Дяченко, Ф. В., Бородастов, А. К. Использование аминов для коррекции водно-химического режима второго контура на АЭС с ВВЭР / В. Ф. Тяпков, Т. И. Петрова, Ф. В. Дяченко, А. К. Бородастов // Атомная энергия. — 2016. — № 6. — С. 336-340.
13. Рощектаев Б.М. Водно-химический режим АЭС с реакторами ВВЭР-1000 и РБМК-1000: Учебное пособие. - М.: НИЯУ МИФИ, 2010. - 132 с
14. Замыслова, Т. Н., Магдыч, Е. А. Исследование влияния корректирующих добавок на коррозию медьсодержащих сплавов на втором контуре АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 / Т. Н. Замыслова,

- Е. А. Магдыч // Естественные и технические науки. — 2023. — № 4 (179). — С. 275-278.
15. 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. С. 13-19
16. Тяпков В.Ф., Шарафутдинов Р.Б. Состояние, основные проблемы и направления совершенствования водно-химического режима АЭС // Вестник Госатомнадзора России. 2003. № 4.
17. Юрманов В.А., Великопольский С.В., Юрманов Е.В. Анализ проведения продуктов коррозии во втором контуре АЭС с ВВЭР / Юрманов В.А., Великопольский С.В., Юрманов Е.В. [Электронный ресурс] // Гидропресс: [сайт]. — URL: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/seminar8/documents/sgpg2010-056.pdf> (дата обращения: 24.03.2023).
18. Маркин, А. С. Система очистки конденсата второго контура – блочная обессоливающая установка БОУ. Назначение, конструкция оборудования // Личный архив А.М. Торгановой. - 27 л.
19. Гусев, Б. А. Разработка и совершенствование технологий очистки контуров ЯЭУ с водяным теплоносителем от продуктов коррозии : специальность 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации» : Диссертация на соискание доктора технических наук / Гусев, Б. А. ; Санкт-Петербургский государственный университет. — Санкт-Петербург, 2014. — 40 с.
20. Бараненко, В. И., Янченко, Ю. А. Решение проблем снижения эрозионно-коррозионного износа оборудования и трубопроводов на зарубежных и отечественных АЭС / В. И. Бараненко, Ю. А. Янченко // Теплоэнергетика. — 2007. — № 15. — С. 12-19.

