

прутков, поковок, листового и сортового проката, трубных заготовок, литья и сварочной проволоки.

Результаты выполненных работ по созданию, исследованию и промышленному освоению новых марок ферритных сталей с особыми физическими свойствами заложены в машинную память и находятся в информационном компьютерном банке данных Всероссийского НИИ проблем машиностроения.

Библиографический список

1. Павлов В.Н., Щербинина Н.Б., Кравцов В.Г. и др. Коррозионностойкие и ферритные стали для высоконадежных электромагнитных приводов исполнительных механизмов регулирующих стержней СУЗ // *Вопр. атомной науки и техники. Сер. Материаловедение и новые материалы / ЦНИИИнформ Минатома России.* – М, 1992. – Вып. 1(45). – С. 15–19.

2. А.М. Паршин, И.Е. Колосов, О.А. Паршина,

И.А. Повышев Суперферритные стали и рациональные области их использования в атомной и термоядерной энергетике // *Вопр. атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез / РИЦ «Курчатовский ин-т».* – М., 1994. – С. 50–74.

3. Г.П. Карзов, А.М. Паршин, В.Н. Павлов и др. Современное состояние и перспективы развития коррозионно-стойких ферритных сталей с особыми физическими свойствами // *Радиационная повреждаемость и работоспособность конструкционных материалов: Материалы VII конф. стран СНГ (г. Белгород, 9–11.09 1997 г.).* – Белгород: Изд-во БелГУ, 1997. – С. 9–11.

4. Паспорт на коррозионностойкие ферритные стали с особыми физическими свойствами для судового и атомного энергетического машиностроения / ЦНИИ КМ «Прометей». – СПб., 2000. – 205 с.

5. Г.А. Денисов, В.И. Мартынов, И.А. Повышев и др. Материаловедческие проблемы повышения радиационной безопасности атомной и термоядерной энергетики // *Экология и развитие стран Балтийского региона: Материалы 5-ой Международной научной конф., г. Котка (Финляндия).* – 2000. – С. 103–105.

УДК 539.26

ВЛИЯНИЕ ОЧИЩЕННЫХ ГОРОДСКИХ СТОКОВ г. СОСНОВЫЙ БОР И ВОДЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ И ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЛАЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-640

Б.Н. Смирнов

г. С.-Петербург, Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей»

В проекте АЭС нового поколения с безопасным реактором ВВЭР-640 для обеспечения экологической безопасности при нормальной эксплуатации станции по оборотной схеме водоснабжения в качестве рабочей среды для систем охлаждения предполагается использовать очищенные сточные воды г. Сосновый Бор. Эти же воды, специально обработанные, используются для подпитки различных систем нормальной эксплуатации.

Вода, охлажденная на башенной испарительной градирне и поступающая в систему охлаждения основных и неотвественных потребителей, имеет температуру в пределах $+13,5 \div +26,5$ °С, а в наиболее жаркое время года до $+30,5$ °С, что вызывает необходимость перехода на периодическую работу по прямоточной схеме с использова-

нием в системах охлаждения охлаждающей воды Финского залива.

Вода городских стоков г. Сосновый Бор, которая будет использоваться после очистки в количестве $2300 \text{ м}^3/\text{ч}$, по содержанию основных компонентов близка к речной и водопроводной воде. Содержание хлоридов в этой воде не превышает $21,0 \text{ мг/л}$, сульфатов – $12,0 \text{ мг/л}$, а растворенного кислорода – $6,0 \div 7,0 \text{ мг/л}$. Коррозионная активность воды городских стоков несколько выше, чем у водопроводной и речной воды. По опыту эксплуатации судовых систем охлаждения судов речного флота и стальных труб систем городского водоснабжения скорость коррозии (износ) незащищенной стали марок Ст.3 и Ст.20 в такой воде при температуре $20 \div 30$ °С и скорости потока $1,0 \div 2,0 \text{ м/с}$ находится в пределах $0,05 \div 0,16 \text{ мм/год}$ [1]. При оценке поведения стали в этой среде

следует учитывать, что упаривание воды сопровождается повышением концентрации солей, при этом коррозионная агрессивность воды будет возрастать в 1,5÷2,0 раза.

Вода Финского залива в акватории г. Сосновый Бор (Копорская губа) представляет собой сильно опресненную морскую воду с содержанием хлоридов натрия и калия в пределах 470÷3000 мг/л в зависимости от сезонных изменений гидрологических условий в этом районе.

Для оценки степени коррозионного воздействия воды городских очищенных стоков с коэффициентом упаривания 2 и 5 раз на материал трубопроводов (Ст.3 и Ст.20) были проведены коррозионные испытания длительностью 5000 часов в потоке воды со скоростью 1,0 м/с при температуре 15÷23°C. Содержание солей в этой воде поддерживалось в следующих диапазонах:

- хлоридов натрия – 40,0÷100,0 мг/л;
- сульфатов натрия – 25,0÷60,0 мг/л;
- кислорода – 6,0÷8,0 мг/л

при рН равном 7,0÷8,2. В воде Финского залива испытания не проводились, так как по прямоточной схеме на воде Копорской губы станция будет работать периодически, только в жаркое время года, а длительность такой работы не превысит 10 % от общего времени.

Как показали результаты испытаний в воде, соответствующей 2-х и 5-кратному упариванию при скорости 1,0 м/с, стали марок Ст.3 и Ст. 20 практически не подвергались локальным видам коррозии (язвенной, питтинговой). Скорость общей (сплошной) коррозии стали марки Ст.3 в этих условиях оценивается величиной 0,05÷0,1 мм/год, а стали марки Сталь 20 – величиной 0,07÷0,16 мм/год. Коэффициент неравномерности коррозии (отношение глубин язв к общему коррозионному износу) для обеих марок сталей равен 1,5÷1,7. Таким образом, суммарный коррозионный износ стальных труб систем охлаждения и технического водоснабжения блока атомной станции составит 0,17÷0,42 мм/год по консервативной оценке.

При воздействии на незащищенную сталь пресной или минерализованной воды происходит окисление металла с образованием двух- и трехвалентных окислов и гидроксидов железа различной степени рас-

творимости в воде. Эти окислы, будучи рыхлыми, легко смываются потоком воды, в связи с чем в системах охлаждения углеродистые стали, как правило, без средств защиты не применяются. Основным защитным покрытием стальных трубопроводов является цинк. Широкое применение цинка в качестве защитного покрытия обусловлено тем, что он защищает стальные трубы не только механически (экранируя), но и в результате электрохимического протектирующего действия местных гальванопар. В пресной и морской воде цинк довольно медленно разрушается, благодаря образованию на поверхности, контактирующей с водой, псевдоморфных продуктов коррозии. Срок службы оцинкованных стальных труб в потоке морской или пресной воды определяется толщиной стенки трубы и толщиной цинкового покрытия, износ которого в морской воде составляет 40 мкм за первый год эксплуатации и 20 мкм в год при установившейся скорости коррозии за последующие годы. Основным способом нанесения цинка на трубы является горячее цинкование в расплаве цинка. Такая технология позволяет получать на цинкуемых изделиях покрытия толщиной не менее 200 мкм.

Срок службы оцинкованной трубы толщиной цинкового покрытия 200 мкм при толщине стенки трубы 4,0 мм в потоке пресной или минерализованной воды при обиходной скорости 2,0 м/с составит 20 - 25 лет до потери герметичности.

Габариты труб, применение которых предусмотрено в проекте АЭС для некоторых систем (диаметр до 800 мм), и большая их протяженность не позволяют применить метод защиты цинкованием, так как предприятия Российской Федерации не располагают соответствующим оборудованием для цинкования длинномерных изделий. Ранее оцинковка крупногабаритных изделий выполнялась на заводе «Фрегат» в г. Первомайске УССР.

Для обеспечения требуемых показателей долговечности для труб большого диаметра необходимо ввести запас на коррозию или дополнительно вводить в контур ингибирующие добавки, например, сернокислое железо.

Определяющим фактором образования накипи на теплопередающих поверхностях тепломеханического оборудования является температура поверхности и степень пересыщения по карбонату кальция. Концентрация ионов кальция и карбонатная жесткость оказывают меньшее влияние на выделение твердых фаз из охлаждающей воды [2].

Так как температура охлаждаемой воды промконтура не превышает 57 °С при штатных режимах, а температура масла в маслоохладителе не превышает 60 °С, на поверхности теплопередающих трубок и пластин со стороны охлаждающей воды температура не превысит 50 °С. Эта температура несколько ниже температуры накипеобразования как по карбонатам, так и по сульфатам.

При работе на оборотной воде будут образовываться растворимые хлористые и сернокислые соединения железа и гидроксиды железа, которые будут выноситься потоком воды в бассейн градирни. Для предотвращения выпадения бикарбонатов или других солей при коэффициенте упаривания 3-5 продувка 1000 м³/ч (один из вариантов проекта) представляется достаточно эффективной мерой.

При работе системы водоснабжения на воде очищенных городских стоков, обрастание водорослями, микро- и макроорганизмами трубопроводов и теплообменного оборудования маловероятно. Возможно обрастание стенок бассейна градирни различными водорослями и беспозвоночными организмами в летнее время.

На основании рассмотрения условий работы системы технического водоснабжения и по результатам коррозионных испытаний можно сделать следующие выводы и рекомендации.

1. Скорость коррозии материала труб в системе технического водоснабжения с использованием обработанных городских стоков г. Сосновый Бор (общая и локальная) составит 0,15÷0,42 мм/год. Для обеспечения требуемого срока службы трубопроводов требуется ввести запас на коррозию 3,0 мм

для труб Ду 800÷250 мм, а трубы Ду 100÷50 мм нужно применять оцинкованными толщиной покрытия не менее 200 мкм.

2. Оборотная вода, применение которой предусмотрено в проекте АЭС, при рабочих температурах теплопередающих стенок не обладает накипеобразующими свойствами. Отложений накипи в виде карбонатов, сульфатов и продуктов коррозии на теплопередающих поверхностях теплообменников и по тракту промконтура при всех режимах работы происходить не будет.

3. Наилучшим способом стабилизации оборотной воды является продувка 1000 м³/ч с дозировкой ОЭДФ расходом 25,5 кг.

4. Для обеспечения нормальной работы систем охлаждения по прямоточной схеме следует ограничить или исключить полностью в период осенних штормов подключение систем РЕ на воду Финского залива с целью исключения заиливания систем и избежания попадания в трубопроводы водорослей.

5. Дополнительно следует проработать вопросы борьбы с обрастанием стенок бассейна градирни, так как метод электронно-лучевой обработки, принятый в проекте станции для обеззараживания городских стоков, может оказаться малоэффективным средством подавления обрастания.

Изложенные в настоящем докладе рекомендации по защите трубопроводов от коррозии и ведению водного режима приняты к реализации в окончательном проекте АЭС.

Введение рассмотренной в докладе схемы водоснабжения АЭС не вызовет изменения гидрологических условий в акватории станции.

Библиографический список

1. Смирнов Б.Н.. Коррозия трубопроводов заборной воды: Сб. НТО им. акад. А.Н. Крылова. – Л.: Судостроение, 1978. – Вып. 263
2. Крицкий В.Г. Проблемы коррозии и водно-химических режимов АЭС – СПб.: СИНТО, 1996.