Шевейко Александр Николаевич. Регулирование процесса образования отложений в оборудовании ТЭС и АЭС с целью увеличения эффективности теплообмена : диссертация ... кандидата технических наук : 05.14.14.- Новочеркасск, 2002.- 175 с.: ил. РГБ ОД, 61 03-5/207-7

**Министерство образования Российской Федерации ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (Новочеркасский политехнический институт)**

На правах рукописи

**ШЕВЕЙКО Александр Николаевич**



**РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ В ОБОРУДОВАНИИ ТЭС И АЭС С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА**

05.14.14-

Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты

ДИССЕРТАЦИЯ на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: к.т.н, доцент

Бубликов Игорь Альбертович

Новочеркасск 2002

2

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 5](#bookmark2)

[Актуальность исследований 8](#bookmark3)

Цель научной работы 9

1. [**Современное представление о механизме образования отложений и методы борьбы с ними в оборудовании ТЭС и АЭС 9**](#bookmark5)
   1. [Механизм образования отложений 9](#bookmark6)
   2. [Факторы, влияющие на процесс образования отложений 13](#bookmark8)
      1. [Влияние качества рабочей среды 14](#bookmark9)
      2. [Влияние температуры 20](#bookmark12)
      3. [Влияние скорости потока 22](#bookmark13)
      4. [Влияние формы теплообменной поверхности 23](#bookmark14)
      5. Влияние материала теплообменной поверхности на

образование отложений 25

* 1. Влияние полимерных материалов на удельное количество отложений и методы улучшения их теплофизических свойств 27
  2. Методы определения энергии адгезии отложений и полимерных материалов 32
  3. [Методы борьбы с отложениями 36](#bookmark16)
     1. [Химические методы 36](#bookmark17)
     2. [Физические методы 37](#bookmark18)
     3. [Механические методы 38](#bookmark19)

[Выводы 38](#bookmark20)

Задачи исследований 41

1. **Уточнение параметра качества технической воды в методиках**

**прогнозирования образования отложений 42**

* 1. Исследование структуры отложений 43
  2. Методики и результаты исследования дисперсного состава взвешенных веществ в технической воде 53
     1. [Метод фильтрования 54](#bookmark22)

3

2.2.2 Дисперсный анализ взвешенных веществ в воде методом

седиментации в гравитационном поле 57

* 1. [Определение зависимости параметра качества воды 61](#bookmark27)

[Выводы 72](#bookmark29)

1. **Исследование влияния материала поверхности на удельное количество отложений 74**
   1. Определение удельного количества осаждений кристаллов солей на поверхности различных материалов 75
   2. Исследование электродного потенциала материалов теплообменной поверхности и его влияния на удельное количество отложений 83
      1. Теоретический расчет электродного потенциала

теплообменной поверхности 85

* + 1. [Экспериментальное определение электродного потенциала теплообменной поверхности 87](#bookmark38)
    2. Определение зависимости электродного потенциала поверхностей от концентрации и температуры раствора солей 92
  1. Определение зависимости удельного количества отложений от величины электродного потенциала теплообменной поверхности 103

[Выводы 108](#bookmark41)

1. **Исследование влияния материала поверхности на адгезию отложений.... 109**
   1. Установка и методика проведения эксперимента по определению адгезии кристаллов отложений 109
      1. Методика и результаты качественного определения адгезии кристаллов солей 114
      2. Методика и результаты количественного определения адгезии

кристаллов солей на теплообменных поверхностях 123

[Выводы 127](#bookmark45)

1. [**Исследование влияния полимерных покрытий на механизм образования отложений и эффективность теплообмена 128**](#bookmark46)

4

* 1. Расчетная методика обоснования целесообразности применения полимерных покрытий в теплообменных аппаратах 130
  2. [Обоснование применения фторопластов для покрытия теплообменных трубок конденсаторов турбин 132](#bookmark50)
  3. [Исследования теплопроводности полимерных покрытий на основе наполненных фторопластов 134](#bookmark51)
     1. Методика и результаты экспериментального определения теплопроводности фторопластовых покрытий 135
     2. [Расчетная методика оптимизации толщины и теплопроводности фторопластового покрытия в зависимости от режимов нанесения, состава и концентрации наполнителя 144](#bookmark56)
  4. [Экспериментальные исследования адгезии наполненного фторопластового покрытия 153](#bookmark59)

[Выводы 155](#bookmark61)

[**Заключение 157**](#bookmark62)

**Приложение №1 162**

**Приложение №2 163**

[**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: 166**](#bookmark63)

5

**ВВЕДЕНИЕ**

Производство и потребление электроэнергии является одним из главных показателей технического прогресса и экономического уровня развития общества. Все потребители и производители электроэнергии объединены в единую энергосистему. В состав объединенной энергетической системы (ОЭС) Северного Кавказа входят восемь энергосистем. Ведущее место в ОЭС по уровням энергопотребления и концентрации генерирующих источников занимают Ростовская, Краснодарская и Ставропольская энергосистемы. На долю этих трех систем приходилось в 1989 - 1998гг. около 80% от общего энергопотребления по ОЭС, 89% выработки электроэнергии и 82% установленной мощности. Дефицит Ростовской энергосистемы составляет около 20%, Краснодарской около 60%.

Основными источниками покрытия нагрузок являются тепловые электрические станции. На их долю приходится около 80% в 1989г. [1] и 64% выработанной электроэнергии в 1998г. (по данным информационного центра Ростовской АЭС), ГЭС - 19%, АЭС - 13%. В общем по России выработка электроэнергии снижается (в 1991г. было выработано 1045 млрд. кВт, в 1999г.-

1. млрд. кВт). Спад в производстве электроэнергии обусловлен выработкой ресурсов электрических станций. Энергосистема имеет износ основных фондов 47,2%, а на некоторых станциях износ достигает 70%. Часть станций выработала свой ресурс и не может быть включена в энергосистему.

Экономичность, надежность и ресурс электрической станции в значительной степени зависят от чистоты поверхности теплообменного оборудования. В практике на ТЭС и АЭС применяют нормирование содержания примесей в теплоносителе и рабочем теле электростанций, которое позволяет в большинстве случаев избежать образования отложений природных примесей воды и уменьшить отложения продуктов коррозии в оборудовании. Однако, как показывает опыт эксплуатации, предотвратить образование отложений по всему тракту электростанций таким путем не удается.

На тепловых и атомных электростанциях, а также на других предприятиях, при эксплуатации теплообменников, трубопроводов и регулирующей арматуры, в результате осаждения продуктов коррозии и возникновения на рабочих поверхностях биологических, иловых и солевых образований, возникает проблема значительного снижения эффективной работы

оборудования.

Как правило, в поверхностных теплообменных аппаратах, теплопередача происходит между средами не только с различными технологическими параметрами, но и имеющих различное качество по составу.

Общим холодным источником термодинамического цикла тепловой

энергетики являются естественные водоемы (реки, озера, моря) и

искусственные (пруды-охладители, брызгательные бассейны, градирни). Эта вода, контактируя непосредственно с окружающей средой, содержит в себе различные примеси: водоросли, микроорганизмы и продукты их

жизнедеятельности, растворенные газы и соли, коллоидные и дисперсные частицы, способные вызывать образование отложений. По экологическим соображениям, техническую воду нельзя очищать химическими реагентами. А большие объемы потребляемой технической воды не целесообразно очищать до необходимого качества.

В техническом водоснабжении можно снизить скорость образования отложений, только воздействуя на процесс их формирования, как правило, безреагентными методами. Этого можно будет добиться только после того, как механизм образования отложений будет достаточно изучен. Это позволит изменять факторы, действующие на процесс формирования отложений, и таким образом снизить или предотвратить их образование.

Образование отложений приводит к ряду серьезных последствий, усложняющих эксплуатацию электростанций. Так, отложения на экранных поверхностях ТЭС и оболочках твэлов АЭС, в зависимости от их количества и теплопроводности, могут вызывать повышение температуры металла и, в

7

конечном счете, к его пережогу. Такие аварии имели место на электростанциях, работающих как на органическом, так и на ядерном топливе.

Образующиеся отложения изменяют гидродинамические характеристики каналов, что приводит к перераспределению нагрузки по ним. Это ухудшает расчетные условия охлаждения поверхности.

Отложения в проточной части турбины изменяют условия обтекания и снижают КПД турбоустановки. А иногда приводят и к разрушению проточной части, особенно ярко образование отложений проявляется в последних ступенях турбоагрегата.

В проточной части бессальниковых насосов АЭС (ГЦН) отложения могут вызывать перераспределение механических нагрузок.

В приводах стержней управления и защиты реакторов образование отложений приводят к увеличению коэффициента трения и времени их срабатывания, что недопустимо из соображений ядерной безопасности.

Отложения в рабочих органах арматуры изменяют ее характеристики и так же усложняют эксплуатацию.

Отложение карбонатной накипи на оросителях градирен снижает охлаждающий эффект градирни и может привести к разрушению оросителей.

Отложения в теплообменных трубках конденсаторов турбин снижают охлаждающую способность аппарата и способствуют снижению вакуума в нем, из-за чего происходит не только снижение КПД турбоагрегата, но и снижение технико-экономических показателей станции в целом. Станция за год может терять до 4% КПД из-за снижения коэффициента теплопередачи.

Отложения способствуют интенсификации коррозионных процессов. Однако при определенных условиях (например, в трубопроводах теплосетей), отложения выполняют защитную противокоррозионную функцию.

На практике, для улучшения условий теплопередачи, применяют различные методы борьбы с отложениями: механические, химические и физические. Эффективность большинства из них не превышает 60%, а при некоторых условиях приводят к разрушению конструкционных материалов и конструкций

в целом. Многие из методов борьбы энерго- и трудоемки. В результате, при разработке аппаратов, предусматривают резерв теплообменной поверхности на 30-40%, что приводит к увеличению металлоемкости и стоимости конструкции.

В некоторых странах мира, например, в Японии, США, Швейцарии, Германии или Англии, для предотвращения образования отложений, теплообменные поверхности покрывают полимерными материалами. Опыт эксплуатации таких аппаратов показал, что коэффициент теплопередачи не снижается или снижается незначительно.

**Актуальность исследований**

Отложения на теплообменных поверхностях существенно снижают эффективность теплообмена и ресурс оборудования ТЭС и АЭС. Они увеличивают трудо - и энергозатраты.

В результате исследования механизма образования отложений, могут быть получены принципиально новые сведения о свойствах отложений, о влиянии режимов работы теплообменного оборудования, качества воды и материала поверхности на интенсивность образования отложений, на качество их структуры и силу их сцепления с теплообменной поверхностью.

На основании общих представлений о механизме образования и свойствах отложений могут быть выбраны оптимальные способы снижения интенсивности образования или удаления отложений. Разработаны принципиально новые методы воздействия на процесс их формирования и в значительной степени увеличены эффективность теплообмена, надежность и срок эксплуатации аппаратов.

Применение новых технологий на основании определенного механизма формирования отложений снизит интенсивность их образования. Уменьшить металлоемкость и габариты теплообменного оборудования.

9

**Целью научной работы является:**

Снижение .интенсивности образования отложений в теплообменном

ч\

оборудовании ТЭС и АЭС систем технического водоснабжения.

Заключение

Решая поставленные задачи, в работе выполнен анализ механизма образования отложений на теплообменных поверхностях оборудования ТЭС и АЭС систем технического водоснабжения. Изучен опыт эксплуатации теплообменников различных систем технического водоснабжения. Рассмотрены используемые в отечественной и зарубежной энергетике способы борьбы с отложениями.

С целью уточнения обнаруженных недостатков был проведен комплекс экспериментальных исследований.

1. В результате экспериментов было установлено, что все отложения сформированы из монолитной и пористой (кристаллического типа) структур. По форме монолитных структур, в зависимости от химического состава воды, различается два типа отложений:

* Слоистого типа, характерного для систем технического водоснабжения с

низким солесодержанием;

* Комкового типа, характерного для систем технического водоснабжения с

высоким солесодержанием.

1. Экспериментальными исследованиями дисперсного состава взвешенных частиц в воде и анализом эксплуатационных данных установлено, что сезонные изменения качества и температуры воды приводят к периодическому формированию слоев во всех типах отложений с резко изменяющейся пористостью. Образование слоев с высокой пористостью происходит в осенний период. Оно вызвано увеличением временной жесткости и дисперсного состава воды. А также, увеличением концентрации кристаллообразующих ионов вблизи поверхности теплообмена.
2. Уточнена зависимость параметра качества воды, используемого для прогнозирования образующихся отложений от среднемесячной температуры:

0(Т) = 5Сж-Жв(Т) + А ' Д (т))

158

1. Экспериментально установлено существенное влияние электродного потенциала материала поверхности на процесс образования отложений.

Установлено, что сезонные изменения качества и температуры воды в теплообменном оборудовании изменяют отрицательность электродного потенциала большинства материалов в системах технического водоснабжения с высоким солесодержанием в 1,5 раза, а в системах с низким солесодержанием - в 2 раза. Это приводит к изменению электростатического взаимодействия между теплообменной стенкой и частицами, образующими отложения.

Исключения составили значения электродного потенциала нержавеющей стали, отрицательность которого уменьшается в 1,5 раза, и теплообменных поверхностей из технического стекла, отрицательность которого уменьшается в 1,07 раза.

1. Установлены эмпирические зависимости удельного количества отложений кристаллов солей на поверхности теплообмена от величины электродного потенциала материала поверхности и состава соли:

|  |  |
| --- | --- |
| Раствор соли | расчетная эмпирическая зависимость (метод наименьших квадратов) |
| №01 | §(Ц) **= 75,652-и2 + 38,16743 + 22,852** |
| соли морск. воды | ^и) = 10,551-и2 + 0,5913-и + 3,2101 |
| СаСОз | Я(и)= -7,3955-и + 7,8757 |

Определенные зависимости показывают, что при увеличении отрицательности электродного потенциала материала, удельное количество отложений увеличивается.

1. Разработана установка для определения адгезии кристаллов отложений, отличающаяся от установки метода отслаивания клином скоростью движения и расположением резца относительно поверхности.
2. Разработана методика определения относительной адгезии *(Аотн)* и количественной оценки адгезии в виде напряжения сдвига кристаллов

159

отложений *(сга)* на основе экспериментальных данных, полученных на установке.

1. Определены зависимости относительной адгезии и напряжения сдвига кристаллов отложений от величины электродного потенциала материалов теплообменной поверхности:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Состав соли: | расчетная эмпирическая зависимость (метод наименьших квадратов) | |
| Аотн(и) | ^а(и) |
| ИаС1 | -2,1345-и2 - 1,504743 + 1,0609 | -22,923 Н2- 15,58443+1,2311 |
| соли морск. воды | -0,7556-и2 - 0,5456-11 + 1,0655 | - |
| СаСОз | -0,2751-П2 - 0,2663Н + 1,042 | -45,088Н2 - 49,20943 + 0,2411 |

Зависимости показывают, что при увеличении отрицательности электродного потенциала, значения относительного коэффициента адгезии и напряжения сдвига проявляют зависимость обратной квадратичной параболы. Минимальные значения *Аотн* и *(Ти* установлены при величине электродного потенциала меньше -1,5В и больше -0,65В. Максимальные значения напряжения сдвига для кристаллов ЫаС1 установлено на уровне 4 МПа, для кристаллов карбоната кальция - 12 МПа.

1. Впервые определены критерии целесообразности использования полимерных материалов в качестве покрытий теплообменных поверхностей в теплообменном оборудовании систем технического водоснабжения ТЭС и АЭС. Установлено экспериментально, что для фторопластовых покрытий наполненных коллоидным графитом с концентрацией 12%, при напряженности электростатического поля 2333 В/м, максимальное значение коэффициента теплопроводности равно 0,3 Вт/(м-К), что при контролируемой толщине покрытия на уровне 92 мкм оказывает воздействие на теплообмен на уровне всего лишь 10-15%.

160

1. Для фторопласта, наполненного сажей или коллоидным графитом, расчет теплопроводности и толщины слоя покрытия может быть произведен В зависимости от величины концентрации и напряженности электрического поля по эмпирическим зависимостям:

^сл = -1,579-10'3 • С - 2,434-10'9 ■ Е2 + 6,434-10"6 - С • Е + 0,054 5СЛ - -2,353 • С - 4,673-10-6 • Е2 + 5,447-10'3 • С • Е + 37,066

1. Установлено, что фторопластовые покрытия, наполненные сажей, обладают повышенной адгезией к подложке, а покрытия, наполненные коллоидным графитом, обладают повышенной прочностью.
2. Экспериментально определено, что удельное количество отложений карбоната кальция (основной составляющей отложений) на полимерном покрытии минимально и в неподвижной среде составляет 8,3 г/м . Напряжение сдвига кристаллов ИаС1 и СаСОз также минимально и составляет соответственно 0,629 МПа и 0,283 МПа, это на порядок меньше чем для конструкционных материалов, применяемых в теплообменных аппаратах, и объясняется особенностью структуры поверхности.

В результате выполнения работы получены принципиально новые научные данные:

* о характере отложений в теплообменном оборудовании систем технического водоснабжения в зависимости от сезона года, материала теплообменной поверхности и температуры формирования;
* о составе дисперсных частиц в природной воде в зависимости от сезона года.

Определены зависимости:

* показателя качества воды от сезона года;
* удельного количества отложений и их адгезии от электродного потенциала теплообменной поверхности.

161

Разработаны методики:

* качественной и количественной оценки адгезии кристаллов солей отложений к полимерным и конструкционным материалам;
* расчета теплопроводности фторопластовых покрытий, наполненных графитом.

Практическая значимость работы, на основании проведенных исследований с целью снижения интенсивности образования отложений в теплообменных аппаратах, определена на различных стадиях проектирования и эксплуатации теплообменного оборудования.

1. На *этапе проектирования* оборудования:

* даны рекомендации конструкторам по выбору материалов теплообменной поверхности с учетом качества и температуры используемой охлаждающей воды;

разработаны методы оптимизации и обоснования целесообразности использования полимерных покрытий на теплообменных поверхностях оборудования ТЭС и АЭС;

1. На *этапе изготовления* для технологов разработаны методики оптимизации режимов нанесения полимерных покрытий, состава и концентрации наполнителя.
2. На *этапе эксплуатации* для эксплуатационного персонала:

* уточнена методика прогнозирования накопления отложений на теплообменных поверхностях с учетом сезонных изменений;
* разработана методика определения энергетических затрат на очистку поверхностей от отложений;
* определены рекомендации по выбору оптимального метода очистки теплообменных поверхностей от отложений.
* определены рекомендации по выбору оптимального материала металла- протектора, используемого для снижения образования отложений в оборудовании ТЭС и АЭС.