

Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу № 4/итоговый

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.576.21.0085

Тема: «Разработка методов оценки технического состояния и повышения эксплуатационной надежности котлов ТЭС на основе исследования влияния режимов их эксплуатации на эволюцию структурных превращений в металле пароперегревателей из аустенитных сталей»

Приоритетное направление: Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика (ЭЭ)

Критическая технология: Технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе

Период выполнения: 28.11.2014 - 30.06.2016

Плановое финансирование проекта: 8.58 млн. руб.

Бюджетные средства 6.80 млн. руб.,

Внебюджетные средства 1.78 млн. руб.

Получатель: Открытое акционерное общество "Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт"

Индустриальный партнер: Общество с ограниченной ответственностью "Безопасность в промышленности"

Ключевые слова: котёл, пароперегреватель, аустенитная хромомарганцевая сталь, относительная деформация ползучести, время до разрушения, предел длительной прочности

1. Цель проекта

Пароперегреватели – самые теплонпряженные поверхности нагрева котлов ТЭС. На пароперегревательный тракт приходится 58,6% повреждений. Надежность пароперегревателей снижается по мере увеличения температуры и времени эксплуатации. Основная причина повреждений – превышение расчетной или допустимой температуры эксплуатации, обусловленное конструктивной нетождественностью змеевиков, неравномерным распределением расхода теплоносителя, неоднородным полем скорости и температуры дымовых газов. Эти факторы вызывают перегрев и неравномерное разупрочнение металла. Практика показала, что применяемые методы контроля металла поверхностей нагрева необъективны и имеют существенные недостатки. В этой связи возникает необходимость в создании новых методов оценки технического состояния металла пароперегревателей для повышения эксплуатационной надёжности котлов ТЭС.

Целью реализуемого проекта является повышение эксплуатационной надёжности пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС путем разработки новых методов оценки состояния металла.

Разрабатываемые методы позволят решать принципиально новую задачу оценки технического состояния пароперегревателей и будут применяться при диагностике котлов ТЭС.

2. Основные результаты проекта

При выполнении этапа № 1 ПНИ получены следующие результаты:

- выполнен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы. Показано, что существующие методы контроля металла пароперегревателей имеют существенные недостатки. Наиболее перспективным методом определения тепловой неравномерности труб из аустенитных сталей является метод магнитной ферритометрии;

- выбраны направления исследований о связи режимов эксплуатации со структурными превращениями в поверхностных слоях металла змеевиков пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС.

- выполнены патентные исследования в соответствии с ГОСТ 15.011-96 по России, ведущим зарубежным странам и заявкам Международного и Европейского патентных ведомств. По результатам проведенных патентных исследований следует, что аналогов, разрабатываемой методики оценки технического состояния пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС с помощью магнитного ферритометра, не существует.

При выполнении этапа № 2 ПНИ получены следующие результаты:

- проведены теоретические исследования зависимости структурных превращений на поверхности змеевиков из аустенитных

сталей от температуры и времени эксплуатации. Установлено, что при эксплуатации на наружной поверхности змеевиков пароперегревателей аустенитных сталей марки 12X18H12T, ДИ59 и ЭП184 образуется измененный по сравнению с матрицей слой обладающий ферромагнитными свойствами. Толщина слоя зависит от начальных концентраций окислителя и окисленного металла, молекулярных масс оксида, окислителя и окисленного металла в оксиде, плотностей оксида и окисленного металла, продолжительности реакции окисления, эффективного коэффициента диффузии и времени окисления. Связь толщины слоя с эффективным коэффициентом диффузии и временем окисления описывается параболическим порядка $\frac{1}{2}$ уравнением, эффективный коэффициент диффузии определяется законом Аррениуса.

- обоснованы экспериментальные и методические подходы для решения задач, поставленных в рамках ПНИ.

- разработаны программы и методики исследовательских испытаний. Сформулированы принципы эксперимента, описаны стандартные и оригинальные методики испытаний, приведены характеристики используемого оборудования и приборов, требования к образцам.

- разработаны технические требования проведения обследования конвективных пароперегревателей современных котлов с помощью ферритометра.

При выполнении этапа № 3 ПНИ получены следующие результаты:

- разработаны рабочие чертежи на изготовление экспериментальных образцов согласно ГОСТ 2.109-73 ЕСКД и изготовлены экспериментальные образцы из труб пароперегревателей из сталей 12X18H12T, 10X13Г12БСН2Д2 и 10X16H16В2МБР;

- проведены исследовательские испытания экспериментальных образцов труб пароперегревателей из сталей 12X18H12T, 10X13Г12БСН2Д2 и 10X16H16В2МБР на жаропрочность и жаростойкость в воздушной среде и контакте с золой из Na_2SO_4 и V_2O_5 с магнитной ферритометрией, по измерению концентраций химических элементов и металлографические исследования;

- испытанием на жаропрочность с магнитной ферритометрией не обнаружено влияние напряжения на содержание ферритной фазы в экспериментальных образцах из сталей марки 12X18H12T, ДИ59 и ЭП184.

- электронной микроскопией наружной поверхности экспериментальных образцов выявлен измененный слой, обедненный элементами с максимальным средством и обогащенный элементами с минимальным средством к окислителю. Слой в сталях марки 12X18H12T и ЭП184 состоит преимущественно из фазы FeNi_3 , в стали марки ДИ59 – из фазы α -Fe (феррита). Обе фазы обладают ферромагнитными свойствами.

При выполнении заключительного этапа № 4 ПНИ получены следующие результаты:

- выполнены обобщение и оценка результатов теоретических исследований и исследовательских испытаний экспериментальных образцов труб пароперегревателей из сталей 12X18H12T, 10X13Г12БСН2Д2 и 10X16H16В2МБР; Обобщение и оценка результатов теоретических исследований позволило описать уравнениями зависимость толщины измененного слоя от времени и температуры эксплуатации для сталей 12X18H12T, 10X13Г12БСН2Д2 и 10X16H16В2МБР, а результаты проведенных экспериментов позволили определить константы в этих уравнениях;

- проведена технико-экономическая оценка результатов ПНИ. Установлено, что полученные в ходе выполнения работы результаты соответствуют потребностям рынка, так как позволят существенно (оценочно на порядок) сократить эксплуатационные затраты владельцев энергооборудования связанные с необоснованной полной заменой пароперегревателя, а также за счет более точной оценки технического состояния снизить не менее чем на 50% повреждаемость пароперегревателей и аварийных остановов энергоблока, влекущих за собой многомиллионные штрафные санкции Системного оператора Единой энергетической системы. Применение метода позволит значительно снизить эксплуатационные затраты связанные с возможной заменой пароперегревателя;

- разработана методика оценки технического состояния пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС с помощью магнитного ферритометра. Разработанная методика позволяет с погрешностью не более 10% определять остаточный ресурс отдельных змеевиков и пароперегревателя в целом;

- разработано техническое задание на проведение ОКР по теме: «Разработка прибора для реализации методики оценки технического состояния пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС». Разрабатываемый прибор позволит оперативно и достоверно проводить оценку остаточного ресурса пароперегревательных труб;

- разработаны технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей промышленного партнера. Проведен анализ технологических возможностей и особенностей промышленного партнера. Установлено, что использование разработанной продукции «методики оценки технического состояния пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС с помощью магнитного ферритометра» возможно по двум видам деятельности, на которых специализируется промышленный партнер;

Испытание экспериментальных образцов труб пароперегревателей из сталей 12X18H12T, 10X13Г12БСН2Д2 и 10X16H16В2МБР на жаростойкость проведено в высокотемпературных муфельных печах с погрешностью поддержания температуры $\pm 5^\circ\text{C}$.

Жаропрочные испытания экспериментальных образцов труб пароперегревателей из сталей 12X18H12T, 10X13Г12БСН2Д2 и 10X16H16В2МБР проведены при следующих требованиях: погрешность поддержания температуры $\pm 1^\circ\text{C}$, погрешность приложенной нагрузки не более 0,5%, погрешность измерения деформации ползучести металла не более 0,2 мкм, изгиб образцов из-за несоосности приложенной нагрузки не более 4%.

Массовое содержание химических элементов в измененном слое определено с погрешностью не более 10%.

Измерение ферритной фазы выполнено с использованием магнитного ферритометра с погрешностью не более 5%.

В результате выполнения работ установлена зависимость содержания ферритной фазы от температуры, напряжения, окислительной среды и времени эксплуатации. Экспериментальные данные обобщены зависимостью порядка $\frac{1}{2}$ от времени испытаний. Среднее квадратичное отклонение измеренных значений ферритной фазы от рассчитанных по аппроксимирующему уравнению не выходит за пределы $\pm 25\%$.

Разработанная методика предназначена для оценки технического состояния пароперегревателей из аустенитных сталей 12X18H12T, 10X13Г12БСН2Д2 и 10X16H16В2МБР.

Погрешность определения тепловой неравномерности составляет не более 5°C , погрешность оценки остаточного ресурса пароперегревателей не более 10%.

Реализация методики оценки технического состояния снижает повреждаемость пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС как минимум на 50%.

Анализ литературных источников, а также проведенные патентные исследования показали, что аналогов, разрабатываемой методики оценки технического состояния пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС с помощью магнитной

ферритометрии не существует. Условия зарождения и законы развития измененного слоя исследуются впервые.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Полезная модель патент рег. №162551 от 27.05.2016г. "Прибор для определения полного и остаточного ресурса пароперегревателей труб из аустенитных сталей"

Полезная модель: "Способ определения жаростойкости аустенитных сталей" заявка о выдаче патента РФ на полезную модель рег. №2016126460 дата подачи 01.07.2016г.

4. Назначение и область применения результатов проекта

Разработанная методика оценки технического состояния предназначена для пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС.

Реализация разработанной методики оценки технического состояния приводит к снижению повреждаемости пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС.

Методика оценки технического состояния пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС с помощью магнитного ферритометра ориентирована на применение специалистами по традиционному магнитному (магнитопорошковому) контролю.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Реализация разработанной методики оценки технического состояния приведет к повышению точности определения остаточного ресурса пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС, снижению их повреждаемости и существенному сокращению эксплуатационных затрат владельцев энергооборудования.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

Коммерциализация результатов ПНИ Индустриальным партнером возможна по двум направлениям: оказание услуг по проведению технической диагностики и обучения с аттестацией специалистов по методике оценки технического состояния пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС.

Ежегодный объем оказываемых услуг по техническому диагностированию поверхностей нагрева из аустенитных сталей может составлять порядка 100 работ, что в денежном эквиваленте составит порядка 30 млн. рублей. Деятельность по обучению и аттестации специалистов может приносить доход до 1,7 млн. рублей ежегодно.

7. Наличие соисполнителей

При выполнении ПНИ соисполнители не привлекались.

Открытое акционерное общество "Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт"

Генеральный директор

(должность)

(подпись)

Реутов Б.Ф.

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель работ по проекту

Директор по научной работе

(должность)

(подпись)

Гринь Е.А.

(фамилия, имя, отчество)

М.П.