

## Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

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

по этапу № 3

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

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 теплонапряженные 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 нежесткостью 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.

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 изменённый 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 порядком  $\frac{1}{2}$  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 используемых 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 12Х18Н12Т, 10Х13Г12БС2Н2Д2 и 10Х16Н16В2МБР;
  - проведены исследовательские испытания экспериментальных образцов труб пароперегревателей из сталей 12Х18Н12Т, 10Х13Г12БС2Н2Д2 и 10Х16Н16В2МБР на жаропрочность и жаростойкость в воздушной среде и контакте с золой из  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{V}_2\text{O}_5$  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 12Х18Н12Т, ДИ59 и ЭП184.
  - электронной микроскопией наружной поверхности экспериментальных образцов выявлен изменённый слой, обеднённый элементами с максимальным сродством и обогащённый элементами с минимальным сродством к окислителю. Слой в сталях марки 12Х18Н12Т и ЭП184 состоит преимущественно из фазы  $\text{FeNi}_3$ , в стали марки ДИ59 – из фазы  $\alpha\text{-Fe}$  (феррита). Обе фазы обладают ферромагнитными свойствами.
- Основные характеристики созданной научно-технической продукции удовлетворяют требованиям технического задания и позволяют провести экспериментальные исследования выполняемые в соответствии с Техническим заданием и календарным планом, с целью решения основных задач по работе в целом.
- Результаты исследования эволюции, элементного и фазового состава слоя являются основой методики выявления тепловой неравномерности и развёрнутых труб аустенитных пароперегревателей с помощью магнитного ферритометра.

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

Полезная модель: "Прибор для определения полного и остаточного ресурса пароперегревательных труб из аустенитных сталей" заявка о выдаче патента РФ на полезную модель рег. №2015152297 дата подачи 08.12.2015г.

### **4. Назначение и область применения результатов проекта**

Разработанные методы оценки технического состояния пароперегревателей котлов будут использоваться специалистами специализированных организаций и лабораториями металла и сварки ТЭС для отбраковки перегретых змеевиков, оценки остаточного ресурса пароперегревателей и снижения числа остановов энергоблоков по причине повреждения поверхностей нагрева.

### **5. Эффекты от внедрения результатов проекта**

Реализация разрабатываемой методики оценки технического состояния должна привести к снижению повреждаемости пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС и, следовательно, сокращению количества аварийных остановов энергооборудования и снижению экономических потерь.

### **6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта**

Коммерциализация результатов ПНИ предусмотрена Индустриальным партнером в виде обучения и аттестации специалистов по методике оценки технического состояния пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС.

### **7. Наличие соисполнителей**

При выполнении этапа №3 ПНИ соисполнители не привлекались.

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

Генеральный директор

*(должность)*

Реутов Б.Ф.

*(подпись)*

*(фамилия, имя, отчество)*

**Руководитель работ по проекту**

Директор по научной работе

*(должность)*

Гринь Е.А.

*(подпись)*

*(фамилия, имя, отчество)*

**М.П.**