

## **Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»**

**Номер Соглашения о предоставлении субсидии/государственного контракта:** 14.576.21.0085

**Название проекта:** 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

**Основное приоритетное направление:** Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

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

**Руководитель проекта:** Гринь Евгений Алексеевич

**Должность:** Директор по научной работе

**E-mail:** eagrין@vti.ru

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

### **Цель проекта**

Пароперегреватели – самые теплонапряженные поверхности нагрева котлов ТЭС. На пароперегревательный тракт приходится 58,6% повреждений. Один пароперегреватель повреждается в среднем 2 – 3 раза в год. 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.

### **Основные планируемые результаты проекта**

Установлено, что при эксплуатации на наружной поверхности змеевиков пароперегревателей аустенитных сталей марки 12X18H12T, ДИ59 и ЭП184 образуется из-за выборочного окисления изменённый по сравнению с матрицей слой, обеднённый металлами с максимальным и обогащённый

металлами с минимальным сродством к окислителю. Металл слоя обладает 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. Экспериментально установлено, что толщина изменённого слоя в пароперегревательных трубах не превышает 50 мкм. Показания магнитного ферритометра прямо пропорциональны толщине слоя.

### **Краткая характеристика создаваемой/созданной научной (научно-технической, инновационной) продукции**

Конечным продуктом является создание нового метода оценки технического состояния пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС. Разрабатываемые методы позволят решать принципиально новую задачу оценки технического состояния пароперегревателей.

### **Назначение и область применения, эффекты от внедрения 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. Методика не будет требовать специальной подготовки поверхностей нагрева (очистки от отложений и окалины) для измерения содержания ферритной фазы, будет ориентирован на специалистов по традиционному магнитному (магнитопорошковому) контролю.

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

### **Текущие результаты проекта**

Теоретически изучена эволюция изменённого слоя применительно к полуограниченному телу из сплава металла с максимальным и металла с минимальным сродством к окислителю. Установлено, что толщина изменённого слоя зависит от свойств окисленного металла и оксида, концентрации окислителя, эффективного коэффициента диффузии и времени окисления. Поведение эффективного коэффициента диффузии описывается уравнением Аррениуса.

Экспериментально установлено, что толщина измененного слоя до 70 мкм прямо пропорциональна содержанию ферритной фазы (%), измеренной с

помощью магнитного ферритометра.

Разработаны рабочие чертежи образцов для испытаний исследуемых сталей на жаростойкость и жаропрочность.

Проведены испытания сталей марки 12Х18Н12Т, ДИ59 и ЭП184 на жаростойкость и жаропрочность для исследования эволюции измененного слоя магнитным ферритометром. Установлено, что содержание ферритной фазы сф зависит от температуры и времени испытаний, влияние напряжения пренебрежимо мало. Результаты экспериментального исследования обобщены и представлены на следующих рисунках.