

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д411.006.01
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ «ПРОМЕТЕЙ» ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 24 декабря 2014 г. N44 д

О присуждении **Поповой Ирине Павловне**, гражданке России, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование сопротивления разрушению сплава базовой композиции 45Х25Н35С2Б и разработка методов оценки работоспособности реакционных змеевиков высокотемпературных установок пиролиза» по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)» принята к защите 22 октября 2014 г., протокол N42д диссертационным советом Д411.006.01 на базе Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» Министерства образования и науки Российской Федерации, 191015, Санкт-Петербург, улица Шпалерная, дом 49, созданным приказом Минобрнауки России №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Попова Ирина Павловна 1954 года рождения в 1977 году окончила Ленинградский политехнический институт им. М.И.Калинина по специальности «Динамика и прочность машин», работает в должности ведущего инженера в Научно-производственном экспериментальном комплексе Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2014 г. Федеральным государственным унитарным предприятием «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей».

Диссертация выполнена в Научно-производственном экспериментальном комплексе Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель - доктор технических наук, доцент Орыщенко Алексей Сергеевич, генеральный директор Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» (ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей»).

Официальные оппоненты:

Анастасиади Григорий Панеодович - доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии и исследований материалов СПбГПУ, Санкт-Петербург, и

Арутюнян Роберт Ашотович - доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник кафедры теории упругости СПбГУ, Санкт-Петербург, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Открытое акционерное общество «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова», г. Санкт-Петербург, в своем положительном заключении, подписанном Рыбниковым Александром Ивановичем – доктором технических наук, профессором, заведующим отдела ресурса, технической диагностики и ремонтно-восстановительных технологий металлов энергооборудования ОАО «НПО ЦКТИ», указала, что новые научные данные, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и техники и обеспечили разработку диссертантом методик определения долговечности металла реакционных труб на основе механизмов их повреждения, с учетом влияния отложений кокса и трещиноподобных дефектов. Разработанные рекомендации позволяют обеспечить проектный ресурс змеевиков установок пиролиза, а разработанные методики могут быть использованы при определении ресурса паропроводных труб.

Соискатель имеет 8 опубликованных работ (статьи, доклады), все по теме диссертации, общим объемом 79 печатных страниц; авторский вклад составляет от 75 до 92% объема. 5 статей опубликовано в рецензируемых научных изданиях, из них две опубликованы на английском языке в журнале «Inorganic Materials: Applied Research» в 2011 и 2014 гг.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Попова И.П., Орыщенко А.С., Уткин Ю.А., Одинцов Н.Б. Оценка работоспособности при стационарном нагружении элементов реакционного змеевика установки ЭП-300, изготовленного из сплава 45X26H33C2B2//**Металлург.** – 2009. - №4. - С. 53-56.
2. Попова И.П., Орыщенко А.С., Гецов Л.Б. Методика расчетного определения характеристик ползучести на первой и второй стадии на основе ограниченного числа изохронных кривых ползучести//**Вопросы материаловедения.** – 2010. – № 2(62). С. 83-95.
3. Попова И.П., Орыщенко А.С., Марголин Б.З. Расчетно-экспериментальное исследование кинетики трещины при ползучести в дугообразном образце из сплава 45X26H33C2B2 при температуре 900°C//**Вопросы материаловедения.** – 2012. - №2(70). - С. 133-149.
4. Попова И.П., Орыщенко А.С., Марголин Б.З., Уткин Ю.А., Громова Н.Б. Анализ методических особенностей расчета трубных элементов реакционных змеевиков печей пиролиза установки ЭП-300, изготовленных из сплава 45X26H33C2B2, при их термомеханическом нагружении в условиях высокотемпературной ползучести//**Вопросы материаловедения.** – 2013. - №1(73). - С.191-211.
5. Попова И.П., Орыщенко А.С., Уткин Ю.А., Одинцов Н.Б. Оценка работоспособности труб реакционных змеевиков установки ЭП-300, изготовленных из новых жаропрочных сплавов, при стационарном режиме нагружения
//**Вопросы материаловедения.** – 2007. - №1 - С.83-89.

На диссертацию и автореферат поступили 15 отзывов, все положительные.

Отзывы поступили от следующих предприятий: ООО «СИБУР-Кстово» (г.Кстово Нижегородской обл.), ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ» (г. Москва), АО «Опытно-конструкторское бюро «Гидропресс» (г.Подольск), АО «Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А.Доллежала» (АО «НИКИЭТ») (г.Москва), ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (г.Москва), ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (г. Санкт-Петербург), ОАО «Ижорские заводы» (Санкт-Петербург, г.Колпино), ФГБУН «Институт проблем машиноведения РАН» (г.Санкт-Петербург), ФГБОУ ВПО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова

(г.Санкт-Петербург), ФГБАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» (г.Санкт-Петербург), ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г.Уфа), ФГУП «Научно-исследовательский институт научно-производственное объединение «Луч» (г. Подольск), АО «Опытное конструкторское бюро машиностроения имени И.И.Африкантова» (г.Нижний Новгород), ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова РАН» (ИМЕТ РАН) (г.Москва), ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (г.Москва)

Все отзывы положительные и подтверждают актуальность работы, ее научную новизну и практическую значимость, в которой предложено решение актуальной научно-технической задачи прогнозирования работоспособности трубных элементов высокотемпературных установок пиролиза.

По автореферату сделаны следующие замечания:

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

- Известно, что теория ползучести с анизотропным упрочнением, учитывающая микронапряжения, лучше других теорий описывает явление ползучести при знакопеременном деформировании. В автореферате отсутствует обоснование выбора уравнений, описывающих ползучесть материала.

- В диссертационной работе взаимодействие усталости и ползучести описывается билинейным правилом суммирования повреждений (рис. 9). не ясно, применялось ли это правило при анализе прогрессирующего формоизменения.

ОАО «Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники им. Н.А.Доллежала», ООО «СИБУР-Кстово»

- Не рассмотрен вариант неравномерного распределения кокса по сечению трубы, что могло бы приводить к недопустимому формоизменению.

- Не учтено влияние среды при оценке скорости роста трещин на внутренней поверхности реакционных труб при циклическом нагружении.

- Из автореферата не ясно, чем объясняется другой вид формоизменения труб - отклонение их от вертикальной оси, приводящее к соприкосновению труб между собой или со стенками печи.

- Для оценки остаточного ресурса материала труб змеевика необходимо учитывать количество аварийных остановок, произведенных в течение срока эксплуатации

данной установки. Судя по автореферату, в работе рассматриваются только нормальные (штатные) условия эксплуатации змеевика.

ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ»

- Соискателем в автореферате недостаточно убедительно показано преимущество предложенного сплава 45X26H33C2B2 по сравнению с известными отечественными и зарубежными аналогами и соответствие этого сплава требованиям, предъявляемым к современному производству реакционных змеевиков высокотемпературных установок пиролиза.

- Сплав 45X26H33C2B2 использован для эксплуатации на опасных производственных объектах (ОАО «Сибур-нефтехим», завод «Мономер» ОАО «Салаватнефтеоргсинтез») взамен сплава по первоначальному проекту печей. Соискателю следовало бы сослаться на экспертное Заключение, обосновывающее такую замену на расчетные условия эксплуатации.

- Не понятно, как Ростехнадзор мог «согласовать змеевики».

- Практическая значимость результатов расчета по кинетике образования и развития трещиноподобного дефекта обусловлена возможностью выявления такого дефекта методами неразрушающего контроля. Трещины в центробежнолитой трубе зарождаются от внутренней поверхности трубы к наружной. Трещины, как правило, ориентированы в радиальном направлении (перпендикулярном оси трубы). В автореферате не представлены диагностические методики (или ссылки на них) с помощью которых проводили или можно проводить контроль глубины трещиноподобного дефекта в сплаве аустенитного класса 45X25H35C2B.

- В постановке задачи о росте трещины при высоких температурах в условиях циклического нагружения и ползучести соискателем использованы линейные модели предельного равновесия и роста трещины. Насколько такой подход обоснован и имеются ли у соискателя данные по трещиностойкости для таких температур? В уравнении (15) не представлена расшифровка входящих в него параметров.

АО ОКБ «Гидропресс»

- Нет конкретных данных по зависимости температуры стенки трубы от толщины слоя кокса.

- В автореферате проводится аналогия с нержавеющей сталью и используется билинейное суммирование усталостных и длительных статических повреждений с

поллюсом 0,3 - 0,3. На 6-ой российской конференции предложена кривая билинейного суммирования с полюсом 0,1 - 0,1. То есть для исследуемого конструкционного материала сплава 45X26H33C2B2 этот вопрос еще нуждается в дальнейших исследованиях.

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

- Из автореферата не ясно, учтены ли свойства шва при анализе сопротивления усталости.
- Испытания на ползучесть при 1100°C проводились на базе не более 1000 часов, что недостаточно для долгосрочных прогнозов.
- В автореферате недостаточно ясно приведено обоснование использования единой зависимости скорости роста трещины от C^* -интеграла для различных материалов. Отсутствует изложение механизма старения исследуемого сплава при рабочих температурах.
- Не приведено обоснование использования для данного материала кривой допускаемых напряжений для нержавеющей сталей. Каким образом исключалось влияние пластической деформации на перемещение захватов при исследовании развития трещины в условиях ползучести..

ФГБУН «Институт проблем машиноведения РАН», ОАО «Ижорские заводы»

- Автором не указаны пределы применимости разработанной методики оценки работоспособности змеевиковых высокотемпературных трубопроводов из жаропрочного аустенитного материала к другим системам конструкций из близких по классу материалов, работающих в аналогичных условиях.
- Не учтены сложная форма змеевиков и возможная неравномерность их нагрева при расчете температурных напряжений и моделировании развития трещин. Наличие в конструкции змеевика литых частей и сварных соединений делает актуальным расчет всей конструкции.

ФГУП «Научно-исследовательский институт научно-производственное объединение «Луч»

- В рамках исследований диссертационной работы данные по скорости ползучести обрабатывались по трем теориям ползучести, однако в материалах автореферата не представлено обоснование выбора используемой.

АО «ОКБМ Африкантов»

- Не освещены достаточно сложные законы суммирования повреждений в

результате процессов ползучести и усталости.

- В качестве критерия длительной прочности на стадии зарождения трещины предлагается величина $\sigma = (\sigma_{10^5}^T)_{\min}$ или $\sigma = (\sigma_{10^5}^T)/1,5$. Из автореферата не ясно, как эту величину использовать для многоосного напряженного состояния.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова РАН

- Оценка поврежденности труб реакционного змеевика с учетом роста слоя кокса проводилась в исследованиях Баязитова М.И., Чирковой А.Г., Хаерланамовой Е.А., которые опубликованы в открытой печати. Поэтому следует уточнить те особенности расчета, которые предлагает автор.

- Вызывает сомнение используемая автором оценка показателя в законе Пэриса на основе данных по термоусталости, поскольку механизмы процессов усталости и термоусталости различны.

2 отзыва без замечаний.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются известными специалистами в области материаловедения и механики материалов, имеющими значительное количество научных трудов в рецензируемых научных изданиях, как отечественных, так и зарубежных, в сфере исследований диссертации. Выбор ведущей организации обосновывается тем, что она широко известна в стране и является одной из ведущих в области проектирования и исследования ресурса конструкций, работающих при высоких температурах.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработана методика оценки ресурса реакционных змеевиков установок пиролиза на основе анализа возможных механизмов повреждения и предельных состояний реакционных труб по критериям длительной прочности, деформационной способности и циклической прочности; разработана методика оценки допускаемых размеров трещиноподобного дефекта в материале реакционной трубы;

Установлены закономерности повышения температуры трубы за счет ее закоксованности в течение рабочего пробега; предложена методология расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) с учетом роста слоя кокса; в результате решения температурно-деформационных задач выявлены причины

значительного формоизменения и повреждения реакционных труб.

Доказана слабая чувствительность к температуре испытаний зависимости скорости роста трещины от C^* -интеграла. Показано, что эта зависимость может быть описана единой функцией для различных сталей и сплавов с ГЦК решеткой.

Представленные на защиту основные положения содержат научную новизну:

Определен комплекс служебных характеристик сплава базовой композиции 45X25H35C2Б и металла шва, необходимых для расчетов длительной прочности реакционных змеевиков установок пиролиза, а также для расчетов прочности в условиях взаимодействия усталости и ползучести.

Выявлен наиболее значимый эксплуатационный фактор повреждения реакционных труб установок пиролиза – коксообразование. **Разработана** методика расчета полей температур и напряженно-деформированного состояния с учетом коксообразования.

Предложена общая схема оценки ресурса реакционных змеевиков установок пиролиза на основе анализа возможных механизмов повреждения и предельных состояний по критериям длительной прочности, деформационной способности и высокотемпературной циклической прочности.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

определены возможные механизмы повреждения и предельные состояния реакционных змеевиков установок пиролиза по критериям длительной прочности, деформационной способности и циклической прочности;

изучены причины преждевременных разрушений реакционных змеевиков установок пиролиза и установлены количественные характеристики изменения температурного режима и НДС труб змеевиков в процессе коксообразования;

показано, что нормативные расчеты прочности дают не достаточно консервативную оценку ресурса реакционных змеевиков, т.е. не позволяют обеспечить безопасную эксплуатацию конструкции;

предложена методика расчетной оценки допускаемых размеров трещины с учетом ее роста по механизму усталости и ползучести.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены «Рекомендации по оптимизации режимов эксплуатации литых изделий», используемые в ООО «СИБУР-Кстово», что подтверждено Актом использования результатов диссертационной работы;

результаты использованы при разработке технических условий «Змеевики радиантные двухкамерной печи пиролиза этановой фракции производительностью 32 т/ч по сырью установки ЭП-300 завода «Мономер» ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», на основании которых в НПЭК ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» спроектированы и изготовлены секции радиантных змеевиков для ОАО «Сибур-Нефтехим» и ОАО «Салаватнефтеоргсинтез»;

разработана методика оценки допускаемых размеров трещиноподобного дефекта в материале реакционной трубы, а также времени безопасной эксплуатации трубы с трещиной при работе змеевиков в штатном режиме.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

Экспериментальные результаты получены на сертифицированном оборудовании по апробированным методикам проведения испытаний; проведена верификация корректности определения S^* - интеграла в экспериментах в соответствии с методиками, представленными в стандартах RCC-MR и ASTM E 1457-02.

При исследованиях использован комплекс современных методов исследования, в т.ч. метод конечных элементов, экспериментальные методики изучения структуры, механических и теплофизических свойств материалов, статистическая обработка полученных экспериментальных данных

Полученные расчетные результаты и прогнозные зависимости согласуются с имеющимися теоретическими оценками и результатами экспериментальных исследований отработанных реакционных труб установок пиролиза.

Личный вклад соискателя состоит в:

- постановке и проведении экспериментов по исследованию служебных высокотемпературных характеристик материала и его сварных соединений, обработке полученных результатов;
- расчетах по построению нормативных кривых длительной и циклической прочности материала;
- решении температурно-деформационных задач методом конечного элемента в вязкоупругой постановке;
- расчетной оценке допускаемых размеров трещины и времени безопасной эксплуатации трубы с трещиной;
- разработке и внедрении рекомендаций для предприятий промышленности;
- подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Постановка задач и разработка методологии исследования выполнены совместно с научным руководителем. Микроструктурные исследования и определение теплофизических свойств пиролизного кокса выполнены с участием сотрудников Центра коллективного пользования «Состав, структура и свойства конструкционных и функциональных материалов» ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей».

На заседании 24 декабря 2014 г. диссертационный совет Д411.006.001 **принял решение присудить Поповой Ирине Павловне ученую степень кандидата технических наук.**

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 19, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель заседания
диссертационного совета
д.т.н., с.н.с.



Леонов Валерий Петрович

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., профессор

Малышевский Виктор Андреевич

24.12.2014 г.