

# ОАО "ВНИИНЕФТЕМАШ"

Joint-Stock Company VNIINEFTEMASH

115191, Москва,  
4-й Рощинский пр., д. 19

Телефон: 952-16-63  
Факс: 952-51-68



115191 Moscow, Russia  
19 4th Roschinsky proezd

Phone +7 495 952-16-63  
Fax +7 495 952-51-68

www.vniineftemash.ru

vnii@vniineftemash.ru

vniineftemash@rmt.ru

ИНН 7725053884, КПП 772501001, р/с 40702810500100000901

в ДО "Октябрьское отделение" ОАО "МИНБ" г. Москва

к/с 30101810300000000600, БИК 044525600, ОКВЭД 73.10, ОКПО 00220302, ОКАТО 45296559000

Исх. № ВГ-31/2082 от 26.11.2014 г.

На Ваш № 13-05/2152 от 30.10.14 г.

Ученому секретарю  
диссертационного совета Д411.006.01 при  
Федеральном государственном унитарном предприятии  
«Центральный научно-исследовательский институт  
конструкционных материалов «Прометей»  
г-ну Малышевскому В.А.  
191015, г. Санкт-Петербург, ул. Шпалерная, д. 49,  
ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук Поповой Ирины Павловны на тему:  
«Исследование сопротивления разрушению сплава базовой композиции 45X25H35C2Б  
и разработка методов оценки работоспособности реакционных змеевиков  
высокотемпературных установок пиролиза»

Диссертационная работа Поповой И.П. посвящена актуальной проблеме - анализу механизмов повреждения реакционных труб с учетом эксплуатации печей пиролиза, а также совершенствования методов расчета на прочность для более точного прогнозирования их деформирования и повреждения.

Целью работы является: установление наиболее вероятных причин преждевременного выхода из строя труб змеевиков установок пиролиза; расчетно-экспериментальное исследование сопротивления разрушению сплава базовой композиции 45X25H35C2Б при температурах от плюс 900 °С до плюс 1000 °С;

|                                                             |                     |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|
| Вх. № <u>3703112</u><br><u>04</u> <u>12</u> <u>20-14</u> г. | Исполнено<br>В ДЕЛО |
| Основн. <u>6</u> л.                                         | № _____             |
| Прил. _____ л.                                              | подп. _____         |

разработка метода оценки ресурса реакционных труб с учетом особенностей эксплуатации.

Практическая значимость работы состоит в том, что результаты работы использованы при разработке технических условий на изготовление радиантных змеевиков двухкамерной печи пиролиза.

Рекомендации соискателя по оптимизации режимов эксплуатации литых изделий использованы в ООО «СИБУР-Кстово». Кроме того, разработана методика оценки допускаемых размеров трещиноподобного дефекта в материале реакционной трубы, а также времени безопасной эксплуатации трубы с трещиной при стационарном режиме пиролиза.

Новизна работы подтверждена целым рядом научных работ.

Достоверность расчетных результатов, полученных с помощью программного модуля MSC.Marc подтверждается посредством сравнения с тестовыми расчетами. Кроме того, достоверность допущений, сделанных в разработанной модели, подтверждается экспериментальными исследованиями.

В автореферате отмечено, что эксплуатация реакционных змеевиковых систем высокотемпературных установок пиролиза производится при высоких температурах от плюс 900 °С до плюс 1070 °С, внутреннем давлении до 0,7 МПа, **периодическом разогреве и охлаждении** змеевиков в процессе эксплуатации. При этом в процессе реакции получения этилена на внутренних стенках трубчатого змеевика происходит осаждение углерода с последующим образованием пиролизного кокса, затрудняющего теплопередачу через стенку трубы. Реакционные трубы в процессе эксплуатации подвергаются ускоренному науглероживанию и износу. Соискателем установлены закономерности повышения температуры трубы за счет закоксованности в течение рабочего пробега. Предложена методология расчета НДС с учетом роста слоя кокса.

Следует отметить, что в 60÷70-х годах прошлого столетия был разработан сплав на базе 25%Cr35%Ni (C 0,4÷0,5; Si 1,9÷2,4; Cr 24,0÷28,0; Ni 34,0÷36,0; Nb 1,3÷1,7 + легирующие добавки), который отвечал указанным критериям, обладал высокой жаростойкостью и сопротивлением науглероживанию и был пригоден для длительной эксплуата-

ции в вышеуказанном интервале температур.

Разработчиками аналогов указанного сплава являются следующие фирмы: ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ», РФ, г. Москва (50X25H35C2Б); Kubota Corporation, Япония (KHR35C-HiSi); Paralloy, Англия (H39W); Schmidt+Clemens GmbH+Co, Германия (G 4857, GX40NiCrSi35-25) и др. Предел длительной прочности за 10'000 часов при 900 °С и 1000 °С составляет не менее 36,1 МПа и 18,2 МПа, соответственно.

Дальнейшая интенсификация процесса производства этилена потребовала повышение эксплуатационных характеристик жаропрочных сплавов, используемых в качестве материала в трубчатых змеевиках. Актуальным стала проблема длительной эксплуатации труб в агрессивных средах при температурах до плюс 1150 °С.

В 90-х годах прошлого столетия отечественными и зарубежными фирмами был предложен жаропрочный сплав на основе 35%Cr45%Ni (С 0,4÷0,6; Si 1,6÷2,1; Cr 34,0÷36,0; Ni 43,0÷47,0; Nb 1,4÷1,9 + легирующие добавки), удовлетворяющий вышеуказанным жестким условиям эксплуатации. Кроме того, указанный сплав не склонен к ваннадиевой коррозии и *metal dusting* коррозии.

Разработчиками аналогов вышеприведенного сплава являются следующие фирмы: ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ», РФ, г. Москва (45X35H46БСТЦ); Kubota Corporation, Япония (KHR 45A); Paralloy, Англия (H46M); Schmidt+Clemens GmbH+Co, Германия (Centralloy ET 45 Micro) и др.

В 1993 году организацией ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» был разработан сплав 45X26H33C2Б2 по ТУ 5.961-11512-93 (С 0,4÷0,45; Si 1,6÷1,8; Cr 25,0÷27,0; Ni 32,0÷34,0; Nb 1,6÷1,8 + легирующие добавки), в котором незначительно снижена массовая доля лишь аустенитообразующего элемента (никеля) в составе указанного сплава по сравнению со сплавом базовой композиции 45X25H35C2Б.

По содержанию автореферата есть следующие вопросы и замечания:

1 На странице 3 автореферата указано, что длительность эксплуатации в 100'000 часов примерно соответствует 15 годам, что неверно. На самом деле длительность эксплуатации в 100'000 часов соответствует  $[(100'000:24):365=11,41]$  годам, что отличается от данных соискателя более, чем на 3,5 года.

2 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.

3 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. Информация о наличии указанного Заключения экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ) по тексту автореферата отсутствует.

4 Не понятна фраза в пункте 1 раздела «Практическая значимость работы» о том, что «...изготовлены секции радиантных змеевиков, а также змеевики в сборе для ОАО «Сибур-нефтехим» и ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», согласованные с Ростехнадзором...». Не понятно, как Ростехнадзор мог «согласовать змеевики».

5 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.

6 Соискателем разработана расчётная методика оценки допускаемых размеров трещиноподобного дефекта в материале реакционной трубы, а также предложено определять время безопасной эксплуатации трубы с трещиной при **стационарном** режиме пиролиза. Однако, вопрос о том на сколько возможен стационарный режим пиролиза остался открытым, т.к. периодически (минимум два раза в месяц) идёт выжиг кокса, а это резко снижает продолжительность стационарного, стабильного режима работы печи (Чиркова

А.Г. Снижение повреждений в металле труб печей пиролиза в процессе паровоздушного выжига: автореф. дис. ... канд. технич. наук: 05.04.09 / Чиркова Алена Геннадиевна. – Уфа. 1998. – 24 с.).

Кроме того, само время выжига кокса занимает от 4 до 9% от общего времени работы печи (Прозорова О.Б. Совершенствование производства этилена в ОАО «Салаватнефтеоргсинтез»: автореф. дис. ... канд. технич. наук: 02.00.13 / Прозорова Ольга Борисовна, – Уфа. 2011. – 23 с.).

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

8 Имеются также замечания по оформлению автореферата из-за несоответствия общим требованиям к текстовым документам согласно положений ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

8.1 Согласно требованиям пункта 5.3.9 ГОСТ Р 7.0.11-2011 иллюстративный материал должен быть оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105 «Общие требования к текстовым документам».

Согласно пункта 4.3 ГОСТ 2.105 при оформлении иллюстраций слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных и располагают следующим образом: «Рисунок 1 – Схема оценки ресурса ...». В автореферате же иллюстрация оформлена так: «Рис.1. Схема оценки ресурса ...», что не соответствует требованиям ГОСТ 2.105.

При ссылке на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 1». В автореферате же эти ссылки не соответствуют требованиям ГОСТ 2.105.

По всему тексту автореферата допущены однотипные нарушения требований пункта 4.3 ГОСТ 2.105.

8.2 Согласно требованиям пункта 4.1 ГОСТ 2.105 при построении документа, его текст разделяют на разделы и подразделы, которые должны иметь порядковые номера.

В конце номера раздела (подраздела) точка не должна ставиться. Кроме того, согласно пункта 4.1.3 ГОСТ 2.105 в конце номера пункта точка также не должна ставиться.

По всему тексту автореферата допущены однотипные нарушения требований ГОСТ 2.105 – после нумерации пунктов, разделов и подразделов в конце номеров пунктов, разделов и подразделов проставлена точка.

8.3 Построение текстовой части автореферата выполнено с нарушениями требований записи каждого раздела, пункта, подпункта.

8.3.1 Разделы, пункты и подпункты должны иметь порядковые номера в пределах всего документа (автореферата), обозначенные арабскими цифрами и должны быть записаны **с абзацного отступа** (требования пункта 4.1.2 и пункта 4.1.8 ГОСТ 2.105). Абзацный отступ во многих местах автореферата отсутствует. Например, в разделах: «Цель работы»; «Научная новизна»; «На защиту выносятся»; «Общие выводы».

Несмотря на отмеченные замечания, работа в целом представляется законченной, имеющей практическую значимость и научную новизну и отвечающей требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Её автор, Попова Ирина Павловна заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук.

Технический директор



В.Л. Головачев

Подпись руки Головачева Владимира Леонидовича заверяю:  
Заместитель генерального директора  
ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ» по персоналу

М.П.



И.Н. Копченова

Байдуганов А.М. – тел.: 8-495-9543446 [vniineftemash@list.ru](mailto:vniineftemash@list.ru)

