

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д.222.001.01 на базе Открытого акционерного общества «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ»)

по диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 01 июня 2017 года, протокол № 3.

О присуждении **Ношин Марии Александровне**, гражданке РФ, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование ресурсных характеристик с разработкой методики определения долговечности котельных пароперегревателей из стали марки 10X13Г12БС2Н2Д2 (ДИ59)» в виде рукописи по специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты» принята к защите 22 марта 2017 года, протокол № 2, диссертационным советом Д.222.001.01 на базе Открытого акционерного общества «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт» по адресу: РФ, 115280, г. Москва, ул. Автозаводская, 14. (приказ № 156/нк от 01.04.2013 г. с изменениями согласно приказу № 215/нк от 21.04.2014 г., № 33/нк от 24.01.2017 г. и № 208/нк от 16.03.2017 г.).

Соискатель **Ношин Мария Александровна**, 1989 года рождения, в 2012 году окончила федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Технологический Университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»). Обучаясь в аспирантуре Открытого акционерного общества «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт», подготовила диссертацию. Окончание аспирантуры 03.06.2017 года.

В настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника в Открытом акционерном обществе «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт».

Диссертация выполнена в отделении материалов Открытого акционерного общества «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт».

Научный руководитель – **Богачев Владимир Алексеевич**, гражданин РФ, доктор технических наук, главный научный сотрудник отделения материалов Открытого акционерного общества «Всероссийский дважды ордена

Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт».

Официальные оппоненты:

1. **Корнеев Алексей Евгеньевич** – гражданин РФ, доктор технических наук, директор центра коллективного пользования – заведующий отделом физико-химических исследований металлов Акционерного общества «Научно-производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения» (АО «НПО «ЦНИИТМАШ»);

2. **Попов Александр Борисович** – гражданин РФ, кандидат технических наук, главный эксперт по надёжности и ресурсу тепломеханического оборудования управления технической поддержки компании «Энел Россия»
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт энергетических проблем химической физики им. В.Л. Тальрозе Российской академии наук (ИНЭПХФ им. В.Л. Тальрозе РАН), г. Москва в своём **положительном заключении**, подписанном заместителем директора по науке Жигачем А.Н., главным научным сотрудником, д.ф.-м.н. Никитиным А.И., ведущим научным сотрудником, к.ф.-м.н. Лейпунским И.О. ведущим научным сотрудником, к.т.н. Берёзкиной Н.Г. и утверждённым директором, д. ф.-м. н, профессором Емохоновым В.Н. указала, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненного автором исследования ресурсных характеристик получены результаты, позволяющие повысить надёжность котлов ТЭС с пароперегревателями из стали ДИ59. Работа соответствует специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты» и отвечает критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года (с изменениями № 335 от 21 апреля 2016 года). Автору диссертации Ношин М.А. может быть присуждена учёная степень кандидата технических наук по специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты».

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе 6 по теме диссертации, из которых 3 опубликованы в 2014 и 2015 г. в рецензируемом научном журнале «Электрические станции». В статьях соискатель приводит результаты и выводы диссертационного исследования по повышению надёжности котлов ТЭС с пароперегревателями из стали марки ДИ59.

Подготовка публикаций проведена автором самостоятельно или при его непосредственном участии совместно с коллегами по работе и научным руководителем.

Наиболее значимые работы соискателя по теме диссертации:

1. **Богачев, В.А.** Исследование предела длительной прочности стали марки ДИ59 пароперегревателей котла типа ТПЕ-216М Харанорской ГРЭС [Текст] / В.А. Богачев, Г.А. Урусова, М.А. Шумовская // Электрические станции. – 2014. – № 10. – С. 27–31.

2. **Богачев, В.А.** Разработка зависимости для определения эквивалентной температуры эксплуатации пароперегревателей из стали марки ДИ59 [Текст] / В.А. Богачев, Г.А. Урусова, М.А. Шумовская // Электрические станции. – 2015. – № 3. – С. 12–18.

3. **Богачев, В.А.** Методика определения остаточного ресурса пароперегревателей из стали марки ДИ59 [Текст] / В.А. Богачев, В.В. Светушков, М.А. Шумовская [и др.] // Электрические станции. – 2015. – № 5. – С. 16–20.

На диссертацию и автореферат диссертации поступили следующие отзывы: отзыв ведущей организации, 2 отзыва официальных оппонентов, 11 отзывов на автореферат. Всего получено 14 отзывов, в том числе, от НИИ Академии наук РФ (1), отраслевых НИИ (3), ВУЗов (5), генерирующих предприятий (5).

Отзывы положительные в большинстве с вопросами и замечаниями, ни одно из замечаний не является критическим. Один отзыв без вопросов и замечаний. В некоторых отзывах на автореферат и диссертацию есть схожие вопросы и замечания.

Во всех отзывах отмечается актуальность, научная новизна и практическая значимость работы. Представленный материал рассматривается как научно-квалификационная работа, выполненная на высоком профессиональном уровне и имеющая прикладное значение для энергетики.

В отзывах имеются следующие вопросы и замечания.

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт энергетических проблем химической физики им. В.Л. Тальрозе Российской академии наук (ИНЭПХФ им. В.Л. Тальрозе РАН) (ведущая организация).

1. В разделе 3.2 отсутствует детальный статистический анализ предлагаемых эмпирических формул (3.3-3.7) и не описан способ получения численных параметров в предлагаемых формулах. В частности, из текста диссертации неясно, взяты ли формулы 3.3...3.7 из литературных источников или получены автором в ходе выполнения диссертационной работы. Не пока-

зано, что выбранные формулы дают наилучшее соответствие с экспериментальными данными, по сравнению, например, с линейной аппроксимацией.

2. При описании использованных методик (раздел 2.2.1 диссертации, стр. 59 и раздел 3.1, стр. 70) данные, полученные искровой оптико-эмиссионной спектрометрией, РСМА и рентгено-флуоресцентной спектрометрией, по принципу действия определяющих элементный состав образца, называются данными по химическому составу, что терминологически неверно.

3. При РСМА малых объектов (карбидов и малых частиц сигма-фазы) не снижалось ускоряющее напряжение электронного микроскопа, что могло бы несколько увеличить точность элементного анализа. Все объекты исследовались при энергии пучка электронов 20 кэВ.

4. В главе 3 на рис. 3.2 (стр. 71) представлено слепое изображение распределения кремния по поверхности образца.

5. В главе 4 следовало дать детальную интерпретацию причины пониженной длительной прочности стали ДИ59 относительно стандартных данных.

6. В главе 5 нет данных в пользу магнитной ферритометрии для вырезов из пароперегревательных труб.

7. В главе 5 не ясны обозначения в приведенных формулах 5.1, 5.2.

2. Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения» (АО «НПО «ЦНИИТМАШ»), директор центра коллективного пользования – заведующий отделом, д.т.н. Корнеев А.Е. (официальный оппонент).

1. В списке литературы автор диссертации ссылается на работу своего научного руководителя В.А. Богачева «Причина повреждения пароперегревательных труб из стали ДИ59 котла ТПЕ-216М» [4]. В этой работе рассматривается влияние мартенсита деформации на процесс коррозионного растрескивания труб пароперегревателей из стали ДИ59. Авторы статьи приходят к выводу, что разрушение вызвано коррозионным растрескиванием, порождённым мартенситом деформации и остаточными напряжениями. Мартенсит деформации является ферромагнетиком и уверенно идентифицируется методами магнитной ферритометрии. Не совсем понятно, почему в диссертационной работе мартенситу деформации, как одной из возможных причин образования трещин, не уделяется достаточно внимания. Его можно рассматривать как причину (он менее стоек к коррозии, чем аустенит того же состава) и как признак (он свидетельствует о наличии пластической деформации в металле) коррозионного растрескивания.

2. В работе автор не формулирует однозначной методики выявления количественного определения σ -фазы – рентгеноструктурный или оптический металлографический анализ. Оба метода позволяют идентифицировать указанную фазу и определять её количество. Оба метода приводятся в диссертационной работе в качестве используемых для стали ДИ59.

3. Компания «Энел Россия», главный эксперт по надёжности и ресурсу тепломеханического оборудования, к.т.н. Попов А.Б. (официальный оппонент).

1. Во введении и обзоре литературы уделено мало внимания имеющимся негативным публикациям о стали ДИ59 и их анализу.

2. В главе 1 говорится о необходимости вырезки представительных образцов для оценки остаточного ресурса. Однако сама практическая сторона выделения именно представительных образцов на реальных котлах затронута недостаточно подробно.

3. Примечание 3 к таблице 2.2 дано некорректно.

4. В главе 2 следовало бы с большей определенностью обозначить причины исходных недостатков, выявленных в трубах, использованных для проведения экспериментальной части работы, и их пригодность для проведения обобщений.

5. Не обоснован выбор первой температуры для испытаний на высокотемпературное старение (стандартный ряд 600, 650, 700 °С, у автора - 585, 650, 700 °С).

6. В таблице 2.6 допущена ошибка: вместо 1200 должно быть 12000 часов.

7. В главе 3 не раскрыт смысл величины температурного эквивалента напряжений.

8. Не вскрыт смысл определения химического состава σ -фазы в контексте основной цели работы.

9. Результаты испытания стали ДИ59 на длительную прочность в главе 4 оказались на 20 – 30 % ниже показателей, приведённых в нормативной документации. Кроме вывода о влиянии размера зерна и содержания ниобия в металле, есть ли ещё объяснение этому несоответствию?

10. В главе 5 не обосновано применение магнитной ферритометрии для выбора представительных вырезок из труб.

4. Филиал «Шатурская ГРЭС» ПАО «Юнипро», начальник отдела технической диагностики Васильев А.А.

1. Не обоснована применимость параболического порядка $\frac{1}{2}$ закона и уравнения Аррениуса при обобщении опытных данных по содержанию σ -фазы.

2. Не обоснована причина пониженной на 20 – 30 % длительной прочности стали марки ДИ59 относительно данных стандарта и ТУ 14-ЗР-55-2001 на трубы для паровых котлов и трубопроводов.

5. Кармановская ГРЭС филиал ООО «БГК», директор Ковалёв Ю.Б., инженер 1 кат. котлотурбинного цеха Айгишев В.А.

1. Согласно стандарту ОАО «ВТИ», для оценки остаточного ресурса пароперегревателей из аустенитной хромоникелевой стали марки 12Х18Н12Т представительные вырезки следует делать на основании результатов ультразвуковой толщинометрии. Для определения остаточного ресурса пароперегревателей из стали марки ДИ59 вырезки предложено делать по результатам магнитной ферритометрии. Следовало бы обосновать отказ от традиционного и проверенного на практике неразрушающего метода контроля.

2. Существует государственный стандарт по длительной прочности и технические условия на трубы из стали марки ДИ59. Недостаточное количество опытных данных в области рабочих напряжений – не аргумент для нового, длительного и дорогостоящего испытания металла на жаропрочность.

3. В одном пароперегревателе мощного энергоблока сотни змеевиков. Необходимо указать количество вырезок, которое следует сделать для корректного определения остаточного ресурса пароперегревателя.

6. Филиал «Костромская ГРЭС» АО «Интер РАО – Электрогенерация», главный инженер Мешков А.В., ведущий инженер технолог отдела технической диагностики Антонов Е.А.

Без вопросов и замечаний.

7. Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ «МЭИ»), руководитель отдела «Парогенераторостроение» кафедры ПГТ, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, д.т.н., проф. Росляков П.В.

1. Следует дать определение термина «эквивалентная температура эксплуатации».

2. Можно ли использовать методику для определения причины повреждения труб?

3. Влияет ли содержание σ -фазы на предел длительной прочности стали?

4. Следовало бы привести минимальное число вырезок из труб для определения остаточного ресурса пароперегревателя.

8. ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова» (ОАО НПО «ЦКТИ»), заведующая лабораторией ресурса и технической диагностики материалов котлов и трубопроводов, к.т.н. Баландина М.Ю., глав-

ный специалист лаборатории прочности котлов и трубопроводов, к.т.н. Данышевский И.А.

1. Известно, что сталь марки ДИ59 имеет большой разброс по уровню кратковременных и длительных пластических характеристик и может быть склонна к хрупким разрушениям при достаточно высоком уровне длительной прочности. В работе не содержится данных по уровню длительной пластичности металла труб и её связи со структурным фактором.

2. Не ясно: возможно ли применять данную методику для других сталей аустенитного класса?

9. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», заведующий кафедрой парогенераторостроения и парогенераторных установок, д.т.н. Заворин А.С.

1. Из описания методики (стр. 8) остаётся непонятным, насколько температура образцов при измерении содержания σ -фазы отличалась от температуры предшествующего испытания и насколько это могло сказаться на получаемых данных.

2. Экспериментальную зависимость относительной деформации ползучести (рис. 4 на стр. 15) желательно было бы прокомментировать не только фактологическим образом, как это изложено в автореферате. Ведь если, как отмечено, практически отсутствует первая и вторая стадии кривой ползучести, а есть только участок ускоренной ползучести, то возникает вопрос: а можно ли вообще эксплуатировать такую сталь?

10. Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта» (ООО «НИИ Транснефть»), заведующий сектором инновационных программ, к.т.н. Змиенко Д.С.

Для анализа поведения σ -фазы в металле, в том числе для структурного и химического анализа данной фазы, целесообразно использование дифференциального рентгеноструктурного анализа, позволяющего однозначно идентифицировать фазы в металле.

11. ПАО «Мосэнерго», эксперт службы по управлению ресурсом металла оборудования, к.т.н. Должанский П.Р.

1. Автору следует интерпретировать понятие «эквивалентная температура эксплуатации», как инструмент для определения остаточного ресурса.

2. На чём основана рекомендация соискателя выполнять вырезки из змеевиков пароперегревателя на основании только результатов магнитной ферритометрии тепловой неравномерности, а не ультразвуковой толщинометрии? Представляется, что необходимо учитывать и результаты толщино-

метрии. Какое количество вырезов необходимо выполнять для достоверного определения остаточного ресурса пароперегревателя?

3. В автореферате не отражены специфические особенности σ -фазы в стали ДИ59 в отличие от стали 12Х18Н12Т.

12. Национальный исследовательский технологический университет МИСиС, проф., д.х.н. Ракоч А.Г.

1. Электронное изображение микроструктуры и карты распределения химических элементов в металле трубы из стали ДИ59 после старения при 2000-кратном увеличении (СЭМ), представленные на рисунке 1, являются мало читаемыми и довольно сложны к пониманию из-за плохого качества изображения. Хотелось бы увидеть эти изображения в лучшем качестве (цвете).

2. Зависимость для эквивалентной температуры эксплуатации базируется в основном на данных, полученных путём высокотемпературного старения металла при температурах 585, 650 и 700°C. Испытание высокотемпературным старением во многом тождественно стандартному испытанию на жаростойкость, которое проводят при трёх температурах: рабочей, ниже и выше рабочей на 50°C. Температура 650°C является не рабочей, а предельной для стали ДИ59. Необходимо объяснить выбранный режим испытаний.

3. Почему в структуре металла появляется σ -фаза, к какому классу соединений она относится?

4. Остаточный ресурс элементов из перлитных сталей, работающих в условиях ползучести, зависит от микроповреждённости металла (числа пор). Из текста не ясно: было ли обнаружено порообразование при испытаниях стали ДИ59 на ползучесть и длительную прочность. Если поры отсутствовали, то этот эффект подтверждает корректность задач исследования.

13. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», профессор кафедры ТЭС, к.т.н. Шелыгин Б.Л.; заведующий кафедрой ТЭС, профессор, д.т.н. Барочкин Е.В.

1. На стр. 4 и 5 неудачная фраза «для определения эквивалентной температуры ... по эквивалентной температуре».

2. На стр. 8 следовало обосновать геометрические характеристики испытываемых образцов.

3. На стр. 11 ссылка на уравнение (14) неудачная, т.к. данная зависимость в автореферате приводится позднее.

4. На стр. 14 отсутствует единообразие в размерности температурной характеристики $T_{\text{экв}}$ (или «Т», или «°С»).

14. Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском, доцент кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника, к.т.н. Иваницкий М.С.

Следует отметить отсутствие в автореферате сведений об оценке экономического эффекта достигаемого вследствие прогнозирования остаточного ресурса пароперегревателей и предотвращения аварийных ситуаций.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются известными специалистами по определению служебных свойств металла, разработке методических основ идентификации вторичных фаз в сталях при эксплуатации и обеспечению надёжности и ресурса оборудования ТЭС. **Выбор ведущей организации связан** с тем, что она широко известна своими достижениями в области металлографического исследования, идентификации причин повреждения и повышения надёжности и продления срока службы теплоэнергетического оборудования. Результаты работы оппонентов и сотрудников ведущей организации публикуются в многочисленных научных журналах, в том числе рекомендованных ВАК РФ. Публикации оппонентов и сотрудников ведущей организации близки к теме диссертации. Оппоненты и сотрудники ведущей организации не имеют общих с соискателем публикаций.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем высокотемпературных испытаний на старение, ползучесть и длительную прочность металла пароперегревательных труб из стали марки ДИ59:

- получены полуэмпирические зависимости для определения эквивалентной температуры эксплуатации в интервале 585 – 700 °С по содержанию σ -фазы, характеризующему воздействию режима эксплуатации на структуру и свойства металла;
- получены зависимости предела длительной прочности и допускаемого напряжения от температуры и времени эксплуатации для расчёта времени до разрушения металла в области рабочих напряжений 30 – 80 МПа;
- разработана методика определения остаточного ресурса пароперегревателей по результатам исследования представительных вырезов из труб;
- подтверждена обоснованность методики апробацией на пароперегревателе после длительной эксплуатации.

Теоретическая значимость исследования состоит в следующих доказательствах:

- рост содержания вторичной σ -фазы в металле во времени описывается параболическим порядка $\frac{1}{2}$ законом диффузии для полуограниченного тела при граничных условиях первого рода;
- вклад температуры и напряжения в диффузию при ползучести металла описывается с помощью обобщённого уравнения Аррениуса;
- температурно-временной параметр И.И. Трунина для долговечности в условиях ползучести металла обладает общностью.

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

- разработана и внедрена методика определения остаточного ресурса котельных пароперегревателей из стали марки ДИ59;
- методика служит для повышения надёжности котлов путём оценки фактического состояния пароперегревателей и выявления труб, исчерпавших ресурс надёжной эксплуатации;
- методика применяется лабораториями металлов и отделами технической диагностики ТЭС.

Достоверность научных положений обоснована использованием современных сертифицированных машин, печей, приборов и методик для экспериментального исследования, применением при обобщении опытных данных фундаментальных физических законов, удовлетворительным согласованием с известными опытными данными, практическим подтверждением результатов лабораторных исследований.

Личный вклад соискателя состоит в анализе состояния проблемы по теме диссертации, определении задач исследования, разработке программы высокотемпературных испытаний, апробации полученных результатов. Эксперименты, интерпретация и обобщение опытных данных, подготовка публикаций проведены автором самостоятельно или при его непосредственном участии совместно с коллегами по работе и научным руководителем.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований получены результаты, позволяющие повысить надёжность котлов ТЭС с пароперегревателями из стали марки ДИ59. Работа соответствует пункту 1 (разработка научных основ методов расчёта, выбора и оптимизации параметров, показателей качества и режимов работы агрегатов, систем и тепловых электростанций в целом) и пункту 5 (повышение надёжности и рабочего ресурса агрегатов, систем и тепловых электростанций в целом) паспорта специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты» и отвечает критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней,

утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года (с изменениями № 335 от 21 апреля 2016 года).

На заседании 01 июня 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Ношин М.А. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 9 докторов наук по специальности защищаемой диссертации 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты», участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – 16, против присуждения учёной степени – 0 недействительных бюллетеней – 0

Председатель

диссертационного совета

Тумановский Анатолий Григорьевич

Учёный секретарь

диссертационного совета



Рябов Георгий Александрович

«01» июня 2017 г.