

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.078.01
(Д 002.060.01),
созданного на базе Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А.
Байкова Российской академии наук,
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 15.10.2026 г. № 9/26

О присуждении Болотникову Алексею Игоревичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование закономерностей деградации конструкционных материалов в процессе нагружения методами механики и физики разрушения» по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» принята к защите 25 июня 2026 г., протокол № 6/26, диссертационным советом 24.1.078.01 (Д 002.060.01), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН, адрес: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49), приказ Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Болотников Алексей Игоревич, 11 октября 1997 года рождения, в 2021 году окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 16.04.01 Техническая физика. В 2025 году освоил программу подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН) с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Работает в должности «младший научный сотрудник» в лаборатории структурной механики и физики разрушения материалов им. академика И.И. Новикова (№ 21) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН).

Диссертация выполнена в лаборатории структурной механики и физики разрушения материалов им. академика И.И. Новикова (№ 21) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН).

Научный руководитель – главный научный сотрудник лаборатории структурной механики и физики разрушения материалов им. академика И.И.

Новикова (№ 21) ИМЕТ РАН, профессор, доктор технических наук (01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела»; 01.02.06 «Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры») Ботвина Людмила Рафаиловна.

Официальные оппоненты:

1. Кудря Александр Викторович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры металловедения и физики прочности НИТУ «МИСИС», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (НИТУ «МИСИС»), г. Москва.

2. Марченков Артем Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии металлов НИУ «МЭИ», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ «МЭИ»), г. Москва.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (г. Москва) в своем **положительном отзыве**, подписанном заведующим отделом «Прочность, живучесть и безопасность машин» ИМАШ РАН им. А.А. Благонравова, доктором технических наук, профессором Матвиенко Юрием Григорьевичем, ученым секретарем Научно-технического совета, научным сотрудником отдела «Прочность, живучесть и безопасность машин» ИМАШ РАН им. А.А. Благонравова, кандидатом технических наук Черновым Дмитрием Витальевичем, и утвержденным исполняющим обязанности директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, доктором технических наук Рагуткиным Александром Викторовичем, указала, что диссертация является законченной, самостоятельной научно-квалификационной работой, посвященной актуальной научной теме. В работе получены результаты, несомненно обладающие научной новизной, и решен ряд задач, имеющих теоретическое и практическое значение. Предлагаемые автором комплексные методы диагностического исследования деградации конструкционных материалов в процессе нагружения методами механики и физики разрушения направлены на решение задач обоснования остаточной прочности и ресурса некоторых критериев циклической деградации исследованных сталей, машин и конструкций после длительной эксплуатации. Результаты работы могут быть использованы проектно-конструкторскими бюро и организациями, эксплуатирующими критически важные объекты машиностроения (судостроения, нефтегазовой отрасли и энергетики) для обеспечения безопасной эксплуатации. Результаты работы внедрены в деятельность ООО «Центр исследований экстремальных ситуаций». По экспериментальному, методическому и теоретическому уровням, объему работы, научной новизне,

практической значимости и актуальности данная диссертационная работа полностью отвечает требованиям ВАК РФ (п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Болотников Алексей Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

В положительном отзыве ведущей организации имеются следующие замечания:

1. Автор использует словосочетание «циклическая деградация», что может вызвать некоторое недопонимание, поскольку неочевидно, с чем связана деградация: с временной (циклической) периодичностью накопления повреждений или циклическим нагружением.
2. Экспериментальные закономерности изменения, взаимосвязи параметров акустической эмиссии и корреляции цифровых изображений и критерии деградации исследованных сталей в условиях циклического нагружения установлены для случая одноосного нагружения. Возможно ли использование полученных закономерностей и критериев для случая сложного (не одноосного) нагружения?
3. Известно, что большинство объектов машиностроения эксплуатируется в условиях низких и высоких температур, коррозионно-активных сред и наличия побочных шумов, не связанных со структурными повреждениями конструкционного материала. Возможно ли использование предложенных автором диагностических методов для машин и конструкций в эксплуатации?
4. Автором установлено влияние размера зерен на площадь слабдеформированных и сильнодеформированных пластических зон для мелкозернистых металлов. Изменится ли наблюдаемая закономерность в случае крупнозернистого металла?
5. Какими подтвержденными физическими процессами объясняется неоднозначная зависимость статических механических свойств сталей от относительного числа циклов предварительного нагружения (рис. 44 и 46)?
6. На зависимости J-интеграла от относительной растягивающей нагрузки выделены три стадии, а, именно: зарождение микротрещин, их слияние и страгивание макротрещины. Дана интерпретация такой стадийности на основе анализа пластической зоны и процессов, происходящих в ней. Вместе с тем в работе отсутствуют документальные подтверждения предложенной интерпретации.
7. В некоторых местах текста диссертации есть несоответствие нумерации ссылок на список литературы с нумерацией ссылок в списке литературы.

От официального оппонента д.т.н. Кудри А.В. поступил положительный отзыв со следующими замечаниями:

1. В главе 2 исходная микроструктура исследуемых сталей охарактеризована недостаточно полно: не приведены количественные данные о загрязненности неметаллическими включениями, масштабах полосчатости и анизотропии проката, что важно, в частности, с учетом потенциального влияния этих факторов на АЭ.
2. Взаимосвязь параметров АЭ, размеров пластических зон и размера зерна $d^{-1/2}$ стали 12X18H10T была оценена по трем значениям размера зерна; для более состоятельных оценок необходимо расширение диапазона размеров структурных состояний и соответствующая статистическая обработка полученных закономерностей.
3. Предварительное циклирование разных сталей проводилось при различных относительных уровнях максимального напряжения (например, $\sim 1,05 \cdot \sigma_{0,2}$ для стали F500W и $\sim 0,9 \cdot \sigma_{0,2}$ для стали 15X2ГМФ), что усложняет прямое количественное сопоставление чувствительности критериев деградации для разных материалов; целесообразно было бы обсудить влияние уровня напряжения цикла на установленные закономерности.
4. В работе не в полной мере обсужден вопрос о переносимости установленных на лабораторных корсетных образцах количественных значений критериев (S_L , S_H , $\Sigma N_{AЭ}$ и др.) на образцы иной геометрии и натурные элементы конструкций с учетом влияния масштабного фактора и условий регистрации АЭ.
5. В работе использован широкий спектр разнородных характеристик АЭ, было бы целесообразно в итоге, на основе накопленного опыта, ранжировать их по степени эффективности и дать рекомендации по выбору информативных параметров АЭ применимо к решаемым задачам в физике разрушения и металловедении.

От официального оппонента к.т.н. Марченкова А.Ю. поступил положительный отзыв со следующими замечаниями:

1. Из текста автореферата и диссертации не всегда ясно, какое количество образцов испытывалось для каждого режима предварительного циклирования; статистическая обработка разброса параметров АЭ, которым свойственна значительная вариативность, представлена ограниченно, что затрудняет суждение о доверительных интервалах критериальных значений.
2. Положение характерной точки σ_{D2} определяется по второй производной напряжения по деформации, чувствительной к шуму исходных данных; целесообразно было бы привести сведения о применявшейся процедуре сглаживания и оценить её влияние на устойчивость определения σ_{D2} .

3. В автореферате и диссертации говорится о явлении акустического затишья в начале стадии III, которое автор связывает с формированием слабдеформированной зоны и локализацией процесса разрушения. Однако анализ представленных в работе кривых деформирования с наложенными на них данными АЭ показывает, что для части из них упомянутое акустическое затишье нехарактерно либо неочевидно.

4. Различия в положениях характерных точек, в том числе точки σ_{D2} , на кривых растяжения исследуемых бейнитных и аустенитных сталей, а также ряд других полученных результатов на стали 12X18H10T объясняются протеканием мартенситного превращения при деформации. При этом в работе недостаточно внимания уделено исследованию этого превращения. Целесообразно было бы использовать методы электронной микроскопии (сканирующей или просвечивающей) либо магнитные методы неразрушающего контроля для исследования кинетики этого явления. Это позволило бы перевести часть рассуждений из гипотетических в экспериментально подтверждённые.

Соискатель имеет двадцать опубликованных работ, из них по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях опубликовано десять работ, в том числе четыре в изданиях, отнесенных к категории К1 и К2 из Перечня ВАК.

Материалы диссертации достаточно полно изложены в опубликованных работах автора. Требования к публикациям основных научных результатов диссертации, предусмотренные Положением о порядке присуждения ученых степеней, выполнены. В представленной диссертации не обнаружены заимствования материала без ссылок на автора и/или на источник заимствования, а также результаты научных работ, выполненных соискателем ученой степени в соавторстве, без ссылок на соавторов. Текст диссертации, представленной в диссертационный совет, идентичен тексту диссертации, размещенной на сайте организации. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения о работах, опубликованных соискателем.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Циклическая деградация аустенитной стали 12X18H10T с различным размером зерен / Л. Р. Ботвина, **А. И. Болотников**, М. Р. Тютин, В.П. Левин, Е.Н. Белецкий, И.О. Синев, Ю.А. Демина, А.Б. Замтфорт // Деформация и разрушение материалов. – 2026. – № 3. – С. 27-40.
2. Исследование деградации высокохромистой трубной стали в условиях коррозии / Л. Р. Ботвина, М. Р. Тютин, **А. И. Болотников**, А. А. Комиссаров, Е. Д. Долгач, Е. А. Чистопольцева // Деформация и разрушение материалов. – 2026. – № 2. – С. 35-40.

3. О характерных напряжениях деградации конструкционных материалов при растяжении / Л. Р. Ботвина, **А. И. Болотников**, И. О. Синев // Металлы. – 2025. – № 2. – С. 49-56.
4. Оценка характеристик множественного и локализованного разрушения методами акустической эмиссии и корреляции цифровых изображений / Л. Р. Ботвина, **А. И. Болотников**, М. Р. Тютин // Металлы. – 2024. – № 1. – С. 65-73.
5. Особенности деформации и разрушения нержавеющей стали с разным размером зерен / Л. Р. Ботвина, **А. И. Болотников**, В. П. Левин, Ю. А. Демина, М. Р. Тютин, Е. Н. Белецкий, И. О. Синев // Металлы. – 2024. – № 6. – С. 75-86.
6. Малые усталостные трещины в аддитивной стали 316L: влияние на механические свойства, параметры акустической эмиссии и кинетику разрушения / Л. Р. Ботвина, М. Р. Тютин, **А. И. Болотников**, И. О. Синев, Е. Н. Белецкий, И. А. Иванов, А. В. Юдин // Деформация и разрушение материалов. – 2024. – № 2. – С. 25-34.
7. Small Fatigue Cracks in Additive 316L Steel: Effect on Mechanical Properties, Acoustic Emission Parameters, and Fracture Kinetics / L. R. Botvina, M. R. Tyutin, **A. I. Bolotnikov**, I. O. Sinev, E. N. Beletsky, I. A. Ivanov, A. V. Yudin // Russian Metallurgy (Metally). – 2024. – Vol. 2024, No. 2. – P. 487-494.
8. Влияние предварительного циклирования на характеристики акустической эмиссии конструкционной стали 15Х2ГМФ / Л. Р. Ботвина, М. Р. Тютин, **А. И. Болотников**, Т. Б. Петерсен // Металлы. – 2021. – № 1. – С. 37-48.
9. Hierarchy of Microcracks under Cyclic and Static Loads / L. R. Botvina, **A. I. Bolotnikov**, I. O. Sinev // Physical Mesomechanics. – 2020. – Vol. 23, No. 6. – P. 466-476.
10. Иерархия микротрещин при циклическом и статическом нагружении / Л. Р. Ботвина, **А. И. Болотников**, И. О. Синев // Физическая мезомеханика. – 2019. – Т. 22, № 6. – С. 24-36.

На автореферат диссертации Болотникова А.И. поступило 10 отзывов. Все отзывы положительные:

1. Отзыв заведующего кафедрой «Химия и материаловедение» ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», доктора технических наук, профессора Башкова Олега Викторовича, содержит 3 замечания:

1) Недостаточно обоснованы пороговые значения главной деформации, используемые для выделения слабо- и сильнодеформированных пластических зон. Их вариация для групп исследованных материалов могла бы быть систематизирована.

2) Полученные экспоненциальные и линейные зависимости параметров АЭ от относительной долговечности требуют подтверждения на серии испытаний. В автореферате не указан объем статистических данных по каждому материалу.

3) В работе не указаны параметры асимметрии цикла предварительного циклического нагружения, заданного перед статическим деформированием, результаты исследования которого приведены в разделе 4 диссертации, так как асимметрия цикла может оказывать влияние на характер развития повреждений при циклической деформации.

2. Отзыв профессора кафедры литейных процессов и материаловедения ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», доктора технических наук, профессора Емелюшина Алексея Николаевича, не содержит замечаний.

3. Отзыв заведующего сектором АО «НТЦ «Промышленная безопасность», доктора технических наук, профессора Иванова Валерия Ивановича, содержит 1 замечание:

1) В автореферате отсутствует информация об анализе влияния геометрических размеров и форм испытательных образцов, а также характеристик преобразователей АЭ на зарегистрированные сигналы АЭ и их параметры. Это важные факторы, влияющие на параметры сигналов АЭ. Они должны быть учтены при перенесении результатов исследований на оценку результатов при АЭ диагностировании промышленных объектов.

4. Отзыв главного научного сотрудника НПК 3 НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», доктора технических наук Ильина Алексея Витальевича, содержит 4 замечания:

1) Не следует использовать наименования статей «арктическая», «трубная», «аддитивная» - таких терминов не существует (хотя понятно, что такие условные наименования сокращают текст).

2) В автореферате не содержится информации по определению относительной деформации и приходится прибегать к публикациям автора для ее расшифровки.

3) Поскольку автор связывает анализ диаграмм деформирования и зависимости АЭ-сигналов со стадиями развития микротрещин, было бы желательно в автореферате привести хотя бы один пример результатов оптической металлографии, подтверждающий эти предположения.

4) В автореферате нет информации по уровню напряжений, при которых проводилось циклирование образцов (по отношению к пределу текучести) и количеству циклов нагружения N_f . Эта

информация позволила бы лучше оценить значимость полученных автором зависимостей.

5. Отзыв ведущего научного сотрудника НИО-2 ФАУ «Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А. Чаплыгина», кандидата технических наук Кабанова Сергея Ивановича, содержит 2 замечания:

- 1) Из автореферата неясно, как считается $\varepsilon_{1\max}$, так как на некоторых графиках нет роста этого параметра в упругой области.
- 2) В качестве частотных параметров акустической эмиссии рассматриваются частотный центроид, пиковая частота и средняя частота. При этом пиковая частота изменяется незначительно, она, как правило, совпадает с основной центральной частотой преобразователей акустической эмиссии, и не является значимой для оценки частотного распределения. Поэтому этот параметр практически не используется.

6. Отзыв главного научного сотрудника отдела № 30 Моделирования разрушения и безопасности сложных систем ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук, члена АН РС(Я), доктора технических наук Лепова Валерия Валерьевича, содержит 3 замечания:

- 1) Формулировка названия работы имеет весьма общий характер и не отражает специфику проведенных исследований.
- 2) Оценивалось ли количественно повышение достоверности и эффективности неразрушающего контроля и прогнозирования остаточного ресурса критически значимых объектов судостроения, нефтегазовой отрасли и энергетики на основе разработанного комплекса диагностических критериев оценки степени усталостной поврежденности сталей на основе параметров АЭ и КИЦИ.
- 3) Несмотря на высокую достоверность выявленных закономерностей накопления повреждений, физическая природа их осталась за рамками исследования, в автореферате отсутствуют количественные характеристики поврежденности, речь идёт только о параметрах деградации материала, которые могут быть напрямую и не связаны с повреждениями, а характеризовать лишь микро- и макроскопическую неоднородность свойств образцов, связанную с технологией их изготовления и особенностями выплавки конкретной партии стали, что ограничивает применимость полученных результатов.

7. Отзыв директора Научно-исследовательского института прогрессивных технологий федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет», доктора физико-математических наук Мерсона Дмитрия Львовича, содержит 3 замечания:

1) В работе одним из ключевых анализируемых параметров является параметр $b_{AЭ}$, отражающий долю высокоамплитудных сигналов. Из автореферата непонятно, каким образом определялась граница между низко- и высокоамплитудными сигналами, а это особо критично для пороговой схемы регистрации АЭ.

2) Хорошо известно, что максимальная деформация (относительное удлинение) от образца к образцу изменяется в гораздо большем диапазоне, чем характеристики прочности, и «ответственна» за это в большей степени деформация левее точки, соответствующей временному сопротивлению. В работе же используется параметр относительной деформации, в определении которой фигурирует максимальная деформация, достигнутая в данном эксперименте. В связи с этим вопрос, насколько совпадают значения начала новых стадий от образца к образцу?

3) На стр. 14 автореферата говорится, что более высокая активность сигналов в аустенитных сталях, вероятно, связана с образованием мартенсита деформации, а в выводе 4 уже в категорической форме утверждается, что это обусловлено образованием деформационного мартенсита. Есть ли в работе подтверждения образования деформационного мартенсита?

8. Отзыв главного научного сотрудника лаборатории физики наноструктурных биокomпозитов ИФПМ СО РАН, доктора физико-математических наук, профессора Шаркеева Юрия Петровича, содержит 2 замечания:

1) Автором в качестве объектов исследования выбраны две бейнитные стали, аустенитная сталь и так называемая аддитивная сталь. Неясен термин «аддитивная сталь 316L»! Сталь 316L – это аустенитного класса сталь. А образцы стали для исследования были приготовлены аддитивным методом селективного лазерного сплавления.

2) Подписи к рисункам 2, 3, 4, 5, 7, 11 и 13 неполные. Это затрудняет чтение и анализ текста автореферата.

9. Отзыв заведующего лабораторией механики полимерных композиционных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики прочности и материаловедения им. В.Е. Панина СО РАН, члена-корреспондента РАН, доктора технических наук, профессора Панина Сергея Викторовича, содержит 2 замечания:

1) В разделе «Научная новизна» (стр. 4) автор выбрал описательный характер полученных в работе результатов, а не сравнительный с имеющимися способами диагностики степени накопленной поврежденности и прогнозирования остаточного ресурса работы ответственных конструкций. А ведь именно предложенный комплекс диагностических критериев оценки степени усталостной поврежденности конструкционных сталей на основе параметров акустической эмиссии и корреляции цифровых изображений обеспечивает достоверность прогнозирования остаточного ресурса ответственных конструкций.

2) В заключении (стр. 23) диссертация содержит 10 выводов, которые кратко излагают последовательно проделанную работу, а не выделяют наиболее важных, выносимых на защиту научных результатов (в количестве порядка 5-6).

10. Отзыв профессора кафедры «Сварка, обработка металлов давлением и сопутствующие процессы», секция «Материаловедение и нанотехнологии» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет», доктора технических наук, профессора Клевцова Геннадия Всеволодовича, содержит 3 замечания:

1) Ни в одной из представленных в автореферате таблиц не указана погрешность определения механических и иных свойств исследуемых материалов, параметров АЭ и КЦИ; на графиках не указан разброс экспериментальных данных.

2) Из автореферата не ясно: учитывались ли при выборе материалов исследования такие понятия как «Циклически упрочняемые», «Циклически разупрочняемые», «Циклически нейтральные» материалы?

3) Некоторые наблюдаемые особенности на диаграммах растяжения стали 12X18H10T (стр. 21 автореферата) авторы связывают с образованием мартенсита деформации в процессе предварительного циклирования, однако не подтвердили экспериментально наличие мартенсита в стали и не обосновали возможность его образования.

Несмотря на наличие замечаний по автореферату, во всех вышеперечисленных десяти положительных отзывах на автореферат дается высокая оценка работы. При этом сделанные замечания имеют, в значительной части, пожелательно-рекомендательный характер и не ставят под сомнение выносимые на защиту основные выводы и положения диссертационной работы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетенцией, наличием публикаций и достижений в

области металловедения и термической обработки металлов и сплавов, квалификацией, способностью определить актуальность, научную и практическую ценность представленной диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получены имеющие **научную новизну** результаты:

– На основе анализа данных акустической эмиссии (АЭ) и корреляции цифровых изображений (КЦИ) установлен комплекс критериев, чувствительных к деградации после предварительного циклического нагружения сталей F500W, 15X2ГМФ, 12X18Н10Т и изготовленной аддитивным методом стали 316L. Установлены общие закономерности предложенных критериев деградации для исследованных сталей и показана их информативность для анализа коррозионной деградации стали 15X13Н2.

– Выделены частные особенности изменения критериев деградации для использованных в работе материалов с различной структурой. Установлено, что фазовое превращение в нестабильной аустенитной стали 12X18Н10Т и технологические дефекты аддитивной стали 316L определяют специфику их акустического отклика и характера локализации деформации. Установлено влияние размера зерна стали 12X18Н10Т после термической обработки на зависимости параметров АЭ и КЦИ; получены соотношения, подобные соотношению Холла – Петча.

– Впервые методом корреляции цифровых изображений оценены две зоны пластической деформации и путем анализа диаграммы деформирования установлена характерная точка σ_{D2} , соответствующая началу локализации деформации и формированию сильнодеформированной пластической зоны; физическая обоснованность характерной точки подтверждена прямыми наблюдениями накопления микротрещин и деформационными зависимостями параметров АЭ и КЦИ.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– Развита представления о стадийности процессов деформации и накопления повреждений в конструкционных сталях: на основе анализа первой и второй производных напряжения по деформации выделены пять стадий, общих для материалов с бейнитной и аустенитной структурой, и установлена их связь с кинетикой развития пластических зон и изменением параметров акустического отклика.

– Установлена физическая природа периода акустического затишья, наблюдаемого при растяжении бейнитных сталей: показано, что его

появление связано с образованием слабдеформированной пластической зоны, что подтверждает ранее высказанную гипотезу о связи затишья с локализацией пластической деформации. Обосновано отсутствие области затишья в сталях 12X18H10T и 316L, связанное с образованием мартенсита деформации и наличием технологических дефектов.

– Показано, что зависимости параметров акустической эмиссии и площадей пластических зон от размера зерна стали 12X18H10T описываются соотношениями, подобными соотношению Холла – Петча, что дает возможность применять это соотношение к характеристикам акустического отклика и локализации деформации.

– Обоснована взаимодополняемость методов акустической эмиссии и корреляции цифровых изображений в рамках единого методического подхода: их совместная регистрация позволяет соотнести акустический отклик, формирующийся в объеме материала, с кинетикой локализации деформации, измеряемой на поверхности образца.

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

Обоснован и экспериментально подтвержден комплекс диагностических критериев оценки степени усталостной поврежденности конструкционных сталей, основанный на параметрах акустической эмиссии ($\Sigma N_{AЭ}$, $N_{AЭ}$, $b_{AЭ}$, RA) и корреляции цифровых изображений (S_L , S_H , ε_{lmax}) и обеспечивающий повышение достоверности прогнозирования остаточного ресурса ответственных конструкций в судостроении, нефтегазовой отрасли и энергетике, в том числе изготовленных из арктической судостроительной стали F500W и стали нефтяных насосных штанг 15X2ГМФ.

Разработано программное обеспечение в среде Matlab для количественного анализа полей деформации и размеров пластических зон по данным корреляции цифровых изображений, позволяющее получать количественные характеристики локализации деформации для оценки степени деградации материала.

Установлена применимость разработанных критериев к оценке коррозионной деградации трубной стали 15X13H2, что расширяет область их использования на иные виды эксплуатационного воздействия и повышает практическую ценность предложенного подхода.

Результаты работы внедрены в деятельность ООО «Центр исследований экстремальных ситуаций»: разработанные критерии и программные средства использованы при совершенствовании алгоритмов оценки технического состояния несущих конструкций в составе систем мониторинга гидротехнических сооружений и при разработке методической базы экспертизы промышленной безопасности опасных производственных объектов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Исследования выполнены с использованием современного аттестованного испытательного и измерительного оборудования. Применялись стандартизованные методики испытаний.

Достоверность результатов обеспечена комплексным подходом с использованием нескольких взаимодополняющих методов исследования и подтверждается согласованностью данных, полученных этими методами независимо друг от друга. Установленные закономерности изменения параметров акустической эмиссии согласуются с результатами фрактографического анализа и с данными о кинетике накопления поверхностных дефектов, а также с изменением механических характеристик исследованных сталей.

Представленные результаты прошли широкое обсуждение на российских и международных научных конференциях и опубликованы в рецензируемых изданиях. Предложенные выводы и решения не противоречат известным положениям механики и физики разрушения и материаловедения.

Личный вклад автора заключается в постановке задач диссертационной работы (совместно с научным руководителем), анализе современного состояния исследований по теме работы, проведении экспериментальных исследований с использованием методов акустической эмиссии и корреляции цифровых изображений, разработке программного обеспечения для количественного анализа полей деформации и размеров пластических зон, а также в анализе и интерпретации полученных экспериментальных результатов. Все результаты экспериментальных исследований, включенные в работу, получены либо самим соискателем, либо при его непосредственном участии. Соискатель принимал участие в подготовке и написании статей по материалам диссертации и выступал с докладами на всероссийских и международных конференциях.

В ходе защиты диссертации замечания, способные критически повлиять на положительную оценку работы в целом, высказаны не были.

Был задан ряд вопросов и высказаны замечания по работе. Соискатель Болотников А.И. ответил на заданные вопросы, в том числе он дал исчерпывающие пояснения по ряду замечаний, содержащихся в положительных отзывах на автореферат, а также в отзывах ведущей организации и официальных оппонентов.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» (отрасль науки – технические).

Диссертация Болотникова Алексея Игоревича является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная задача, имеющая значение для повышения

достоверности неразрушающего контроля и оценки остаточного ресурса ответственных конструкций: установлены закономерности изменения параметров акустической эмиссии и полей локальных деформаций при деградации конструкционных сталей различной структуры и предложен комплекс диагностических критериев для оценки степени накопленной поврежденности.

На заседании 15 октября 2026 года диссертационный совет 24.1.078.01 принял решение о том, что диссертация Болотникова А.И. по своей актуальности и практической значимости соответствует требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Болотников Алексей Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель
диссертационного совета
24.1.078.01 (Д 002.060.01),
чл.-корр. РАН, д.т.н.



Баннх Игорь Олегович

Ученый секретарь
диссертационного совета
24.1.078.01 (Д 002.060.01),
д.т.н.



Кольчугина Наталья Борисовна

«15» октября 2026 г.

Подписи Баннх И.О. и Кольчугиной Н.Б. удостоверяю:

Ученый секретарь ИМЕТ РАН,
к.т.н.



Фомина Ольга Николаевна