

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.036.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
(ФИЛИАЛ – ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД)
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 22.05.2025 № 147

О присуждении Вшивкову Алексею Николаевичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Расчётно-экспериментальный метод построения уравнения роста усталостной трещины в металлах на основе оценки диссипации энергии в её вершине» по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твёрдого тела» принята к защите 20.03.2025, протокол № 142, диссертационным советом Д 004.036.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр (филиал – Институт механики сплошных сред) Уральского отделения Российской академии наук, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 1, утвержденным приказом Минобрнауки России № 87/нк от 26 января 2018.

Соискатель Вшивков Алексей Николаевич 1992 г. рождения, в 2014 г. окончил ФГБОУ ВПО "Пермский государственный национальный исследовательский университет" по специальности «Радиофизика». В 2018 г. окончил аспирантуру очной формы обучения в ФГБУН "Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук" по научной специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела. В настоящее время работает младшим научным сотрудником лаборатории термомеханики твердых тел Института механики сплошных сред УрО РАН. Диссертация выполнена в ФГБУН "Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук".

Научный руководитель – д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории термомеханики твердых тел ИМСС УрО РАН Плехов Олег Анатольевич.

Официальные оппоненты:

1. Кузькин Виталий Андреевич, доктор физико-математических наук (01.02.04), ведущий научный сотрудник лаборатории дискретных моделей механики ФГБУН "Институт проблем машиноведения Российской академии наук" (г. Санкт-Петербург);
2. Панин Сергей Викторович, доктор технических наук (01.02.04), профессор, заведующий лабораторией механики полимерных композиционных материалов ФГБУН "Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук" (г. Томск);

дали положительные отзывы на диссертацию

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Институт машиноведения им. Э.С.Горкунова Уральского отделения Российской академии наук", г. Екатеринбург (ИМАШ УрО РАН), в своем положительном заключении, составленным С.В.Смирновым, д.т.н., главным научным сотрудником,

заведующим лабораторией микромеханики материалов, и утвержденном директором ФГБУН ИМАШ УрО РАН, д.т.н., доцентом В.П.Швейкиным, указала, что диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу в области экспериментального исследования процесса усталостного разрушения металлов. Актуальность темы объясняется постоянным повышением требований, предъявляемым к безопасности, экономической эффективности инженерных конструкций, снижению их энергоёмкости и массы, что вызывает необходимость обоснованного снижения коэффициентов запаса прочности на основе применения современных экспериментальных методов и методов математического моделирования. Предложена и экспериментально обоснована гипотеза о возможности использования подходов линейной механики разрушения для оценки поля неупругой деформации в вершине усталостной трещины в металлах. Разработана оригинальная методика оценки и прогнозирования скорости роста трещины при одноосном и двухосном циклическом деформировании.

Представленная диссертационная работа «Расчётно-экспериментальный метод построения уравнения роста усталостной трещины в металлах на основе оценки диссипации энергии в её вершине» удовлетворяет требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Вшивков Алексей Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твёрдого тела».

Соискателем опубликовано 11 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК и 1 патент РФ на изобретение:

1. **Vshivkov A.**, Iziyomova A., Plekhov O., Baer J. Experimental study of heat dissipation at the crack tip during fatigue crack propagation // *Fracture and Structural Integrity*. – 2016. – Vol. 35. – P. 131-137. (WoS, Scopus, Q3).

В работе представлена конструкция разработанного программно-аппаратного комплекса, его калибровка и верификация показаний при исследовании термоупругого эффекта. Показана возможность использования методики измерения при проведении усталостных испытаний. Авторский вклад Вшивкова А.Н. в публикацию составляет 60%.

2. Baer J., **Vshivkov A.**, Plekhov O. Combined lock-in thermography and heat flow measurements for analysing heat dissipation during fatigue crack propagation // *Fracture and Structural Integrity*. – 2015. – Vol. 34. – P. 456-465. (WoS, Scopus, Q3).

В работе проведено сравнение метода инфракрасной термографии и контактных измерений датчиком теплового потока для анализа диссипации тепла при распространении усталостной трещины. Показано качественное соответствие данных измерений, полученных двумя методиками. Авторский вклад Вшивкова А.Н. в публикацию составляет 50%.

3. Plekhov O., **Vshivkov A.**, Iziyomova A., Zakharov A., Shlyannikov V. The experimental study of energy dissipation during fatigue crack propagation under biaxial loading // *Fracture and Structural Integrity*. – 2019. – Vol. 13, № 48. – P. 50-57 (WoS, Scopus, Q3).

В работе проводится измерения диссипации тепла при распространении усталостной трещины при двухосном нагружении. По характеру диссипации тепла показано наличие двух стадий в распространении усталостной трещины в режиме Париса. Авторский вклад Вшивкова А.Н. в публикацию составляет 60%.

4. Vedernikova A., Iziyomova A., **Vshivkov A.**, Plekhov O. Three approaches to evaluate the heat dissipated during fatigue crack propagation experiments // *Fracture and Structural Integrity*. – 2020. – Vol. 14, № 51. – P. 1-8. (WoS, Scopus, Q3).

В работе проводится измерение диссипации тепла в области вершины усталостной

трещины с использованием предлагаемого датчика теплового потока и методом инфракрасной термографии. Показано соответствие измеряемых величин обеими методиками. На основе полученных результатов Выявлена линейная взаимосвязь скорости роста трещины и диссипации тепла. Авторский вклад Вшивкова А.Н. в публикацию составляет 50%.

5. Plekhov O., **Vshivkov A.**, Iziumova A., Venkatraman B. A model of energy dissipation at fatigue crack tip in metals // *Fracture and Structural Integrity*. – 2019. – Vol. 13, № 48. – P. 451-458. (WoS, Scopus, Q3).

В работе проводилось экспериментальное и теоретическое исследование роста усталостных трещин на плоских образцах из нержавеющей стали и технического титана. Предложена феноменологическая модель развития усталостной трещины, основанная на том, что тепловой поток в области вершины трещины представляется как сумма двух функций, описывающих диссипацию энергии в монотонной и циклической зонах пластической деформации. Авторский вклад Вшивкова А.Н. в публикацию составляет 60%.

6. Plekhov O., **Vshivkov A.** The effect of fatigue crack rate on the heat dissipation in metals under mixed-mode loading // *Fracture and Structural Integrity*. – 2019. – Vol. 13, № 50. – P. 1-9. (WoS, Scopus, Q3).

В работе проводится изучение диссипации тепла при развитии усталостной трещины при двухосном нагружении для различных параметров двухосности. Показано, что предложенная аппроксимация теплового потока справедлива для одноосного и двухосного нагружений. Авторский вклад Вшивкова А.Н. в публикацию составляет 90%.

7. **Vshivkov A.**, Iziumova A., Plekhov O. Experimental investigation of fatigue crack induced energy dissipation under mixed mode loading // *Procedia Structural Integrity*. – 2020. – Vol. 28. – P. 1839-1845. (Scopus).

В работе проводится совместный анализ особенностей диссипации тепла при распространении усталостной трещины в образцах из технического титана при одноосном и двухосном нагружении. Показан двухстадийный характер распространения трещины в режиме Париса. Показана универсальность соотношения между скоростью роста трещины и диссипацией тепла для одноосного и двухосного нагружения. Авторский вклад Вшивкова А.Н. в публикацию составляет 70%.

8. **Vshivkov A.**, Iziumova A., Zakharov A., Shlyannikov V., Plekhov O. The experimental and theoretical study of heat dissipation at fatigue crack tip under biaxial loading // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. – 2019. – Vol. 103. – P. 102308. (WoS, Scopus, Q1).

В работе проведены усталостные испытания образцов из нержавеющей стали при одноосном и двухосном нагружении с измерением скорости роста трещины и диссипацией тепла. Показана линейная взаимосвязь измеренных параметров и двухстадийный характер распространения трещины в режиме Париса. Авторский вклад Вшивкова А.Н. в публикацию составляет 60%.

9. **Вшивков А.Н.**, Изюмова А.Ю., Пантелеев И.А., Плехов О.А. О методе оценки распределения пластической деформации в области вершины усталостной трещины на основе решения задачи линейной теории упругости // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика*. – 2023. – № 6. – С. 41-49. (Scopus, Q3).

В работе проведено экспериментальное исследование полей деформации в области вершины усталостной трещины методом корреляции цифровых изображений. Показана возможность использования гипотезы о функциональной связи реальных деформаций с упругим решением и величиной секущего модуля материала для оценки пластической деформации в вершине трещины. Авторский вклад Вшивкова А.Н. в публикацию составляет 70%.

10. **Vshivkov A.**, Iziumova A., Zakharov A., Shlyannikov V., Plekhov O. The experimental

and theoretical study of plastic deformation in the fatigue crack tip based on method of digital image correlation // *Procedia Structural Integrity*. – 2018. – Vol. 13. – P. 1189-1194. (Scopus).

В работе проведено экспериментальное исследование распределения деформаций в области вершины усталостной трещины при двухосном нагружении плоских образцов с использованием метода корреляции цифровых изображений. Показана возможность оценки полной деформации основываясь на гипотезе о связи упругой и пластической деформации через модуль упругости и секущий модуль. Авторский вклад Вшивкова А.Н. в публикацию составляет 60%.

11. **Vshivkov A.N.**, Iziyomova A.Yu., Panteleev I.A., Ilinykh A.V., Wildemann V.E., Plekhov O.A. The study of a fatigue crack propagation in titanium Grade 2 using analysis of energy dissipation and acoustic emission data // *Engineering Fracture Mechanics*. – 2019. – Vol. 210. – P. 312-319. (WoS, Scopus, Q1).

В работе проведён анализ стадийности распространения усталостной трещины. Показана качественная корреляция между характером изменения диссипации тепла и кумулятивной энергией сигнала акустической эмиссии в процессе развития усталостной трещины, что может косвенно отражать изменение механизмов разрушения и стадий процесса диссипации энергии. Авторский вклад Вшивкова А.Н. в публикацию составляет 60%.

12. **Вшивков А.Н.**, Прохоров А.Е., Плехов О.А., Бэр Ю., Бацаль Ж-К. Способ определения скорости роста трещины в образце и устройство для этого // Патент Российской Федерации на изобретение № 2603939 от 20.07.2015. Бюл. № 34. – 14 с.

В работе описано конструктивное решение программно-аппаратного комплекса для измерения диссипации тепла при проведении усталостных испытаний. Предложена методика оценки скорости роста трещины по измеренной мощности диссипации тепла. Авторский вклад Вшивкова А.Н. в публикацию составляет 60%.

Публикации содержат в сумме 104 страницы и в полной мере отражают основные научные результаты работы. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в тексте диссертации отсутствуют.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: от оппонентов и ведущей организации.

1. Положительный отзыв официального оппонента Кузькина В.А. В отзыве представлен анализ содержания диссертации, отмечается актуальность темы диссертации и новизна; отмечено, что решаемая задача является неотъемлемой частью при проектировании сооружений и конструкций в машиностроении. А методика для детектирования процесса эволюции усталостных трещин и оценки усталостного ресурса относится к практическому приложению. Оппонент отмечает следующие замечания по диссертации и автореферату:

- вопрос про возможность обобщения полученных результатов на другие материалы;
- замечание о корректности использования термина «тепловой поток», предлагается «скорость выделения тепловой энергии»;
- вопрос про выбор величины нагрузки при испытаниях;
- вопрос про охлаждение образцов в процессе испытаний;
- вопрос про соотношение размеров датчика «теплового потока» и зоной процесса;
- вопрос про использованную модель пластического течения материала, и что изменится при замене модели пластичности;
- вопрос про объёмные интегралы в пункте 4.1.

2. Положительный отзыв официального оппонента Панина С.В. В отзыве отмечено, что работа является актуальной по выбору объекта исследований с целью разработки

термодинамического подхода для прогнозирования скорости роста усталостной трещины на основе теплового потока в её вершине. Результаты имеют существенное значение для машиностроения при эксплуатации и проектированию ответственных элементов конструкций и контроля их технического состояния. К практическим приложениям относится методика для детектирования процесса зарождения усталостных трещин и оценки усталостного ресурса механизмов и конструкций. Оппонент отмечает следующие замечания:

- замечание про корректность отношения двухосной схемы испытаний к многосным;
- замечание про напряжение питания датчика, его калибровку и регистрацию показаний;
- замечания про формулировки при описании калибровки датчика и вопрос про соответствие измеренных и теоретических значений термоупругого эффекта»;
- вопрос про быстрое действие датчика при калибровке и при усталостных испытаниях;
- вопрос про линейную зависимость теплового потока и скорости роста трещины и чем вызвано изменение интенсивности выделения тепла;
- замечание про корректность утверждения об идентичности коэффициента интенсивности напряжений и теплового потока;
- вопрос про количественное изменение поля температуры в окрестности вершины усталостной трещины;
- вопрос про количественную характеристику степени линейности зависимости скорости роста трещины от теплового потока.

3. Положительный отзыв ведущей организации ИМАШ УрО РАН. В отзыве отмечается, что диссертация выполнена на высоком научном уровне, содержит новые научные результаты. Полученные результаты имеют как научное значение, так и существенную практическую значимость. Ведущая организация отмечает следующие замечания:

- замечание, что выводы по главам излишне подробны и фактически представляют собой пересказ содержания глав, а не квинтэссенцию полученных результатов;
- замечание о том, что не очень удачен выбор стали 08X18N10 в качестве модельного материала, так как она является деформационно нестабильной;
- замечание, что не рассмотрен вопрос влияния размера измерительной части предложенного датчика на результаты измерения теплового потока;
- замечание про неудачные и некорректные выражения в тексте диссертации.

На автореферат поступило 9 отзывов:

1. Положительный отзыв от Балохонова Р.Р., д.ф.-м.н., заведующего лабораторией механики структурно-неоднородных сред ФГБУН "Институт физики прочности и материаловедения СО РАН", г. Томск (1 замечание);
2. Положительный отзыв от Богомолова Л.М., д.ф.-м.н., директора ФГБУН "Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН", г. Южно-Сахалинск (2 замечания);
3. Положительный отзыв от Каюмова Р.А., д.ф.-м.н., профессора, профессора кафедры механики ФГБОУ ВО "Казанский государственный архитектурно-строительный университет", г. Казань (без замечаний);
4. Положительный отзыв от Клевцова Г.В., д.т.н., профессора, профессора кафедры нанотехнологий, материаловедения и механики ФГБОУ ВО "Тольяттинский государственный университет", г. Тольятти (3 замечания);

5. Положительный отзыв от Лепова В.В., д.т.н., академика Академии наук Республики Саха (Якутия), главного научного сотрудника Института физико-технических проблем Севера им. В.П.Ларионова СО РАН – обособленного подразделения ФГБУН ФИЦ "Якутский научный центр СО РАН", г. Якутск (3 замечания);
6. Положительный отзыв от Майера А.Е., д.ф.-м.н., доцента, заведующего кафедрой общей и теоретической физики ФГБОУ ВО "Челябинский государственный университет", г. Челябинск (1 замечание);
7. Положительный отзыв от Матвиенко Ю.Г., д.т.н., профессора, заведующего отделом прочности, живучести и безопасности машин ФГБУН "Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН", г. Москва (2 замечания);
8. Положительный отзыв от Москвичева В.В., д.т.н., профессора, научного руководителя Красноярского филиала ФГБУН "Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий", г. Красноярск (4 замечания);
9. Положительный отзыв от Родионова А.А., д.т.н., профессора, заведующего кафедрой строительной механики корабля ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный морской технический университет", г. Санкт-Петербург (2 замечания).

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:

- вопрос про различии на порядок в скорости распространения усталостных трещин в исследуемых металлах;
- вопрос про применимость предложенного соотношения для сдвиговых трещин;
- замечание про различие в формулах обозначения для длины трещины и опечатки;
- замечание про отсутствие в автореферате параметров испытания образцов;
- вопрос о том в какой зоне монотонной или циклической пластической деформации выделяется основная часть теплоты;
- замечание что логичнее было бы связать размер зоны пластической деформации с коэффициентом интенсивности напряжений а не с длиной трещины;
- замечание про статистическую значимость допущений принятых в работе и об ограничениях применимости предлагаемого метода;
- вопрос про применимость метода для многоциклового нагружения;
- вопрос про вклад фазовых структурных превращений в тепловыделение;
- вопрос про влияние эффекта закрытия усталостной трещины и коротких усталостных трещин на диссипацию энергии в вершине трещины;
- вопрос про возможность использования предложенной методики при прогнозировании живучести реальных критически важных элементов конструкций при наличии трещин;
- замечание про более расширенную трактовку понятий «монотонная» и «циклическая» зоны пластических деформаций;
- вопрос про влияние составляющей упругого деформирования на тепловыделение;
- вопрос про соотношение энергии необходимой на образование свободных поверхностей и энергии пластической деформации;
- вопрос про амплитуду приложенного циклического нагружения в соотношениях для скорости роста трещины и теплового потока;
- замечание про явный вид зависимости скорости роста трещины от теплового потока;
- вопрос про возможность использования предложенной методики к судостроительной

стали и алюминиевым сплавам в коррозионной среде.

В отзывах отмечено, что диссертация является законченным исследованием и представляет научный интерес, прошла достаточную апробацию, содержит новые результаты, достоверность которых обоснована, тема работы является актуальной, результаты имеют высокую научную ценность и большое прикладное значение.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

официальные оппоненты являются одними из ведущих специалистов в области механики разрушения, имеют большое число публикации с результатами теоретических и экспериментальных работ, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

ведущая организация ИМАШ УрО РАН является одним из ведущих научных центров в области исследований термического и механического воздействия на характеристики материалов и элементов конструкций, в котором активно выполняются фундаментальные и прикладные исследования по широкому спектру проблем теоретической, прикладной, вычислительной и экспериментальной механики, инженерным приложениям в наукоемком машиностроении. Научные школы ИМАШ УрО РАН поддерживаются грантами ведущих научных фондов и контрактами с предприятиями промышленности. Объектами исследований сотрудников ИМАШ УрО РАН выступают конструкционные и жаропрочные сплавы с учетом процессов накопления повреждений и деградации материалов с привлечением электромагнитных инструментов анализа, в том числе сплавов на основе никеля. Отзыв ведущей организации, содержащий подробную, по главам, характеристику содержания диссертационной работы; высокую положительную оценку актуальности темы исследования, достоверности, новизны, теоретической и практической значимости изложенных результатов обсужден и одобрен на научном семинаре отдела физических проблем в машиностроении ИМАШ УрО РАН (руководитель д.т.н. Смирнов С.В.) 24.04.2025 г. в присутствии признанных авторитетных специалистов по теме защищаемой диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан экспериментально-теоретический метод оценки скорости роста усталостной трещины на основе измерения выделения тепла в её вершине;

предложено соотношение, связывающее скорость роста трещины со скоростью выделения тепла при произвольном типе нагружения;

доказана линейная зависимость скорости роста трещины от нормированной величины тепловыделения в вершине трещины на примере нержавеющей стали 08X18H10 и техническом титане ВТ1-0;

введена классификация стадий роста трещины в режиме Париса по интенсивности выделения тепла.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что в рамках гипотезы Диксона пластические деформации в вершине трещины могут быть оценены на основе решения линейно-упругой задачи, что позволяет описать процесс тепловыделения в её вершине при многоосном нагружении;

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то

есть с получением обладающих новизной результатов):

использованы современные экспериментальные методы для изучения кинетических и термодинамических параметров процесса распространения усталостной трещины в металлах;

изложены результаты измерения кинетических и термодинамических характеристик распространения усталостной трещины при одноосном и двухосном нагружении для образцов различной геометрии;

раскрыты ограничения существующих эмпирических и термодинамических моделей описания распространения усталостной трещины и предложен альтернативный расчётно-экспериментальный подход;

изучено влияние параметров нагружения (амплитуда напряжения, коэффициент асимметрии цикла) на взаимосвязь выделения тепла и кинетику распространения трещины;

проведена верификация модели распространения усталостной трещины в экспериментах по двухосному нагружению образцов с варьированием параметров двухосности и асимметрии циклов.

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

разработана и апробирована методика прогнозирования скорости распространения усталостной трещины в конструкционных материалах;

определены константы предложенной модели распространения усталостной трещины для нержавеющей стали и технического титана, позволяющие использовать модель в инженерных расчётах;

создан программно-аппаратный комплекс для мониторинга выделения тепла в вершине усталостной трещины, позволяющий прогнозировать усталостную долговечность металлов;

представлены готовые инструменты (датчик, модель, способ определения констант модели) для инженерной практики, позволяющие прогнозировать распространение усталостной трещины в металлах при произвольном типе нагружения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

эксперименты проведены с применением поверенного измерительного оборудования и современных экспериментальных методов исследования, что позволило обеспечить воспроизводимость и высокую точность полученных результатов;

теория базируется на фундаментальных законах термомеханики и механики разрушения;

использован метод корреляции цифровых изображений и проведено сопоставление распределения пластических деформаций в зоне вершины усталостной трещины, в ходе которого установлена высокая степень согласованности экспериментальных данных с результатами расчётов, выполненными в рамках разработанной теоретической модели, что подтверждает адекватность предложенного подхода для количественного описания полей деформаций в локальной области концентрации напряжений.

использовано сравнение экспериментально измеренного поля пластической деформации в области вершины усталостной трещины методом корреляции цифровых изображений и теоретически рассчитанного на основе принятой гипотезы о связи полной и упругой деформации и выявлено хорошее соответствие;

подтверждено качественное и количественное соответствие расчётных и экспериментальных данных о корреляции теплового потока и скорости распространения усталостной трещины для всех исследованных режимов нагружения;

установлена возможность использования предложенного соотношения для разных материалов и типов нагружения.

Личный вклад соискателя состоит в разработке и создании программно-аппаратного комплекса для измерения выделения тепла при распространении усталостной трещины, планировании и проведении экспериментальных исследований, анализе результатов. Постановка задач и формулировка выводов выполнены совместно с научным руководителем О.А. Плеховым.

Диссертация соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается: логической структурой, системным характером проведения исследования взаимосвязью выводов с поставленной целью.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней" № 842, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г.: в ней содержится решение задачи о разработке экспериментально-теоретического метода оценки скорости роста усталостной трещины. Именно линейная связь скорости роста трещины и выделения тепла в её вершине позволяет использовать предложенный метод для детектирования процесса зарождения усталостных трещин и оценки усталостного ресурса реальных инженерных конструкции. Экспериментально показан универсальный двухстадийный характер выделения тепла в вершине усталостной трещины, распространяющейся в режиме Париса, связанный с тепловыделением в монотонной и циклической зонами пластической деформации в вершине трещины.

На заседании 22 мая 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Вшивкову А.Н. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введено на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 14, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета Д 004.036.01
д.ф.-м.н., профессор,
Роговой Анатолий Алексеевич



_____/ Роговой А.А

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 004.036.01
д.ф.-м.н., доцент
Зуев Андрей Леонидович



_____/ Зуев А.Л.

23 мая 2025 г.

М.П.