

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 31.1.002.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КУРЧАТОВСКИЙ
ИНСТИТУТ» (НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ» - ВИАМ), РОССИЙСКАЯ
ФЕДЕРАЦИЯ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «27» ноября 2025 г. № 25

О присуждении Ходиневу Ивану Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Закономерности изменения характеристик малоцикловой усталости жаропрочных никелевых сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР» по научной специальности 2.6.17. «Материаловедение» принята к защите «19» сентября 2025 г. (протокол заседания № 18) диссертационным советом 31.1.002.01, созданным на базе федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 17, приказ Минобрнауки России от 24.10.2022 г. № 1363/нк «О выдаче разрешения на создание совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Соискатель Ходинев Иван Александрович, 09 июня 1987 года рождения, в 2010 г. окончил магистратуру государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «МАТИ» - Российский государственный

технологический университет имени К.Э. Циолковского по направлению «Материаловедение и технология новых материалов»; в 2024 году окончил аспирантуру федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» по научной специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки).

Ходинев Иван Александрович с 2010 г. работает в НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ в лаборатории № 633 «Прочности и надежности материалов авиационных двигателей и силовых энергетических установок им. профессора Н.М. Складорова» и в настоящее время является начальником лаборатории.

Диссертация выполнена в лаборатории № 633 «Прочности и надежности материалов авиационных двигателей и силовых энергетических установок им. профессора Н.М. Складорова» федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация.

Научный руководитель – кандидат технических наук, Горбовец Михаил Александрович, начальник Испытательного центра федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Официальные оппоненты:

– Гусев Дмитрий Евгеньевич, доктор технических наук, доцент, профессор образовательного центра института №11, старший научный сотрудник лаборатории материаловедения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»;

– Тихомирова Елена Александровна, кандидат технических наук, начальник испытательной лаборатории по исследованию деталей и узлов ИЦЗЛ службы

главного металлурга Акционерного общества «ОДК-Климов», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Акционерное общество «Национальный институт авиационных технологий» (АО «НИАТ») в своем положительном отзыве, подписанном заместителем генерального директора по научно-исследовательской деятельности, кандидатом технических наук, Артемом Валерьевичем Коваленко, начальником отдела 1650, кандидатом технических наук, Александром Ивановичем Чудайкиным, и утвержденным первым заместителем генерального директора АО «НИАТ», доктором технических наук, профессором Виталием Валентиновичем Плихуновым указала, что диссертационная работа Ходинева Ивана Александровича на тему: «Закономерности изменения характеристик малоцикловой усталости жаропрочных никелевых сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17. «Материаловедение» (технические науки), представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу, имеющей актуальность, научную новизну, практическую ценность, и в полной мере удовлетворяет требованиям и критериям, установленным пунктам 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г.) отвечает требованиям ВАК, предъявленным к кандидатским диссертациям, а ее автор Ходинев И.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17. «Материаловедение».

Соискатель имеет 46 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 12 в изданиях, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 8 работ.

В опубликованных работах содержатся основные научные и практические результаты, изложенные в диссертационной работе соискателя.

Все работы выполнены в соавторстве, личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке задач, проведении экспериментальных исследований, сборе и интерпретации данных, разработке научно-технической документации.

Наиболее значительные работы:

1. Горбовец М.А., Ходинев И.А., Монин С.А. Влияние среднего напряжения цикла на характеристики малоциклового усталости жаропрочного никелевого сплава // Авиационные материалы и технологии. – 2023. – №1(70). – С. 126-136. DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-1-126-136.

2. Ходинев И.А., Горбовец М.А., Монин С.А., Рыжков П.В. Исследование характеристик малоциклового усталости жаропрочного деформируемого сплава ВЖ175 // Труды ВИАМ. – 2022. – №1(107). – С. 97-110. DOI: 10/18577/2307-6046-2022-0-1-97-110.

3. Горбовец М.А., Ходинев И.А., Рыжков П.В. Оборудование для проведения испытаний на малоцикловую усталость при «жестком» цикле нагружения // Труды ВИАМ. – 2018. – № 9. – С. 51-60. DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-9-51-60.

4. Gorbovets M.A., Khodinev I.A., Belyaev M.S., Ryzhkov P.V. Low-cycle fatigue of a VZH175 nickel superalloy during asymmetric loading // Russian Metallurgy (Metally). 2019, – №9, – P. 889-893. DOI: 10.1134/ S0036029519090039.

5. Gorbovets M.A., Khodinev I.A., Belyaev M.S., Letnikov M.N. Low-cycle fatigue of a VZH175 nickel superalloy at symmetric and asymmetric deformation // Inorganic materials: applied research. 2019, – №4, – P. 846-852. DOI: 10.1134/S207511331904154.

6. Горбовец М.А., Ходинев И.А., Беляев М.С., Рыжков П.В. Малоцикловая усталость жаропрочного сплава ВЖ175 при асимметричном нагружении // Металлы. – 2019. – №5. – С. 57-62.

7. Горбовец М.А., Ходинев И.А., Беляев М.С., Летников М.Н. Малоцикловая усталость жаропрочного сплава ВЖ175 при симметричном и асимметричном деформировании // Материаловедение. – 2018. – №1. – С. 3-9.

8. Горбовец М.А., Беляев М.С., Ходинев И.А., Лукьянова М.И. Исследование малоциклового усталости жаропрочных сплавов при «жестком» цикле нагружения // Цветные металлы. – 2017. – № 2. – С. 91-95.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв ведущей организации подписан: заместителем генерального директора по научно-исследовательской деятельности, кандидатом технических

наук, Артемом Валерьевичем Коваленко, начальником отдела 1650, кандидатом технических наук, Александром Ивановичем Чудайкиным, и утвержденным первым заместителем генерального директора АО «НИАТ», доктором технических наук, профессором, Виталием Валентиновичем Плихуновым. Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании Научно-технического совета АО «НИАТ» (протокол заседания №5 от 28 октября 2025 г). Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- в четвертой главе обсуждается циклическая ползучесть, наблюдаемая у сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР при асимметричном «мягком» нагружении при повышенных температурах. Было бы интересно увидеть численные характеристики этого процесса и установить их зависимости от температуры и степени асимметрии цикла, если они есть;

- для оценки долговечности образцов, испытанных при «жестком» нагружении, требуется знать напряжения. Было бы практически полезно дополнить модели зависимостями напряжений от деформаций;

- в тексте диссертации присутствуют ошибки редакционного характера: опечатки, орфографические и пунктуационные ошибки, нарушение нумерации рисунков и т.д.

2. Отзыв на диссертацию официального оппонента – Гусева Дмитрия Евгеньевича, доктора технических наук, доцента, профессора образовательного центра института №11, старший научный сотрудник лаборатории материаловедения, ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- во второй главе диссертации подробно описана технология получения слитка исследуемого литейного сплава ВКНА-1ВР. Однако метод получения и технология обработки полуфабрикатов из второго исследуемого сплава ВЖ175, а именно штамповок диаметром 600 мм, в работе не указаны;

- образцы для малоциклового усталости из сплава ВЖ175 были вырезаны из штамповок диска газотурбинного двигателя. При этом, как утверждает автор,

образцы, вырезанные из ступицы диска, были использованы преимущественно при низких температурах, а образцы, вырезанные из полотна и обода, – при высоких и близких к максимальным рабочим температурам. Однако автор в своей работе не приводит результатов анализа возможности различий микроструктуры, формирующихся в различных областях сложной по геометрии штамповки, а также анализа возможности влияния этих различий на результаты усталостных испытаний;

- в главе 3 приведены результаты фактографических исследований поверхности образцов, разрушенных в результате малоцикловых усталостных испытаний при различных циклах нагружения. Однако в подрисуночных надписях к рисункам 3.1 – 3.5 и в тексте, относящемся к соответствующим иллюстрациям, не указан коэффициент асимметрии цикла, применяемый в данном конкретном случае;

- на стр. 44 автор пишет, что при анализе поверхности излома образца из сплава ВЖ175 в очаге зарождения трещины обнаружены зерна аномально большого размера (более 100 мкм), тогда как на рис. 2.2 показано, что средний размер зерен в этом сплаве равен 25-30 мкм. При этом причина формирования в структуре сплава таких крупных зерен и их влияние на свойства не обсуждены;

- при описании характера разрушения исследуемых образцов сплава ВЖ175 автор многократно обращает внимание на наличие фасеток скола в очаге зарождения трещин, однако при этом не конкретизирует их связи со структурными составляющими исследуемого сплава;

- несмотря на то, что работа содержит большой объем экспериментальных данных, сам текст диссертации очень лаконичный, оставляющий желание более подробного обсуждения результатов и/или их теоретического анализа. При этом в тексте на соседних страницах иногда встречаются повторы в виде фрагментов с одинаковым смысловым содержанием;

- текст содержит опечатки, касающиеся как орфографии, так и математических символов, численных значений обсуждаемых характеристик, нумерации таблиц. В разных главах диссертации при описании одних и тех же характеристик усталостного поведения сплавов автор применяет обозначения с

использованием то латинских, то русских букв. Например, число циклов нагружения, при котором происходит разрушение, он обозначает то Nf, то Nr.

3. Отзыв на диссертацию официального оппонента - Тихомировой Елены Александровны, кандидата технических наук, начальника испытательной лаборатории по исследованию деталей и узлов ИЦЗЛ службы главного металлурга, АО «ОДК-Климов». Отзыв положительный.

Имеются замечания и вопросы:

- замечания по первой главе: приведены данные зарубежных исследователей, однако в диссертационной работе достаточно в сжатом виде даны пояснения и соответствующие подрисуночные надписи. Имеется некоторая неточность, например, отсутствие рисунка 1.11;

- замечания по второй главе: в таблицах 2.7-2.8 стр.34-35 присутствует опечатка в номере стандарта. В главе 2 необходимо было указать сведения о полной термической обработке сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР. Также целесообразно было бы привести схему вырезки образцов из сплава ВЖ175 из заготовки. В таблицах 2.1 и 2.4 приведены данные по пределу текучести. Какой это предел текучести? Это условный предел текучести? Также целесообразно было бы привести размер зерна для исследуемых материалов или каким-то образом зафиксировать структурный фактор;

- замечания по третьей главе: целесообразно было бы представить результаты с фрактографических исследований с приведением размеров зон очага, зоны замедленного разрушения (усталостного) и зоны долома и увеличить описательную часть данного раздела. Полученные данные объединить с данными о параметрах цикла (размах пластической деформации, напряжения течения, скорость развития трещины, различные базы долговечности) это позволило бы определить роль пластической деформации или напряжений течения в работе разрушения и в смене механизмов разрушения. Например, по приведенным результатам получается интересная картина смены типологии разрушения, которая свидетельствует о влиянии коэффициента асимметрии на механизм разрушения подобно температуре.

Это очень важный факт, который впоследствии предстоит изучить в последующих научных работах либо автору, либо его последователям.

– Как автор считает, почему существенных отличий между изломами образцов сплава ВЖ175, испытанных при симметричном и несимметричном жестком цикле не выявлено?

– Почему при мягком асимметричном цикле подобно эффекту повышения температуры происходит смешанный тип разрушения (с элементами межзеренного разрушения)? Необходимо отметить, что указанные температуры есть предельные температуры для работоспособности сплава ВЖ175. Даже при других видах испытания, например, при испытаниях на ползучесть разрушение будет проходить по межзеренному механизму (от разупрочнения границ зерен или от разупрочнения тела зерна). Тогда возникает вопрос: Каков вклад от циклического деформирования и от действия температуры в характер разрушения?

– Замечание: Пояснить рисунок 3.57. Рисунок показывает характерную смену механизмов разрушения или рассмотрен только частный случай? В обобщенном варианте для всех испытанных образцов характерна ли данная картина?

– По четвертой главе: на странице 79 автор заявляет, что при «жестком» цикле нагружения влияние коэффициента асимметрии и температуры на предел выносливости незначительно, хотя на странице 77 указано «для всех трех исследуемых коэффициентов асимметрии повышение температуры вызывает снижение предела выносливости на базе 10⁴ циклов – на 3-5% при повышении температуры испытания до 20 от 650 °С и на 4-10% при повышении температуры испытания от 650 до 750 °С»;

– По четвертой главе: что будет в области больших значений пластической деформации для симметричного цикла или наоборот при малых значениях и при большей базе испытаний?

– В тексте присутствуют незначительные опечатки (такие как: на рисунке 4.3 не подписана долговечность и оси, на странице 102 ссылка на рисунок с другим номером, на странице 112 – ссылка на таблицу 1.2.

– Поскольку все испытания проведены на гладких образцах (рис.2.3), то непонятно, как будут расходиться результаты при наличии одинакового концентратора (форма, глубина) для «мягкого» и «жесткого» циклов нагружения (кстати, один из способов проверки корреляции)?

– Если установлено, что при испытаниях по «жесткому» циклу нагружения после 100 циклов испытаний максимальные и минимальные напряжения стабилизируются и далее практически реализуется «мягкий» цикл нагружения (п.4.4), то какой смысл проводить испытания на «жесткое» нагружение для оценки качества материалов (рис.4.31 подтверждает отсутствие корреляции между данными по «мягкому» и «жесткому» циклам нагружения при различных температурах)?

– Как думает автор: Каков будет диапазон температур для различных сплавов-аналогов ВЖ175 и ВКНА-1ВР для оценки свойств малоциклового усталости не только при произвольной асимметрии цикла, но и при произвольной температуре с использованием представленных моделей в диссертационной работе?

Отзывы на автореферат:

1. Акционерное общество «Русполимет», отзыв подписан начальником центра контроля и менеджмента качества, кандидатом технических наук, Ерёменко Владимиром Владиславовичем.

Имеются замечания:

– в главе 2 целесообразно пояснить, чем обусловлен выбор конкретных повышенных температур проведения испытаний для каждого сплава;

– целесообразно указать данные о способе производства исходной заготовки из сплава ВЖ175 по аналогии с описанием изделия из сплава ВКНА-1ВР, а также указать фактический режим окончательной термической обработки обоих исходных изделий;

– целесообразно детально описать конкретное место вырезки образцов из изделий, а также их ориентацию;

– также было бы целесообразно пояснить, чем обусловлен выбор геометрических параметров образцов;

- результаты фрактографических исследований целесообразно было бы дополнить указанием глубины залегания очага усталостного разрушения от поверхности;

- отсутствует информация о моделях испытательного оборудования и средствах измерений, используемых в работе;

2. Автономная некоммерческая организация «Научно-исследовательский институт имплантационного протезирования имени Н.Н. Знаменского», отзыв подписан старшим научным сотрудником, кандидатом технических наук Алексеевым Евгением Борисовичем.

Имеются замечания:

- не представлены взаимосвязи между структурными изменениями и характером разрушения при повышении температуры испытания, было бы интересно дополнить работу в этом направлении;

- не показаны границы применимости предложенных моделей для оценки долговечности при произвольной асимметрии цикла – на какие диапазоны напряжений и коэффициентов асимметрии цикла эти модели распространяются;

- на рисунке 6 подписи к фотографиям изломов («поверхность усталостного разрушения», «очаг усталостного разрушения», «смешанное разрушение») не привязаны к конкретным условиям испытаний (температура, коэффициент асимметрии) – без этой информации связь между условиями нагружения и механизмом разрушения, которая является одним из ключевых результатов работы, прослеживается хуже.

3. Акционерное общество «Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежала» (АО «НИКИЭТ»), подписан начальником 245 отдела "Инженерный центр прочности (ИЦП)", кандидат физико-математических наук Полозом Михаилом Васильевичем.

Имеются замечания:

- замечание касается обоснования механизмов разрушения с точки зрения микроструктуры. В автореферате представлены фрактограммы, демонстрирующие морфологию изломов. Однако для более полного материаловедческого анализа было

бы крайне ценно дополнить исследование данными по эволюции дисперсной микроструктуры (размер и морфология γ' -частиц, образование полос скольжения, процессы коалесценции и распада) в приповерхностных слоях и у вершины трещины после циклического нагружения в различных условиях. Это позволило бы напрямую связать кинетику изменения механических свойств со структурными изменениями.;

– Замечание связано с ролью межзеренных границ. Учитывая, что ВКНА-1ВР является литым интерметаллидным сплавом, а при высоких температурах доминирующую роль в разрушении часто играют процессы на границах зерен, в работе целесообразно было бы более детально обсудить влияние размера зерна, химического состава и состояния границ на механизм межзеренного разрушения, особенно в области очага разрушения.

4. Акционерное общество «Металлургический завод «Электросталь», отзыв подписан начальником бюро технического передела, кандидатом технических наук, Токаревой Натальей Валерьевной.

Имеются замечания:

– в работе основной акцент сделан на силовом подходе к оценке долговечности. Представляется целесообразным более детально рассмотреть возможности деформационных и энергетических моделей, особенно применительно к материалам с выраженными проявлениями циклической ползучести;

– при описании фрактографических особенностей разрушения сплава ВКНА-1ВР отмечается отсутствие усталостных бороздок. Данный результат заслуживает более развёрнутого обсуждения с точки зрения механизмов зарождения и развития трещины;

– в блок-схеме выбора моделей оценки долговечности обоснованы оптимальные решения для отдельных температурных интервалов. Представляется полезным рассмотреть перспективы интеграции подхода для более широкого диапазона условий эксплуатации.

5. Акционерное общество «ВНИИНЕФТЕМАШ», отзыв подписан техническим директором, кандидатом технических наук, Головачевым Владимиром Леонидовичем.

Имеется замечание: в разделе «Заключение» автору следовало бы обозначить, какую глобальную задачу помогают решить полученные результаты исследований, а затем уже перечислять их. Это дало бы более явное представление о связи между поставленными задачами, полученными результатами и их научной и практической значимостью.

6. Акционерное общество «ОДК-Авиадвигатель», отзыв подписан заместителем управляющего директора – директором опытного завода, кандидатом технических наук, Черкашневой Натальей Николаевной.

Имеются замечания:

– в автореферате не отражена информация об используемом виде заготовки для изготовления образцов из сплава ВЖ175 для проведения работ: вид заготовки, ее габариты, производитель, режим термической обработки. Не приведена информация о схеме раскроя заготовки на образцы, включая направление вырезки образцов;

– желательно было бы добавить комментарии по возможным перспективам дальнейших исследований в выбранной области.

7. Публичное акционерное общество «ОДК-Кузнецов», отзыв подписан главным конструктором, кандидатом технических наук, Злобиным Андреем Сергеевичем.

Имеются замечания:

– в качестве критерия достоверности моделей, позволяющих оценить долговечность при повреждении от малоцикловой усталости, предложен коэффициент детерминации R^2 . При этом в диссертации не отражено, при каких величинах R^2 модель можно считать достоверной и применимой для практической (инженерной) оценки долговечности деталей ГТД;

– в главе 4, по тексту и в таблицах, размах полной деформации (напряжения) назван также пределом МЦУ и пределом выносливости, что некорректно. В

соответствии с ГОСТ 23 207 размах деформации (напряжений) является характеристикой нагружения и определяется как алгебраическая разность между максимальной и минимальной деформацией и напряжением цикла. Предел выносливости, в свою очередь, является характеристикой сопротивления усталости и определяется как максимальное по абсолютному значению напряжение цикла, при котором еще не происходит усталостное разрушение до базы испытаний. К деформациям данный термин применять некорректно. А исходя из указанных определений размах напряжений может совпадать по величине с пределом выносливости только при отнулевом цикле напряжений, в то время как в главе 4 рассматриваются также циклы с коэффициентом асимметрии отличным от нуля. Термин «предел МЦУ» в отраслевой нормативной документации вовсе отсутствует.

8. Акционерное общество «ОДК-Климов», отзыв подписан заместителем главного конструктора по перспективным разработкам, кандидатом технических наук, Липиным Алексеем Владимировичем.

Имеются замечания:

– из автореферата не ясно, каким образом изначально при асимметричном нагружении формируется/назначается испытательный цикл при испытаниях образцов по «мягкому и «жесткому» циклам нагружения, на основании каких исходных данных и какой методики линейного суммирования напряжений?

– и автореферата не ясно, на чем основаны дополнения автора в ключевую модель Морроу, и чем обусловлен выбранный энергетический подход, исходя из каких зависимостей поглощаемой энергии от величины упругопластической деформации. Рекомендуется в дальнейшем рассмотреть в инженерных расчетах МКЭ для зависимостей «циклическая кривая» (напряжение-деформация) наличие аппроксимирующих уравнений типа Рамберга-Осгуда или Холломона, позволяющих корректно описывать циклическое упрочнение/разупрочнение материала в расчетных моделях, что значительно облегчит внедрение внедрение полученных результатов в инженерную практику.

Все отзывы носят положительный характер. В отзывах отмечено, что диссертационная работа является завершенной, самостоятельно выполненной

научно-квалификационной работой в области исследования малоцикловой усталости жаропрочных никелевых сплавов. Работа соответствует требованиям и критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, предъявленным к диссертациям на соискание степени кандидата наук, а ее автор, Ходинев Иван Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17. «Материаловедение».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

– доктор технических наук, доцент, профессор образовательного центра института №11, с.н.с. лаборатории материаловедения, ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Гусев Дмитрий Евгеньевич является признанным специалистом в области материаловедения и автором более 100 публикаций. Под руководством и при непосредственном участии Гусева Д.Е. выполнен колоссальный объем научно-исследовательских работ, направленных на исследования свойств металлических материалов;

– кандидат технических наук, начальник испытательной лаборатории по исследованию деталей и узлов ИЦЗЛ службы главного металлурга АО «ОДК-Климов» Тихомирова Елена Александровна, автор более 30 научных трудов, является одним из ведущих специалистов в области исследования малоцикловой и термоциклической усталости деталей газотурбинных двигателей и материалов, из которых они изготовлены. Область научных интересов Тихомировой Е.А. максимально близка к теме диссертации.

– Акционерное общество «Национальный институт авиационных технологий» (АО «НИАТ») является одной из ведущих технологических отечественных организаций авиационной промышленности, значительная доля исследовательской деятельности которой приходится на вопросы материаловедения. АО «НИАТ» проводит исследования жаропрочных никелевых сплавов используемых в АГТД, обеспечивая глубокое понимание их микроструктуры и поведения при высоких

температурах. Институт обладает уникальным опытом обработки высокопрочных и жаропрочных материалов, включая сварку и термообработку, что напрямую влияет на механические свойства, в том числе на сопротивление малоциклового усталости.

Список основных публикаций сотрудников ведущей организации за последние 5 лет:

1. Бецофен С. Я., Ашмарин А. А., Петров Л. М. и др. Влияние параметров ионно-плазменного процесса на текстуру и свойства TiN и ZrN покрытий // Деформация и разрушение материалов. 2021. № 4. С. 2–9. DOI 10.31044/1814-4632-2021-4-2-9.

2. Петров Л. М., Коваленко А. В., Смирнова А. Н. и др. Технологическое обеспечение ресурса и надежности силовых металлических деталей планера самолета методами упрочняющей поверхностной обработки с обеспечением контролируемой технологической наследственности поверхностного слоя // Авиационная промышленность. 2021. № 2. С. 36–44.

3. Шершак П. В., Левин В. М., Косарев В. А. и др. Исследование процесса разрушения образцов углепластика с диагностированием микроструктурных повреждений средствами акустической микроскопии // Физика и механика материалов. 2021. Т. 47, № 3. С. 514–526. DOI 10.18149/MPM.4732021_12.

4. Petrov L. M., Grigorovich K. V., Betsofen S. Ya. et al. Efficiency of the Action of Plasma Flows on the Surface of 30KhGSA Steel during the Deposition of Electric Arc Vacuum Ion–Plasma Coatings // Russian Metallurgy (Metally). 2023. Vol. 2023, No. 1. P. 46–53. DOI 10.1134/s003602952301010x.

5. Курулюк К. А. Измерение перемещений и деформаций моделей и элементов конструкции ЛА в аэродинамическом и прочностном эксперименте методом видеограмметрии: дис. канд. техн. наук: 05.07.02 / Ксения Александровна Курулюк. 2021. 172 с.

6. Егоров А. В. Методология нелинейного динамического анализа монолитности высоконагруженных контактно-стесненных оболочечных конструкций авиационно-космического и гражданского назначения: дис. докт. техн. наук: 05.07.02 / Антон Витальевич Егоров. 2022. 304 с.

7. Егоров А. В., Егоров В. Н. Расчетно-экспериментальное исследование продольной устойчивости конструкции тонкостенного плоского стержня // Инженерный журнал: наука и инновации. 2023. № 3 (135).

8. Егоров А. В. Выбор установки для изготовления имитатора наледи на крыло самолета по технологии трехмерной печати // Авиационная промышленность. 2021. № 2. С. 45–50.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- показана связь параметров петли упруго-пластического гистерезиса (для «жесткого» цикла: размах пластической деформации, амплитудное и среднее значение напряжения, а также характер их изменения в процессе испытания; для «мягкого» цикла деформация циклической ползучести, амплитудное и среднее значение полной деформации в цикле, а также характер их изменения в процессе испытания) с контролируемым параметром нагружения и асимметрией цикла для сплавов ВЖ175 при 20, 650, 750 °С и ВКНА-1ВР при 20, 850, 1050 °С;

- предложен новый подход к выбору оптимальной модели оценки долговечности жаропрочных никелевых сплавов при произвольной асимметрии цикла нагружения;

- доказано наличие зависимости между условиями нагружения ВЖ175 (асимметрия цикла, температура испытания, контролируемый параметр нагружения – амплитуда или деформация) и характером разрушения образцов из сплава.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- изучен характер изменения параметров петли упруго-пластического гистерезиса образцов из ВЖ175 и ВКНА-1ВР при различных условиях проведения испытания;

- показано, что симметричное «мягкое» и «жесткое» нагружение эквивалентны для образцов из сплавов ВЖ175 при 20, 650, 750 °С и ВКНА-1ВР при 20, 850, 1050 °С за счет циклической стабильности этих материалов;

– исследованы границы применимости к сплавам ВЖ175 и ВКНА-1ВР классических моделей учета влияния асимметрии цикла на малоцикловую усталость (Гудмана, Гербера, Смитта-Уотсона-Топпера и др.) к сплавам ВЖ175 и ВКНА-1ВР.

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

– установлена возможность сокращения объема усталостных испытаний (до трехкратного) за счет выявленной эквивалентности испытаний при «мягком» и «жестком» симметричном цикле образцов из сплавов ВЖ175 при 20, 650, 750 °С и ВКНА-1ВР при 20, 850 и 1050 °С;

– разработан метод оценки долговечности при произвольной асимметрии цикла, который может быть использован при расчетах ресурса деталей ГТД;

– разработан стандарт организации 1-595-33-456-2014 «Методика испытаний на мало-цикловую усталость при «жестком» цикле нагружения жаропрочных сплавов для авиационных ГТД»;

– внесены дополнительные сведения в паспорта жаропрочных никелевых сплавов ВКНА-1ВР и ВЖ175 № 1649 и № 1805, содержащие характеристики малоциклового усталости при трех коэффициентах асимметрии цикла нагружения;

– установлены соответствия между механизмами разрушения и параметрами нагружения, что позволит определить, какие условия нагружения привели к разрушению детали и соответствовали ли эти условия ожидаемым.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– использован комплексный анализ исходных данных, основанных на действующих нормативных документах;

– использованы стандартизированные методики исследований в соответствии с действующими государственными стандартами Российской Федерации на современном и поверенном оборудовании, высокой воспроизводимостью экспериментальных данных и статистически достоверными результатами их обработки, согласованностью теоретических и экспериментальных исследований;

– установлено совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

Личный вклад автора состоит в: постановке цели, задач исследования, выборе методов исследования, анализе результатов механических испытаний образцов жаропрочных никелевых сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР и результатов фрактографического анализа, составлении нормативно-технической документации, подготовке публикаций и представлении результатов работы.

В ходе защиты диссертации были заданы вопросы и высказаны критические замечания:

1. Слайд номер 14, где на изображении с подписью «Усталостные бороздки при $R = -1$ при 20°C » видно эти бороздки?
2. Слайд номер 17, верхний правый рисунок, как вы можете объяснить разрывы петель упруго - пластического гистерезиса?
3. Встречается фраза, что сплавы циклически стабильны, что она означает? Ведь сплавы структурно резко отличаются, у ВЖ175 мелкое зерно, а ВКНА-1ВР это крупное зерно и дендритная структура.
4. На 24 слайде показан алгоритм оценки долговечности. Сплавы структурно отличаются, а модели описывают их одинаково, как это объяснить? Работает ли данный алгоритм для других температур, допустим при 700°C для сплава ВЖ175? Или если взять другой материал такого же класса, например другой дисковый материал, который сейчас используется, эти модели будут работать для него?
5. В докладе вы говорили, что разрушение идёт по границам дендритов, но структурно Вы никогда границу дендрита не обнаружите, дендрит от междендритных пространств отличается только химическим составом, там нет границ у структуры. Это где-то показано в диссертации?
6. Каждый двигатель имеет определенный ресурс, допустим есть двигатель где применяется сплав ВЖ175. Если этот двигатель снимается из-за выработки ресурса лопатки, то имеет ли смысл продлевать долговечность для ВЖ175, если он и так работает хорошо?

7. Есть понятие долговечности материалов по эксперименту, который вы проводите, а есть долговечность изделия из этого материала. На сколько расчёты долговечности по материалу должны совпадать с расчетами долговечности конкретных деталей?

8. Последние годы много публикаций идёт по оценке долговечностей с помощью оптоволоконных датчиков с брегговскими решетками. Проводилось ли сравнение оценки долговечности, полученной с применением таких датчиков с долговечностью по результатам ваших испытаний?

Соискатель Ходинев И.А. согласился с замечаниями на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. С замечанием согласен. Соседнее изображение больше подходит для того, чтобы увидеть усталостные бороздки.

2. На самом деле все петли непрерывны и имеют замкнутый вид, но при выгрузке отдельного цикла нагружения из машинных файлов, рисунок петли действительно имеет небольшой разрыв.

3. Сплавы циклически стабильны, поскольку амплитуда напряжения сохраняется на протяжении всего испытания постоянной, при всех температурах и асимметриях цикла нагружения. Так показал проведенный эксперимент.

4. Действительно, есть случаи, когда одна и та же модель подходит для вычисления долговечности для обоих сплавов, но с разными коэффициентами для каждого условия. Модели не работают при произвольной температуре, только при произвольной асимметрии цикла нагружения. Для проверки работоспособности моделей на другом сплаве такого же класса, как дисковый сплав ВЖ175, необходимо провести дополнительные испытания.

5. В диссертации приведено большое количество фрактографических изображений полученных изломов, но в данном случае я с замечанием согласен, это неподходящий термин для описания характера излома.

6. Для материала, который уже попал в конструкцию двигателя и хорошо там себя показывает, увеличение долговечности с помощью более точных расчетов, действительно не очень актуально. Однако на этапе выбора материала для

конструкции, перед началом его спецквалификации, подобные оценочные методы позволят более точно определить пригодность материала для конкретного назначения. Бывали случаи при сертификации двигателя, когда выбранный материал забраковывался уже во время специальной квалификации. Во избежание такой ситуации, для экономии времени и ресурсов пригодятся модели для более точной оценки долговечности.

7. Прямое сравнение проводить нельзя, потому что деталь - это вещь сложная, в ней есть концентраторы напряжений и много других факторов, которые влияют на долговечность. Результаты испытаний материала используются конструкторами для расчетов на прочность деталей, испытания - это инструмент чтобы рассчитать деталь на прочность.

8. В данной работе не проводилось сравнение оценки долговечности, полученной с применением оптоволоконных датчиков с брегговскими решетками с долговечностью по результатам проведенных испытаний.

Соискатель указал, что все высказанные замечания будут учтены в дальнейшей научной работе.

В диссертационной работе все заимствованные источники представлены со ссылками на автора или источник.

На заседании «27» ноября 2025 г. диссертационный совет принял решение о том, что в диссертации Ходинева И.А. решена важная научная задача оценки влияния асимметрии цикла нагружения на циклическую долговечность образцов жаропрочных никелевых сплавов при «мягком» и «жестком» нагружении. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата технических наук, и принял решение присудить Ходиневу И.А. степень кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17. Материаловедение.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 4 доктора технических наук по научной специальности 2.6.17. Материаловедение, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – 0, недействительных бюллетеней – нет.

Председательствующий:

Заместитель председателя

диссертационного совета

д.т.н., доцент



Ученый секретарь

диссертационного совета

к.т.н.

Славин

Андрей

Вячеславович

подпись

фамилия, имя, отчество
(полностью)

Горбовец

Михаил

Александрович

подпись

фамилия, имя, отчество
(полностью)

Дата оформления заключения: «27» ноября 2025 г.