

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.05

Соискатель: Елеонский Святослав Игоревич

Тема диссертации: Исследование процесса накопления повреждений и эволюции остаточных напряжений по данным измерений локального деформационного отклика методом спекл-интерферометрии

Специальность: 01.02.04 - Механика деформируемого твёрдого тела

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 16 июня 2021 года, протокол б, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Елеонского Святослава Игоревича является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

Диссертация Елеонского Святослава Игоревича отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. На заседании 16 июня 2021 года, протокол б, диссертационный совет принял решение присудить Елеонскому Святославу Игоревичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Тарлаковский Д.В., заместитель председателя диссертационного совета Фирсанов В.В., ученый секретарь диссертационного совета Федотенков Г.В., Бирюков В.И., Вестяк В.А., Гришанина Т.В., Дудченко А.А., Зверьев Е.М., Кузнецов Е.Б., Медведский А.Л., Мовчан А.А., Нерубайло Б.В., Рабинский Л.Н., Рыбаков Л.С., Сидоренко А.С., Солдатенков И.А., Туркин И.К., Тютюнников Н.П.

Председатель
диссертационного совета Д 212.125.05
д.ф.-м.н., профессор

Тарлаковский Д.В.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.125.05
к.ф.-м.н., доцент

Федотенков Г.В.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.05

СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «16» июня 2021 г. № 6

О присуждении Елеонскому Святославу Игоревичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование процесса накопления повреждений и эволюции остаточных напряжений по данным измерений локального деформационного отклика методом спекл-интерферометрии» по специальности 01.02.04 - «Механика деформируемого твёрдого тела» принята к защите «15» апреля 2021 г., протокол заседания № 5 диссертационным советом Д 212.125.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, А-80, ГСП-3, приказ о создании диссертационного совета Д 212.125.05 – № 105/нк от «11» апреля 2012 г.

Соискатель Елеонский Святослав Игоревич, 1988 года рождения, в 2010 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационно-технологический институт им. К. Э. Циолковского» Российский Государственный Технологический Университет (ФГБОУ ВПО МАТИ) по специальности «Физика» с специализацией «Механика прочности материалов и конструкций».

В период подготовки диссертации соискатель, Елеонский Святослав Игоревич, работал научным сотрудником в отделении «Статической и тепловой прочности» научно-исследовательского комплекса прочности летательных аппаратов (НИО-3 НИК прочности ЛА) Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный Аэрогидродинамический Институт

имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ»), с 2013 по 2017 год обучался в заочной аспирантуре Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный Аэрогидродинамический Институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ»). Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана «04» марта 2021 года. Справка о сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине выдана «04» марта 2021 года Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» МАИ.

Диссертация выполнена в отделении «Статической и тепловой прочности» научно-исследовательского комплекса прочности летательных аппаратов (НИО-3 НИК прочности ЛА) Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный Аэрогидродинамический Институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ»).

Научный руководитель – **Писарев Владимир Сергеевич**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отделения «Статической и тепловой прочности» научно-исследовательского комплекса прочности летательных аппаратов (НИО-3 НИК прочности ЛА) Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный Аэрогидродинамический Институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ»).

Официальные оппоненты:

Покровский Алексей Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Прикладная механика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (МГТУ им. Н.Э. Баумана), г. Москва.

Разумовский Игорь Александрович, доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории «Механики разрушения и живучести» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения имени А.А. Благоднарова РАН (ИМАШ РАН), г. Москва, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН)** г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном доктором физико-математических наук, профессором, ведущим научным сотрудником Поповым Александром Леонидовичем и доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником

Шифриным Ефимом Ильичом и утвержденным доктором технических наук, заместителем директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН) Каревым Владимиром Иосифовичем указала, что диссертация Елеонского Святослава Игоревича представляет собой завершенную квалификационную работу, в которой разработаны и применены новые экспериментальные методы, основанные на оптико-физических измерениях локального деформационного отклика, для исследования процессов накопления повреждений и эволюции остаточных напряжений в зонах концентрации напряжений при малоциклового усталости. Диссертация соответствует всем требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 24 опубликованных печатных работ по теме диссертации, из которых 15 опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Елеонский С.И., Одинцев И.Н., Писарев В.С., Чернов А.В. Исследование процесса распространения трещины по данным измерений локального деформационного отклика: I. Поле действующих напряжений. Учёные записки ЦАГИ. 2015. № 7. С. 55-76.
2. Matvienko Yu.G, Pisarev V.S., Eleonsky S.I., Chernov A.V. Determination of fracture mechanics parameters by measurements of local displacements due to crack length increment. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. 2014. V. 37. N. 12. P. 1306-1318. DOI: 10.1111/ffe.12195.
3. Pisarev V.S., Matvienko Yu.G., Eleonsky S.I., Odintsev I.N. Combining the crack compliance method and speckle interferometry data for determination of stress intensity factors and T-stresses. *Engineering Fracture Mechanics*. 2017. V. 179. P. 348-374. [dx.doi.org/10.1016/j.engfracmech.2017.04.029](https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2017.04.029).
4. Боровская Я.С., Елеонский С.И., Писарев В.С. Влияние циклического нагружения на величины остаточных напряжений и коэффициентов интенсивности напряжений. Учёные записки ЦАГИ. 2018. № 6. С. 64-82.

5. Matvienko Yu.G, Pisarev V.S., Eleonsky S.I., Chernov A.V. Residual stress/strain evolution due to low-cycle fatigue by removing local material volume and optical interferometric data. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. 2019. V. 42. P. 2061–2078. DOI: 10.1111/ffe.13083
6. Matvienko Yu.G, Pisarev V.S., Eleonsky S.I. The effect of low-cycle fatigue parameters on damage accumulation near a hole. *Engineering Failure Analysis*. 2019. V. 106. doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104175.
7. Елеонский С.И., Матвиенко Ю.Г., Писарев В.С., Чернов А.В. Эволюция параметров механики разрушения в окрестности отверстия при малоцикловой усталости по данным моделирования трещины узкими надрезами. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2020. № 9. С. 52-62.
8. Елеонский С.И., Матвиенко Ю.Г., Писарев В.С., Чернов А.В. Накопление повреждений в окрестности отверстия при малоцикловой усталости по данным измерений локального деформационного отклика. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2020. № 10. С. 46-55.

В этих и остальных работах изложены и обоснованы основные результаты автора по разработке экспериментальных подходов и применении их к исследованию процесса накопления повреждений и эволюции остаточных напряжений при малоцикловой усталости.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от научного руководителя, ведущей организации и официальных оппонентов, отзывы положительные;

от Макарова Виктора Васильевича, кандидата технических наук, начальника лаборатории экспериментальных исследований прочности оборудования АЭС АО ОКБ «Гидропресс», заверенный ведущим специалистом по персоналу Улитиной Е.В., отзыв положительный;

от Цой Светланы Владимировны, начальника бригады автоматизации расчётов отделения прочности ПАО Корпорация «Иркут», утверждённый начальником отделения прочности – Заместителем главного конструктора по прочности ПАО Корпорация «Иркут» А.Г. Яшутиным и Заместителем генерального директора по разработке авиационной техники – директором инженерного центра, главным конструктором МС-21, кандидатом технических наук, Поповичем К.Ф., заверенный руководителем департамента управления персоналом А.Р. Бахаревым, отзыв положительный;

от **Михаила Ивановича Алымова**, доктора технических наук, профессора, член.-корр. РАН, директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова Российской академии наук» (ИСМАН), заверенный учёным секретарём ИСМАН Е.В. Петровым, отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам, отмечены актуальность, новизна, достоверность полученных автором результатов и их практическая и фундаментальная ценность.

В поступивших отзывах от официальных оппонентов и ведущей организации имеются следующие основные критические замечания:

1. Из основного положения работы можно сделать вывод, что двух точек измерения перемещений достаточно для приемлемой точности получения величин коэффициента интенсивности напряжений (КИН). Есть ли этому экспериментальное подтверждение? (сравнение с результатами измерения большего количества точек).
2. Использование для расчёта распределения остаточных напряжений (ОН) в зоне упрочнённого отверстия σ_2^{OH} на основе величин \tilde{K}_I^{OH} с использованием асимптотического соотношения (4.2) не вполне корректно. Строго говоря, расчёт ОН на основе экспериментально полученной зависимости $\tilde{K}_I^{OH}(l)$ требует решения уравнения типа Вольтерра 1-го рода. Таким образом, полученные результаты следует рассматривать лишь только как приближённые оценки.
3. Из текста диссертации не ясно, проводилось ли сравнение долговечности и эволюции величин КИН для образцов с обычным и упрочненным отверстиями при одинаковых параметрах малоциклового нагружения.
4. В работе, кроме величин КИН для симметричных надрезов в плоских образцах, определялись также значения раскрытия в вершине надреза и Т-напряжений. Можно ли использовать эволюцию этих несингулярных параметров для описания процесса накопления повреждений?

В отзывах на автореферат следует отметить такие критические замечания и вопросы:

1. Приведенный в автореферате материал вызывает интересный вопрос о связи разработанного метода количественного описания накопления повреждений с традиционными методами исследования скорости роста

усталостной трещины. В частности, можно ли применить предложенный подход к исследованию накопления повреждений в образцах со стандартным коротким нарезом и связать полученные результаты с данными о скорости роста усталостной трещины?

2. В работе отсутствуют данные, которые характеризуют процесс накопления повреждений в окрестности сварных соединений алюминиевых пластин при малоцикловом нагружении.

3. В работе отсутствует информация о возможности применения приведённых подходов для различных типов материалов, например, композиционных.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области и имеют публикации, связанные с направлением исследований диссертации, а в ведущей организации работают специалисты, достижения которых широко известны, в том числе и в области науки, соответствующей тематике диссертации.

Покровский Алексей Михайлович имеет учёную степень доктора технических наук по специальностям 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» и 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», является высококвалифицированным специалистом в области анализа напряжённо деформируемого состояния (НДС), трещиностойкости элементов конструкций. В область его научных интересов входит анализ живучести, оценки трещиностойкости в окрестности сварных соединений характеризующихся высокими градиентам остаточных напряжений, расчётные методы механики разрушения. **Разумовский Игорь Александрович** имеет учёную степень доктора технических наук по специальности 05.02.19 «Экспериментальная механика машин», является известным специалистом в области анализа напряженно-деформированного состояния и прочности с использованием экспериментальных (интерференционно-оптических), экспериментально-расчетных и расчетных методов. Областями его научных интересов являются: аналитические решения ряда осесимметричных задач теории упругости и пластичности, на основе которых проведены расчеты напряженно-деформированного состояния в зонах отверстий переменного диаметра; вопросы применения поляризационно-оптических методов (пространственной фотоупругости, метода фотоупругих покрытий, метода рассеянного света) для определения параметров хрупкого разрушения в общем случае нагружения пространственных кусочно-однородных тел с трещинами; разработка методик определения

высокоградиентных полей остаточных напряжений в плоских и пространственных деталях.

Ведущая организация **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН)** выполняет фундаментальные исследования по широкому спектру проблем механики и смежных дисциплин. Является ведущим институтом в различных областях общей механики, механики жидкости и газа, механики деформируемого твёрдого тела.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан новый экспериментальный метод определения параметров разрушения на основе удаления локального объёма материала в виде узкого надреза;

предложена и верифицирована модель перехода от измеряемых компонент перемещений на берегах надреза к величинам коэффициента интенсивности напряжений (КИН) и несингулярной компоненты напряжений у вершины трещины (Т-напряжений);

исследован процесс накопления усталостных повреждений в окрестности концентратора напряжений при малоцикловом нагружении прямоугольных образцов с отверстием для различных значений коэффициентов асимметрии и размаха напряжений цикла; эволюции остаточных напряжений в окрестности упрочненных отверстий в плоских прямоугольных образцах при малоцикловом нагружении; эволюции остаточных напряжений в окрестности сварных соединений плоских прямоугольных образцов при малоцикловом нагружении;

доказана применимость разработанного подхода к исследованию процессов накопления повреждений и эволюции остаточных напряжений при малоцикловой усталости;

новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана применимость разработанного метода исследования для определения величин раскрытия, КИН и Т-напряжений для трещин различной длины в поле действующих и остаточных напряжений на различных этапах циклического нагружения;

применительно к проблематике диссертации результативно использован разработанный подход для возможности прогнозирования скорости накопления усталостных повреждений для произвольных параметров цикла нагружения.

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

создана экспериментальная установка, которая обеспечивает высокую точность получения исходной экспериментальной информации в виде тангенциальных компонент перемещений методом электронной спекл-интерферометрии;

представлен метод оценки накопления повреждений, основанный на проведении измерений после циклического нагружения образцов, что исключает необходимость определения скорости роста усталостной трещины в реальном времени.

разработан подход, обеспечивающий возможность количественного описания процесса накопления усталостных повреждений и эволюции остаточных напряжений в образцах, моделирующих элементы болтовых/заклёпочных и сварных соединений;

получены данные, которые необходимы для верификации численных моделей зарождения и развития усталостных трещин в нерегулярных зонах авиационных конструкций, в том числе при наличии полей остаточных напряжений.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория и экспериментальный метод основан на соотношениях линейной механики разрушения;

установлена погрешность результатов эксперимента для краевых и центральных трещин оценивается путём сравнения величин КИН с известными результатами теоретических и численных решений соответствующих задач линейной механики разрушения;

использованы сравнения образцовых картины интерференционных полос, которые визуализируются с помощью расчётов методом конечного элемента и реальных интерферограмм.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задачи, разработке нового метода определения параметров механики разрушения на основе локального удаления материала в виде узкого надреза и измерении деформационного отклика методом электронной спекл-интерферометрии; анализе процессов накопления повреждений при малоциклового усталости и анализе эволюции остаточных напряжений. В подготовке статей по теме диссертации, опубликованных в журналах, входящих в перечень ВАК РФ, и статей, опубликованных в журналах, цитируемых в базе данных Scopus и Web of Science, а также патента на изобретение.

Приведенные положения позволяют заключить, что представленная диссертация является законченным научно-квалификационным исследованием, содержащим элементы научной новизны, имеющим важное прикладное и фундаментальное значение для развития теоретических и экспериментальных

методов исследования свойств защитных полимерных покрытий. В ней представлены новые, обоснованные результаты, что соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 16 июня 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Елеонскому Святославу Игоревичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 4 докторов технических наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета Д 212.125.05,
д.ф.-м.н., профессор

Тарлаковский Д.В.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д 212.125.05,
к.ф.-м.н., доцент

Федотенков Г.В.

16.06.2021 г.

Начальник отдела УДС МАИ

Т.А. Анкина

