

# СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

**Диссертационный совет:** Д 212.125.05

**Соискатель:** Завойчинская Элеонора Борисовна

**Тема диссертации:** Усталостное масштабнo-структурное разрушение и долговечность конструкций при пропорциональных процессах нагружения

**Специальностям:** 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:**

Совокупность выполненных автором исследований и разработанных теоретических и практических положений можно квалифицировать как решение крупной научной проблемы, заключающейся в создании теории усталостного разрушения металлов и методов оценки долговечности и безопасной эксплуатации протяженных конструкций, имеющих важное практическое значение для трубопроводного транспорта. Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 26 сентября 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Завойчинской Элеоноре Борисовне ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 9 докторов физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 21, против 0, недействительных бюллетеней 1.

Присутствовали: председатель диссертационного совета д.ф.-м.н., проф. Тарлаковский Д.В., заместитель председателя диссертационного совета д.т.н., проф. Фирсанов В.В., ученый секретарь диссертационного совета, к.ф.-м.н., доц. Федотенков Г.В., д.т.н., проф. Бирюков В.И., д.ф.-м.н., доц. Вестяк В.А., д.ф.-м.н., проф. Гришанина Т.В., д.т.н., проф. Дмитриев В.Г. д.т.н., проф. Дудченко А.А. д.т.н., проф. Зверьяев Е.М., д.ф.-м.н., проф. Кузнецов Е.Б., д.т.н., проф. Лурье С.А., д.ф.-м.н., доц. Медведский А.Л., д.т.н., проф. Меркурьев И.В., д.ф.-м.н., проф. Мовчан А.А., д.т.н., проф. Нерубайло Б.В., д.ф.-м.н., проф. Рабинский Л.Н., д.ф.-м.н., проф. Рыбаков Л.С., д.т.н., проф. Сибирияков А.В., д.ф.-м.н., проф. Солдатенков И.А., д.т.н., проф. Сидоренко А.С., д.т.н., проф. Туркин И.К., д.т.н., проф. Тютюников Н.П.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.125.05

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 ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от «26» сентября 2018 г. № 3

О присуждении Завойчинской Элеоноре Борисовне, гражданке Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Усталостное масштабное-структурное разрушение и долговечность конструкций при пропорциональных процессах нагружения» по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела», принята к защите «21» мая 2018 г., протокол № 2, диссертационным советом Д 212.125.05, созданным на базе ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки РФ, 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 Завойчинская Элеонора Борисовна, 1966 года рождения, в 1988 году окончила с отличием механико-математический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Предельные процессы циклического нагружения при плоском напряженном состоянии» защитила в 1991 г. в диссертационном совете, созданном на базе Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.



С 1998 г. работает доцентом на кафедре «Теория упругости» механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, в 2008 г. ей присвоено ученое звание доцента по кафедре.

Диссертация выполнена на кафедре «Теория упругости» механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Официальные оппоненты:

**Махутов Николай Андреевич**, член-корреспондент РАН, профессор, доктор технических наук, председатель Рабочей группы при Президенте РАН по анализу риска и безопасности, главный научный сотрудник ФГБУН Института машиноведения имени А.А. Благонравова (ИМАШ РАН), советник РАН,

**Морозов Евгений Михайлович**, профессор, доктор технических наук, Заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры «Физика прочности» Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), Почетный профессор Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (НИЯУ МИФИ),

**Арутюнян Роберт Ашотович**, профессор, доктор физико – математических наук, Иностраный член НАН Республики Армения, профессор кафедры «Теория упругости» математико-механического факультета Санкт –Петербургского государственного университета (СПбГУ)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ)** в своем положительном отзыве, подписанном профессором, доктором технических наук, профессором кафедры «Сопротивление материалов, теории упругости и пластичности», Заслуженным деятелем науки и техники РФ Зубчаниновым Владимиром Георгиевичем и доктором технических наук, профессором кафедры «Конструкции и сооружения» Гультьяевым Вадимом Ивановичем и утвержденном проректором по научной работе ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», доктором философских наук, профессором Евстифеевой Еленой Александровной, указала, что работа пред-

ставляет собой законченное научное исследование, которое можно квалифицировать как научное достижение в области механики деформируемого твердого тела, и отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

Соискатель имеет 94 опубликованных работы по теме диссертации, в том числе 42 работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Завойчинский Б.И., Завойчинская Э.Б. Проектная оценка долговечности протяженных конструкций магистральных трубопроводов // Проблемы машиностроения и надежности машин. № 1. 2009. с. 114–122.

2. Завойчинский Б.И., Завойчинская Э.Б., Волчанин А.В. Вероятностная оценка остаточных сроков безопасности эксплуатации протяженных конструкций // Справочник. Инженерный журнал. № 7. 2012. с. 41–46.

3. Завойчинский Б.И., Завойчинская Э.Б., Волчанин А.В. Вероятностная оценка остаточных сроков безопасности эксплуатации протяженных конструкций // Справочник. Инженерный журнал. № 12. 2012. с. 33–36.

4. Завойчинская Э.Б. Микро- и макромеханика разрушения элементов конструкций // Механика твердого тела, № 3. 2012. с. 54–77.

5. Завойчинская Э.Б. Развитие микро- и макротрещин в металлах и сплавах при пропорциональном циклическом нагружении // Проблемы машиностроения и автоматизации, № 1. 2016. с. 98–108.

6. Завойчинская Э.Б. О теории поэтапного усталостного разрушения металлов при сложном напряженном состоянии // Проблемы машиностроения и надежности машин. № 1. 2018. с. 76–85.

В этих и остальных работах изложены и обоснованы основные результаты автора по построению модели усталостного хрупкого разрушения металлов и созданных на ее основе методов оценки долговечности протяженных конструкций. Вклад в публикации, выполненные в соавторстве, состоит в формулировке гипотез и критериев и выполнении численных расчетов.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:



от официальных оппонентов и ведущей организации, отзывы положительные;  
от член-корреспондента РАН, доктора физико-математических наук, профессора, научного руководителя ФГБУН Института проблем машиноведения Российской академии наук Индейцева Дмитрия Анатольевича, отзыв положительный;

от доктора физико-математических наук, профессора, Заслуженного деятеля науки РФ, заведующего кафедрой «Техническая механика» Московского политехнического университета Бондаря Валентина Степановича, отзыв положительный;

от доктора технических наук, профессора, Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, заведующего отделом «Конструкционное материаловедение» ФГБУН Института машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН) Романова Александра Никитовича, отзыв положительный;

от доктора технических наук, профессора, Лауреата Премии Правительства России в области науки и техники, заведующего лабораторией надежности и долговечности при термомеханических циклических воздействиях ФГБУН Института машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН) Москвитина Геннадия Викторовича, отзыв положительный;

от доктора технических наук, профессора кафедры «Технология металлов» ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» Матюнина Вячеслава Михайловича и кандидата технических наук, профессора кафедры «Робототехника, мехатроника, динамика и прочность машин» ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» Хроматова Василия Ефимовича ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ» Шевченко И.В., отзыв положительный;

от доктора технических наук, главного научного сотрудника Красноярского филиала Института вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук (г. Красноярск) Лепихина Анатолия Михайловича, отзыв положительный;

от доктора технических наук, лауреата Государственной Премии РФ и двух Премий правительства РФ в области науки и техники, Заслуженного работника нефтяной и газовой промышленности, научного консультанта журнала «Газовая

промышленность», профессора Харионовского Владимира Васильевича, отзыв положительный;

от доктора технических наук, главного научного сотрудника Корпоративного научно-технического центра управления техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы ООО «Газпром ВНИИГАЗ» Черния Владимира Петровича, отзыв положительный;

от начальника отдела расчета показателей прочности и надежности АО «Ги-прогазцентр» (г. Нижний Новгород) Свердлика Юрия Михайловича, 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 значимость.

В поступивших отзывах имеются критические замечания.

В отзыве официальных оппонентов и ведущей организации имеются следующие критические замечания:

1. Не сформулированы кинетические уравнения развития плотности дефектного состояния в зависимости от амплитуды напряжения.

2. Не указана процедура перехода от времени к числу циклов нагружения. В этом случае нужно учитывать частоту нагружения. В диссертации не учитываются эффекты влияния частоты нагружения на усталостную прочность.

3. Модель представлена в виде рекуррентных соотношений для вероятности разрушения по уровням дефектов. Однако в работе не обсуждается возможность описания изучаемого процесса в виде соотношений, связывающих предельные характеристики на каждом уровне. Возможно, это потребует дополнительных предположений.

4. По предложенному методу можно оценивать сроки службы конструкций, если известны результаты эксплуатации аналогичных систем. В диссертации нет рекомендаций для оценки новых систем, для которых отсутствует статистика и рекомендации по выбору коэффициентов потока отказов.



В отзывах на автореферат следует отметить такие критические замечания.

1. Автором не рассматривается эволюция плотности дефектов в процессе нагружения, т.к. вероятность разрушения не зависит явным образом от плотности дефектов в данный момент времени.
2. В системе гипотез рассматриваемой модели отсутствуют предположения о влиянии температуры на процесс развития дефектов. Предлагаемый автором подход не позволяет учитывать изменение температуры металла в процессе нагружения.
3. В автореферате не отражена роль остаточных напряжений на разных структурно-масштабных уровнях.
4. К недостатку работы следует отнести отсутствие в автореферате диссертации результатов сравнения долговечности наиболее распространенных на практике материалов: углеродистой, низколегированной и легированной сталей.

**Выбор официальных оппонентов обосновывается** тем, что официальные оппоненты являются ведущими учеными с мировым именем по заявленной научной специальности, имеющими значительное количество публикаций по теме диссертации.

**Выбор ведущей организации обосновывается** тем, что **ФГБОУ ВО ТвГТУ** проводит разработки математических моделей определяющих соотношений с учетом изменения структуры материалов, моделированием процессов деформирования и разрушения при сложных напряженно-деформированных состояниях, а также обучает бакалавров, магистров и аспирантов, изучающих физико-механические основы прочности и разрушения материалов и элементов конструкций.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** теория усталостного масштабного-структурного разрушения металлов, описывающая основные физические и механические закономерности стадийного процесса усталостного разрушения и метод оценки долговечности протяженных конструкций при сложном эксплуатационном нагружении с учетом ме-

ханических, техногенных, геодинамических, сейсмических факторов, а также различных видов коррозии и стресс-коррозии;

**предложены:** система рекуррентных определяющих соотношений для вероятности разрушения по определенному уровню дефектности; система кривых усталостного и структурного разрушения металлов по определенному уровню дефектности при сложном напряженном состоянии; критерий конструкционной надежности с учетом техногенного фактора;

**введены:** шесть масштабно-структурных уровней усталостного разрушения; понятия усредняющей функции данного уровня, отражающей процесс разрушения, и функции вероятности разрушения металла по дефектам данного уровня, связанной с процедурой его описания;

**доказано,** что критерии усталостного разрушения должны учитывать поэтапное развитие процесса, характеризуемого обязательным прохождением стадий образования дефектных субструктур, микротрещин, коротких и макротрещин; вероятностный подход в критериях конструктивной надежности позволяет учитывать статистику разрушений при эксплуатации аналогичных конструкций.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказано** поэтапное развитие микро-, мезо- и макроразрушения; разработанная в диссертации теория расширяет границы применения механики разрушения металлов с включением области развития процесса усталостного разрушения на микро- и мезоуровнях; в методе оценки сроков службы необходимо учитывать техногенные факторы;

**применительно к проблематике диссертации результативно** использованы основные физические закономерности развития структурного разрушения при периодическом нагружении; предложен аналитический подход, который позволил дать обобщение определяющих соотношений на случаи трехмерных пропорциональных нагружений;

**изложена** новая идея описания вероятности усталостного разрушения как поэтапного процесса на микро-, мезо- и макроуровнях, функционально зависящей от процесса нагружения;



**раскрыто** существование проблемы определения вероятности хрупкого разрушения для нагружений, представленных в виде ряда Фурье;

**изучены:** связь времени образования трещины конечной длины с процессом последовательного разрушения на микро-, мезо- и макроуровнях; зависимости проектных сроков службы конструкции от ее конструктивной схемы, эксплуатационного нагружения и воздействий окружающей среды с учетом требований по нормативам безопасной эксплуатации;

**проведена модернизация** критериев усталостного разрушения металлов с учетом экспериментально-теоретических результатов по физическому металловедению; метода оценки сроков службы протяженных конструкций.

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

**разработан** метод оценки сроков безопасной эксплуатации участков магистральных газо-, нефте- и продуктопроводов, основанный на предложенном критерии конструкционной надежности с учетом техногенного фактора и теории масштабного разрушения их конструктивных элементов, который включен в нормативные документы для проектных организаций ПАО «Газпром». Полученные научные и практические результаты внедрены в образовательный процесс, вошли в специальные курсы кафедры теории упругости механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова;

с помощью разработанного метода **определены** проектные сроки службы 19 магистральных газо- и нефтепроводов и подготовлены соответствующие заключения, что обеспечивает надежное использование результатов диссертационной работы в дальнейшем;

**создана** научно-методическая база по достижению требуемых экономических показателей конструктивных решений, установлению сроков плановой технической диагностики; система практических рекомендаций по оценке долговечности магистральных трубопроводов и аналогичных конструкций;

**представлены** предложения по дальнейшему развитию теории масштабного разрушения для нагружения, имеющего амплитудно-частотный

спектр; методические рекомендации по определению проектных сроков службы различных участков газопроводов.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**теория** основывается на анализе процессов и механизмов усталости, современных теориях усталостного разрушения и установлении взаимосвязей полученных результатов отечественных и зарубежных научных исследований;

**идея базируется:** на физических закономерностях хрупкого усталостного разрушения металлов и сплавов; на современных представлениях о связи физических и механических теорий усталостного разрушения; на том, что вероятность разрушения конструктивных элементов в процессе нагружения описывается распределением Пуассона, установленным по статистике эксплуатационного разрушения трубопроводов;

**установлено** хорошее соответствие полученных результатов теоретическим и экспериментальным результатам других авторов;

**использованы** современные методы обработки исходной информации, информационные и компьютерные методы сравнения аналитического и численного анализа полученных результатов.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

построении математической модели хрупкого масштабно-структурного разрушения, описывающей вероятность разрушения на каждом масштабно-структурном уровне развития процесса системой рекуррентных определяющих соотношений; анализе соответствия результатов расчетов опытным данным для представительного класса металлов и сплавов при различных пропорциональных процессах нагружения; в подготовке публикаций по выполненной работе.

Совокупность выполненных автором исследований и разработанных теоретических и практических положений можно квалифицировать как решение крупной научной проблемы, заключающейся в создании теории усталостного разрушения металлов и методов оценки долговечности и безопасной эксплуатации протяженных конструкций, имеющих важное практическое значение для трубопроводного транспорта. Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения



о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 26 сентября 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Завойчинской Элеоноре Борисовне ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 9 докторов физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 21, против 0, недействительных бюллетеней 1.

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.

26.09.18г.

