

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

**«Тверской государственный технический
университет» (ТвГТУ)**

Наб. А.Никитина, д.22, г.Тверь, 170026
Тел. (4822) 52-63-35, факс (4822) 52-62-92
E-mail: common@tstu.tver.ru
http://www.tstu.tver.ru
ОКПО 02068284, ОГРН 1026900533747,
ИНН/КПП 6902010135 / 695201001

№ 06.09.2018
98-11-1210 шх
На № _____ от _____

Утверждаю

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Тверской
государственный технический
университет», доктор философских
наук, профессор _____

Б.А. Евстифеева
2018г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Завойчинской Элеоноры Борисовны** по теме **«Усталостное масштабнo-структурное разрушение и долговечность конструкций при пропорциональных процессах нагружения»**, представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – *«Механика деформируемого твердого тела»*

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 07 09 2018

1. Актуальность диссертационной работы. Диссертационная работа посвящена актуальной проблеме теоретического анализа процесса хрупкого усталостного разрушения металлов и сплавов. Обзоры критериев усталостной прочности металлов, которые периодически публиковались в отечественных и зарубежных журналах в течение последних тридцати лет, показывают, что состояние проблемы практически не изменяется. В то же время результаты экспериментального изучения структурных изменений металлов под действием длительного периодического нагружения, развития микро-, мезо- и макротрещин, выполненные физическими методами, могут послужить разработке современных механических критериев. Наиболее перспективным является вероятностный подход как к разработке критериев, так и методов оценки долговечности конструкций при эксплуатационном нагружении.

Несмотря на значительное количество экспериментальных и теоретических работ, посвященных этой проблеме, большинство публикаций связано с исследованием одноосного нагружения или сдвига. В связи с этим данная работа, в которой разработана феноменологическая модель усталостного разрушения при сложном напряженном состоянии с учетом физических закономерностей развития процесса, является актуальной.

2. Оценка структуры и содержания диссертации. Диссертационная работа по объему и структуре соответствует требованиям ВАК РФ и состоит из введения, четырех глав, приложения, заключения, списка публикаций автора по теме диссертации и

библиографического списка, состоящего из 281 наименований, имеет 274 страницы основного текста, 71 рисунок и 18 таблиц.

Во **введении** формулируются научная проблема, объект и предмет исследования, цели исследования. Проводится краткий анализ работы по главам, обосновывается её актуальность, обсуждаются полученные научные результаты с анализом их новизны, достоверности, теоретической и практической значимости, перечисляются использованные экспериментально-теоретические методы и подходы. Приводится список нормативных документов, в которых использованы результаты диссертации, и разработанные на их основе Заключения о работоспособности и проектных сроках службы участков нефте- и газопроводов.

В **Главе 1** на основе результатов системных экспериментально-теоретических исследований развития хрупкого усталостного разрушения в металлах и сплавах дано обоснование требования при построении теории усталостного разрушения учитывать стадийность развития процесса на различных масштабно-структурных уровнях. В п. 1.4 приведена классификация современных научных направлений теоретических исследований усталостного разрушения: физических структурных, структурно-энергетических и стохастических теорий усталостного разрушения, континуальных теорий поврежденности материала, в т.ч. вероятностных феноменологических моделей усталостного разрушения, и определено место и актуальность предложенного в диссертации подхода, рассматривающего последовательный процесс развития усталостного разрушения функционально зависящим от процесса нагружения для всего временного диапазона от микро- до макроуровня,

В **Главе 2** на основе проведенного анализа появилась и реализована возможность сформулировать систему гипотез о последовательном развитии хрупкого усталостного разрушения металлов на шести масштабно-структурных уровнях в соответствии со стадиями эволюции структуры металла по разным физическим механизмам. Введены понятия: усредняющей функции, зависящей от размера и плотности дефектов каждого уровня, поврежденности как отношения усредняющей функции к ее предельному значению и вероятности разрушения как вероятности достижения этого предельного значения на каждом уровне. При трех базовых видах плоского напряженного состояния: симметричных одноосном нагружении, сдвиге и двухосном равномерном нагружении построена и обоснована система рекуррентных определяющих соотношений для вероятности разрушения на каждом уровне, в которых в качестве переменной выбирается амплитуда максимального главного напряжения, а материальные функции зависят от предельного значения усредняющей функции и определяются по экспериментальным данным по усталостной прочности с учетом результатов физических исследований по развитию дефектов данного уровня. Рассмотрены вопросы идентификации модели по экспериментальным данным, для представительного класса металлов и сплавов подтверждается схема расчета по предложенной модели.

Впервые построены теоретические кривые усталости по определенному уровню дефектности как результат последовательного зарождения, развития и слияния дефектов предыдущих уровней.

Достижением автора является то, что предложенный подход позволил его обобщить на случаи двух- и трехмерных процессов нагружения. В **Главе 3** представлено обобщение модели на трехмерные пропорциональные нагружения, в определяющих соотношениях в качестве переменной рассматривается амплитуда максимального главного напряжения и материальные функции зависят от материальных функций при симметричных одноосном и двухосном нагружениях и сдвиге и от отношения главных напряжений и асимметрии цикла в соответствии с известными современными критериями усталостной прочности металлов.

Особо следует отметить, что в диссертации впервые получены кривые усталости по определенному уровню дефектности, в т.ч. по образованию единичной макротрещины, для различных процессов трехмерного пропорционального нагружения, в частности, для двухосных нагружений и для одноосного нагружения с кручением.

В работе для ряда сталей приведены данные по сопоставлению полученных кривых усталости и известных в соответствии с современными подходами к оценке усталостной прочности.

Диссертационная работа охватывает широкий круг актуальных современных проблем, связанных с оценкой долговечности протяженных конструкций с учетом анализа образования и развития дефектов в их конструктивных элементах. В **Главе 4** в рамках решения этой проблемы предложены определяющие соотношения для вероятности разрушения протяженной конструкции, параметрами которых являются сроки службы ее конструктивных элементов, найденные с учетом результатов анализа вероятности разрушения металла по определенному уровню накопленных дефектов на основе предложенной модели. Сформулирован критерий конструктивной надежности.

В работе представлено обобщение известных подходов к анализу безопасности эксплуатации конструкций газо- и нефтепроводов. Проведена классификация негативных факторов поражения при разрушении элементов трубопроводов. Систематизированы известные экспериментальные данные и теоретические соотношения по определению промышленных, социальных и экологических рисков. Сформулирована система критериев конструктивной надежности протяженных конструкций с учетом техногенного фактора.

На основе предложенной системы критериев разработан метод оценки долговечности трубопроводов, вошедший в раздел «**Приложение**» диссертационной работы.

3. Научная новизна и теоретическая значимость работы.
Основной, новый, полученный лично автором, результат диссертационной работы заключается в разработке математической модели усталостного разрушения при сложном напряженном состоянии, описывающей развитие разрушения системой определяющих соотношений для вероятности разрушения на каждом уровне, функционально зависящей от процесса нагружения. Впервые получено комплексное решение

рассматриваемой в диссертации проблемы. Построены кривые усталости по дефектам шести уровней и по образованию единичной макротрещины для различных процессов пропорционального нагружения.

В работе разработан оценочный инструментарий в виде системы критериев конструктивной надежности потенциально опасных протяженных конструкций, позволяющий определять срок службы с учетом промышленных, социальных и экологических рисков при их разрушениях.

Впервые предложен и реализован метод оценки долговечности участков магистральных трубопроводов на основе сформулированной системы критериев конструктивной надежности и модели усталостного масштабного-структурного разрушения металлов.

4. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций. Достоверность основных положений диссертационной работы обоснована вследствие применения методов и подходов механики деформируемого твердого тела, верификацией разработанного подхода путем сопоставления расчетных и экспериментальных данных для большого класса металлов и сплавов, применяемых в промышленности. В основе представленных в диссертации результатов лежат физические представления о структуре и свойствах металлов и сплавов на микро-, мезо- и макроуровнях.

Расчетные проектные сроки службы участков трубопроводов подтверждаются результатами их эксплуатации.

5. Практическая значимость работы. Работа имеет ясно выраженную практическую направленность. Практическая ценность заключается в разработке эффективных расчетных моделей оценки долговечности протяженных конструкций, что вносит вклад в экономику соответствующих отраслей.

Следует отметить вклад автора в подготовку нормативных документов для проектных организаций ПАО «Газпром» и заключений о долговечности, сроках промежуточной технической диагностики и остаточных сроках службы с учетом конструкционных, промышленных, социальных и экологических рисков различных участков нефте- и газопроводов.

Полученные научные и практические результаты могут быть использованы в научной и педагогической работе в университетах и научно-исследовательских организациях, при подготовке специальных курсов для бакалавров, магистров и аспирантов по физико-механическим критериям прочности и разрушения и их приложениям к оценке долговечности конструкций.

6. Основные результаты работы, полученные лично автором.

В разделе «**Заключение**» формулируются основные результаты диссертации, подводятся итоги, дается практическая реализация результатов.

Наиболее существенными новыми результатами, принадлежащими лично автору диссертации, являются:

- феноменологическая модель усталостного масштабно-структурного разрушения металлов при сложном напряженном состоянии и пропорциональных нагружениях,
- критерий конструктивной надежности протяженных объектов с учетом техногенных факторов,
- метод оценки проектных сроков службы потенциально опасных протяженных конструкций.

7. По тексту диссертации имеются следующие вопросы, замечания и комментарии.

- 1) На с. 160 п.1 по контексту можно понять, что следует читать: «Выполнено математическое моделирование процессов» усталостного разрушения, а не «хрупкого усталостного разрушения», как написано в работе, т.к. окончание этой фразы «как сумма двух случайных процессов разрушения». По-видимому, имеется в виду, хрупкого и вязкого разрушений, что написано в п.2 «... - усталостное разрушение металлов определяется независимыми процессами хрупкого и вязкого разрушений как суммы двух случайных процессов».
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) В Приложении не представлены сопоставления возможностей предложенного метода с другими методами для оценки аналогичных конструкций.

7. Заключение по диссертационной работе.

Диссертационная работа «Усталостное масштабно-структурное разрушение и долговечность конструкций при пропорциональных процессах нагружения» посвящена построению теоретических закономерностей хрупкого усталостного разрушения металлов и сплавов на основе понятий и постулатов механики деформируемого твердого тела, учитывающих закономерности разрушения, установленные физическими методами исследования, а также методов оценки ресурса конструкций в условиях сложного напряженно-деформированного состояния и пропорционального нагружения конструктивных элементов с учетом техногенного фактора. Работа представляет собой законченное научное исследование по актуальной для теории и практики проблеме построения критериев усталостного разрушения и методов оценки долговечности и безопасной эксплуатации протяженных потенциально опасных конструкций, которое можно квалифицировать как научное достижение в области механики деформируемого твердого тела.

Основные выводы и результаты опубликованы в печати (94 работы), в журналах, рекомендованных ВАК РФ (42 работы), доложены на

конференциях, симпозиумах и семинарах (более 30 докладов). Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа отвечает требованиям п. 9, 10 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Завойчинская Э.Б., заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Результаты диссертации были доложены соискателем на Научно-исследовательском семинаре по механике деформируемого твердого тела в «Тверском государственном техническом университете» под руководством проф. В.Г. Зубчанинова. Настоящий отзыв рассмотрен и одобрен 06 сентября 2018 г. (протокол № 3) на заседании кафедры «Сопроотивление материалов, теории упругости и пластичности».

Заслуженный деятель науки и техники РФ, Член национального комитета по теоретической и прикладной механике РАН,
профессор кафедры «Сопроотивления материалов, теории упругости и пластичности», д.т.н, профессор

Зубчанинов В.Г.

Профессор кафедры «Конструкции и сооружения»,
д.т.н.

Гуляев В.И.

Подписи проф. В.Г. Зубчанинова и проф. В.И. Гуляева заверяю.

