

ОТЗЫВ

официального оппонента **Морозова Евгения Михайловича** на диссертацию Завойчинской Элеоноры Борисовны «Усталостное масштабное-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 твёрдого тела"

Актуальность темы диссертации. Разработка научной проблемы усталостного масштабного-структурного разрушения, создания критериев усталостного разрушения и методов оценки долговечности и безопасной эксплуатации протяжённых потенциально-опасных конструкций важная и актуальная задача механики деформируемого твёрдого тела. Актуальность проблемы состоит в том, что впервые построенная в диссертационной работе математическая модель усталостного разрушения учитывает основные физические закономерности развития поэтапного масштабного-структурного разрушения. Предлагаемая в работе система критериев безопасной эксплуатации и математическая модель служат теоретической основой метода оценки проектных сроков безопасной эксплуатации магистральных трубопроводов, актуальность которой следует из практической востребованности при развитии нефтегазовой отрасли.

Достоверность и новизна основных выводов диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, приложения, заключения с общими выводами, списка литературы и списка публикаций автора по теме диссертации. По результатам диссертационной работы сделано три общих вывода. Каждая глава содержит выводы по главе.

Во **введении** изложена цель исследования, отмечена научная новизна, теоретическая и практическая ценность работы.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 22 08 2018

В первой главе подробно проанализированы результаты экспериментально-теоретических исследований развития хрупкого усталостного разрушения на микро-, мезо- и макроскопическом масштабно-структурных уровнях в металлах и сплавах, выполненные металлофизиками и металловедами. Рассмотрена стадийность развития процесса хрупкого усталостного разрушения металлов, которая характеризуется последовательным прохождением стадий эволюции микро- и макродефектов. Это позволило при разработке модели ввести систему из шести масштабно-структурных уровней, учитывающих различные механизмы усталостного разрушения.

Вторая глава посвящена математическому моделированию процессов хрупкого усталостного разрушения металлов и сплавов на разных масштабно-структурных уровнях при одноосном нагружении, сдвиге и двухосном равномерном нагружении с симметричным и несимметричным циклами напряжений. Сформулирована система гипотез. Введены понятия усредняющей функции, отражающей процесс разрушения, и понятие вероятности разрушения, связанной с пошаговой процедурой его описания. Впервые предложена система рекуррентных определяющих соотношений (2.8) – (2.20) для определения вероятности разрушения на шести масштабно-структурных уровнях и для построения кривых усталости по соответствующим уровням дефектности (рис. 2.9 – 2.31).

Проведённое сопоставление расчётных и экспериментальных данных для представительного ряда металлов и сплавов обеспечивает достоверность модели. Систематизированы фотографии микроструктур, сделанные в процессе нагружения.

Третья глава содержит впервые предложенную модель хрупкого усталостного разрушения металлов при сложном напряженном состоянии и пропорциональном нагружении. Обобщение модели второй главы выполнено в предположении, что в качестве переменной выбирается амплитуда максимального главного напряжения, а материальные функции задаются на основе соотношений современных теорий усталостной прочности материалов, имеющих экспериментальное подтверждение. На рис. 3.1 -- 3.7 представлены области развития дефектов определённого

масштабного уровня в зависимости от отношения амплитуд главных напряжений для разных материалов при плоских напряженных состояниях (одноосном нагружении с кручением и двухосном нагружении с различными отношениями амплитуд). Достоверность модели подтверждена сравнением расчётных кривых с известными критериями усталостной прочности.

В **четвертой главе** впервые предлагается система критериев безопасной эксплуатации участка трубопровода с учетом антропогенного фактора. Критерии безопасной эксплуатации сформулированы в виде неравенств, в которых конструкционный риск не превышает заданного значения, умноженного на коэффициент, определяемый по расчётным промышленным, социальным и экологическим рискам, известных из литературы в зависимости от внешних негативных воздействий. Вероятность разрушения участка трубопровода определяется суммой независимых случайных разрушений его конструкционных элементов. Срок службы конструкционных элементов находится с учетом результатов анализа вероятности разрушения металла по определенному уровню накопленных дефектов на основе предложенной в диссертации математической модели.

В **Приложении** изложен новый метод оценки сроков безопасной эксплуатации участков магистральных трубопроводов, конструкционные элементы которых подвержены действию случайного внутреннего давления и температуры, меняющихся по длине участка и коррозионной активности окружающей среды. В основе метода лежит система критериев безопасной эксплуатации участков, теория предельных процессов нагружения и предложенная модель определения вероятности разрушения конструкционных элементов. Приведены результаты расчётов проектных сроков службы и остаточной долговечности линейного участка подземного магистрального газопровода. Достоверность прогноза периодической диагностики и проектных сроков эксплуатации, рассмотренных девятнадцати различных участков магистральных трубопроводов, подтверждается результатами безаварийной эксплуатации этих участков от сдачи в эксплуатацию и до настоящего времени.

Сделанные по диссертации общие выводы сомнений не вызывают.

Ценность для науки и практики. Представленные в диссертации результаты имеют научную новизну и получены лично автором, а именно:

- сформулирована система гипотез о физических закономерностях развития стадийного процесса усталостного разрушения;
- предложена модель хрупкого усталостного разрушения при сложном напряжённо-деформированном состоянии, согласно которой вероятность разрушения на микро-, мезо- и макроструктурных уровнях описывается системой соотношений, функционально учитывающих процесс нагружения;
- предложена система критериев безопасной эксплуатации протяжённых конструкций с учётом антропогенного фактора и конструкционного риска и разработан метод оценки безопасной эксплуатации их участков.

Практическая значимость работы характеризуется успешным использованием разработанного метода оценки проектных сроков эксплуатации протяжённых объектов, в реальных проектах. Предложенная модель масштабного структурного разрушения использована в методе оценки долговечности протяженных конструкций и вошла в два нормативных документа для проектных организаций ПАО «Газпром». Подготовлены Заключение о сроках службы и остаточной долговечности различных конструкций магистральных трубопроводов и нормативные документы для проектных организаций ПАО «Газпром».

Теоретические и практические результаты диссертации позволили разработать специальный курс для студентов и аспирантов университетов «Физико-механические критерии прочности и разрушения и их приложения к оценке долговечности конструкций».

Оценка содержания диссертации. Диссертация написана очень чётко, ясно, с подробным изложением всех сопутствующих соображений. По тексту диссертации можно сделать следующие замечания.

1. В понятии «вероятность разрушения...» на стр. 86 допущена неточность. Следовало написать: «...достигает предельного состояния в определенный момент времени» и ввести обозначение этого момента времени. Эта неточность встречается в тексте и в дальнейшем.

2. В зоне ограниченной усталости ряда сталей вполне возможна неупругая деформация, тормозящая развитие трещин. Это обстоятельство можно учесть введением ещё одной базовой точки вида $\varepsilon_5 = \varepsilon_5(N_5)$.

3. В автореферате и диссертации указан диапазон циклов $5 \cdot 10^6 - 10^{10}$ для применения предлагаемого метода. Однако 10^{10} это уже гигацикловая усталость со своими особенностями, что может ограничить предлагаемую методику.

4. В тексте диссертации в ряде случаев использовано словосочетание «конструктивная надёжность». Однако конструктивным может быть предложение для решения какой-либо проблемы, а при определении надёжности конструкций следует говорить о конструкционной надёжности.

Сделанные замечания не отражаются, однако, на общем положительном заключении по диссертации.

Основные результаты диссертации опубликованы в 94 работах, 42 из которых – в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК, и апробированы при обсуждении на представительных конференциях и семинарах (более 30 докладов).

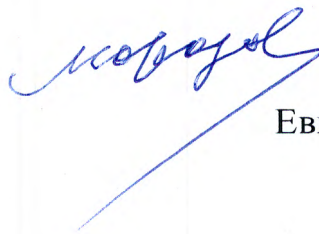
Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Заключение. Представленная диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу в области механики деформируемого твёрдого тела, посвящённую решению научной проблемы, имеющей важное научно-техническое и хозяйственное значение, внедрение которой вносит значительный вклад в развитие страны. А именно, создана теория законов деформирования, повреждения и разрушения материалов с выявлением новых связей между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения, что позволило на этой основе разработать метод расчёта усталостной долговечности элементов конструкций, с учётом строения металлических материалов.

Таким образом, диссертация Э.Б. Завойчинской выполнена на высоком научном уровне, удовлетворяет требованиям п. 9 и 23 положения ВАК (Постановление Правительства РФ от 21.04.2016 N 335), а автор диссертации

Элеонора Борисовна Завойчинская заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент,
Профессор кафедры физики прочности
Национального исследовательского ядерного университета МИФИ,
Почётный профессор НИЯУ МИФИ,
доктор технических наук,
Заслуженный деятель науки РФ,



Морозов
Евгений Михайлович

115409, г. Москва, Каширское ш., 31, НИЯУ МИФИ

+7(499) 324-87-66

evgeny.morozof@gmail.com

8 906 7932196

