

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Дальневосточный федеральный университет

**Г.А. Лаврушин, Е.Г. Лаврушина**

**Прогнозирование ресурса машин  
и конструкций**

Монография

Владивосток  
Издательский дом Дальневосточного федерального университета  
2012

# Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Краткие сведения о явлениях разрушения конструкционных материалов.....	5
1.1. Понятие ресурса.....	5
1.2. Прогнозирование ресурса и механика разрушения.....	6
1.3. Разрушение в процессе пластического деформирования и малоцикловая усталость.....	7
1.4. Многоцикловая усталость конструкционных материалов. . .	16
1.5. Изменение физических свойств малоуглеродистой стали в процессе циклического нагружения.....	20
Глава 2. Работоспособность конструкций из чугуна в условиях переменного нагружения.....	24
2.1. Особенности развития разрушения при статическом и переменном нагружении.....	24
2.2. Усталостная прочность серого чугуна.....	29
2.3. Сопоставительный анализ результатов расчетов по известным критериям усталостного разрушения.....	35
2.4. Возможная форма условия разрушения.....	40
2.5. Применение предлагаемой формы разрушения для оценки циклической прочности титановых сплавов в морской воде. . . .	45
Глава 3. Работоспособность сооружений из конструкционных сталей в условиях переменного нагружения.....	51
3.1. Анализ усталостных повреждений элементов конструкций.	
3.2. О некоторых закономерностях усталостного разрушения металлов.....	11
3.3. Критерии усталостной прочности для многоциклового нагружения.....	Щ
Глава 4. Влияние коэффициента асимметрии цикла изменения напряжения на усталостную прочность стали.....	1
4.1. Исследование влияния коэффициента асимметрии цикла нагружения на усталостную прочность сталей 45, 40Х и СтЗсп.....	гі
4.2. Статистическая обработка результатов исследования сопротивления материалов усталости.....	
4.3. Оценка поврежденное <sup>TM</sup> и критерии прочности. . . . .	Ні

Глава 5. Прогнозирование циклической прочности элементов металлоконструкций перегрузочных комплексов.....	95
5.1. Прогнозирование ресурса элементов металлоконструкций стакера.....	95
5.2. Прогнозирование остаточного ресурса элементов металлоконструкций реклаймера.....	106
5.2.1. Предельное сопротивление болтового соединения фланца роторного колеса.....	106
5.2.2. Прогнозирование ресурса растяжек и соединительной штанги реклаймера.....	109
Глава 6. Термодинамический метод оценки усталостной прочности материала.....	124
6.1. Содержание экспериментального исследования.....	124
6.2. Фазометрический метод исследования необратимых затрат энергии.....	128
6.3. Исследование теплового эффекта циклических деформаций.....	130
6.4. Методика исследований закономерностей изменения внутренней энергии в деформируемых объемах.....	133
6.5. Исследование энергетического баланса при циклическом деформировании.....	135
6.6. Анализ необратимых затрат энергии после различной термообработки испытуемых образцов.....	140
6.7. Влияние термообработки на термодинамические характеристики сталей.....	151
6.8. Статистическая обработка результатов испытаний образцов на усталость.....	157
6.9. Исследование необратимых затрат энергии при плоском напряженном состоянии.....	167
Глава 7. Теория накопления повреждений.....	176
7.1. Модели поврежденное <sup>TM</sup> , скалярная функция поврежденное <sup>TM</sup> .....	176
7.2. Методика оценки поврежденное <sup>TM</sup> .....	180
7.3. Сопоставительный анализ оценки параметров, входящих в уравнения поврежденное <sup>TM</sup> .....	183
Библиографический список.....	188

УДК 621.01:539.4  
ББК 34.4  
Л13

*Рецензенты:*

В.В. Пикуль, зав. лабораторией проблем прочности глубоководной техники Института проблем морских технологий ДВО РАН,  
д-р физ.-мат. наук, профессор;  
Е.М. Беловицкий, д-р техн. наук, профессор ДВФУ

**Лаврушин, Г.А.**

Л13 Прогнозирование ресурса машин и конструкций : монография /  
Г.А. Лаврушин, Е.Г. Лаврушина. - Владивосток : Издательский дом  
Дальневост. федерал. ун-та, 2012. - 192 с.

ISBN 978-5-7444-2578-4

В монографии освещается современное состояние проблемы прочности и деформируемости конструкционных материалов в аспекте ее приложения к инженерной практике. На основе моделей накопления повреждений к явлениям длительного разрушения излагаются методы расчета на много- и малоцикловую усталость, возникающую в условиях как одноосного, так и сложного напряженного состояния при стационарном и нестационарном нагружении. Отмечаются особенности расчетных зависимостей для различных конструкционных материалов. Обсуждена проблема прогнозирования ресурса и срока службы на основании информации о материалах, нагрузках и воздействиях.

Предназначена для научных работников, инженеров-расчетчиков, технологов, занимающихся исследованиями длительной прочности и механической обработки материалов и конструкций в различных областях машиностроения, а также может быть полезна аспирантам, магистрам и студентам старших курсов технических вузов.

УДК 621.01:539.4  
ББК 34.4

© Лаврушин Г.А.,  
Лаврушина Е.Г., 2012  
© Издательский дом  
Дальневосточного  
федерального университета.  
оформление, 2012

ISBN 978-5-7444-2578-4

-----

В последнее время много внимания уделяется физике разрушения. На основе проведенных исследований возникло глубокое знание, понимание различных механизмов, ведущих к разрушению в нагруженных телах. Исчерпывающее изложение этих результатов в известном семитомнике «Разрушения» под редакцией Г. Либовица (1973-1978) [27].

Главное внимание в этих исследованиях концентрировалось на ионных физических явлениях в материале, из представлений о необратимом характере повреждения структуры и образования ее дефектов (несплошности или пустоты), а также дислокации. Однако физические теории прочности и разрушения не нашли широкого применения. Феноменологический анализ, будучи плодотворным на макроскопическом уровне, не смог удовлетворить требованиям конструкторов - предохранять от разрушения элементы конструкций в условиях эксплуатации.

Существующие феноменологические теории разрушения и критерии прочности построены на принципах механики сплошной среды. Физическим оправданием этого подхода является принятие концепции «рассеянных» повреждений, отражающей наличие так называемого инкубационного периода процесса разрушения. В этот период, как установлено, происходит зарождение и накопление субмикротрещин, микротрещин и других микродефектов. Он занимает определенную часть периода «жизни» и не отражается на микроскопической сплошности материала. Следующей за «инкубационным» периодом является стадия спонтанного накопления повреждений, приводящего к их слиянию и образованию магистральных трещин. Рост магистральных трещин приводит к разрушению тела на части.

Научное издание

**Лаврушин** Геннадий Алексеевич  
**Лаврушина** Елена Геннадьевна

## **Прогнозирование ресурса машин и конструкций**

Монография

Редактор *Л.М. Смирнова*  
Технический редактор *А.А. Лядичева*  
Компьютерная верстка *О.В. Мурачковская*  
Дизайн обложки *С.В. Филатов*

Подписано в печать 17.10.2011.  
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 11,39. Уч.- изд. л. 10,46.  
Тираж 500 экз. Заказ 81.

Издательский дом Дальневосточного федерального университета  
690950, г. Владивосток, ул. Октябрьская, 27  
Отпечатано в типографии  
Издательского дома Дальневосточного федерального университета  
690950, г. Владивосток, ул. Пушкинская, 10