

И. Г. Емельянов, В. И. Миронов



**ДОЛГОВЕЧНОСТЬ  
ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**



УДК 539.3  
ББК 30.121  
Е 63

Ответственный редактор  
доктор технических наук профессор **В.В. Чупин**

Рецензенты  
доктор физико-математических наук профессор **Е.А. Митюшов**  
доктор технических наук профессор **А.А. Поляков**

Е 63 Емельянов И.Г., Миронов В.И.  
**Долговечность оболочечных конструкций.** Екатеринбург: РИО  
УрО РАН, 2012.  
ISBN 978-5-7691-2322-1

Рассмотрены взаимосвязанные проблемы оценки напряженного состояния и долговечности элементов оболочечных конструкций. Приведены основные понятия и соотношения теории тонких оболочек. Изложены методы расчета напряженного состояния тонкостенных конструкций из оболочек вращения переменной толщины, нагруженных статическими нагрузками произвольного вида. Предложен альтернативный способ оценки усталостного ресурса нерегулярно нагруженных несущих элементов конструкций. Рассмотрены теоретические и экспериментальные основы метода полных диаграмм, позволяющего уточнить ресурс элементов конструкций. При определении долговечности оболочечных конструкций основное внимание уделено влиянию циклической деградации свойств материала на усталостный ресурс конструкции.

В рамках единого подхода рассмотрены задачи определения напряженно-деформированного состояния и долговечности элементов оболочечных конструкций, находящихся под разными силовыми и тепловыми воздействиями, работающих в агрессивных средах и изготовленных из метастабильных материалов. На основе предложенных подходов дана уточненная оценка долговечности ряда машиностроительных конструкций.

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников, занимающихся вопросами расчета и проектирования оболочечных конструкций, а также может быть полезна преподавателям, аспирантам и студентам вузов.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	3
<b>Глава 1. СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ</b> .....	6
1.1. Механическое разрушение и прогнозирование работоспособности конструкций .....	6
1.2. Эксплуатационные воздействия и причины отказов элементов конструкций .....	12
1.3. Построение методик оценки усталостного ресурса .....	13
1.4. Основные понятия и характеристики сопротивления усталости .	17
1.5. Расчет на сопротивление усталости .....	26
<b>Глава 2. ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ТЕОРИИ ТОНКИХ ОБОЛОЧЕК</b> .....	35
2.1. Исходные предположения и основные уравнения теории оболочек .....	35
2.2. Основные уравнения общей линейной классической теории оболочек .....	41
<b>Глава 3. УРАВНЕНИЯ ИЗОТРОПНЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ</b> .....	52
3.1. Вывод уравнений для оболочек вращения с произвольной образующей координатной поверхности .....	52
3.2. Сведение двумерной задачи теории оболочек к одномерной ...	57
3.3. Разрешающие уравнения для оболочек вращения при несимметричной деформации .....	74
<b>Глава 4. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ОБОЛОЧЕК И ПЛАСТИН</b> .....	81
4.1. Численные методы решения задач для оболочечных конструкций	81
4.2. Решение линейной краевой задачи методом дискретной ортогонализации .....	87
<b>Глава 5. МОДЕЛИ ОБОЛОЧЕК И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ</b> .....	92
5.1. Уточненные модели оболочек для анизотропных материалов ..	92
5.2. Упругопластические оболочки .....	97
5.3. Контактные задачи оболочечных конструкций .....	107

<b>Глава 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ПОЛНЫХ ДИАГРАММ</b> .....	114
6.1. Моделирование стадии разупрочнения материала .....	114
6.2. Экспериментальное обоснование связи между статическими и циклическими свойствами конструкционных материалов .....	120
<b>Глава 7. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ ПОЛНЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ</b> .....	134
7.1. Задача расчета ресурса тонкостенных оболочек .....	134
7.2. Проблемы и перспективы создания объединительной методики расчета долговечности и живучести элементов конструкций ...	142
<b>Глава 8. ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ</b> .....	155
8.1. Оценка напряженно-деформированного состояния котла вагона-цистерны .....	155
8.2. Оценка усталостного ресурса котла вагона-цистерны на основе линейной гипотезы суммирования .....	172
8.3. Оценка усталостного ресурса котла вагона-цистерны на основе модели циклической деградации свойств материала и нелинейного суммирования усталостных повреждений .....	175
<b>Глава 9. НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕГРАДАЦИИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ</b> .....	180
9.1. Оболочки в агрессивной водосодержащей среде .....	180
9.2. Оболочки из метастабильных материалов .....	186
9.3. Пластины при переменном термомеханическом нагружении ...	193
<b>Глава 10. ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ОБЕЧАЙКИ БАРАБАНА ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ</b> ..	200
10.1. Особенности задачи определения долговечности шахтной подъемной установки .....	200
10.2. Напряженное состояние обечайки .....	203
10.3. Циклические нагрузки, действующие на обечайку .....	204
10.4. Долговечность обечайки барабана .....	206
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	209