



**НЕЛИНЕЙНАЯ МЕХАНИКА  
ДЕФОРМИРУЕМОГО  
ТВЕРДОГО ТЕЛА**

**А. А. Золочевский**

**А. Н. Склепус**

**С. Н. Склепус**

А. А. Золочевский, А. Н. Склепус, С. Н. Склепус

**НЕЛИНЕЙНАЯ  
МЕХАНИКА  
ДЕФОРМИРУЕМОГО  
ТВЕРДОГО ТЕЛА**

ХАРЬКОВ

2011

УДК 539.3  
ББК 22.251-1-30.121Я73  
381

А. А. Золочевский, А. Н. Склепус, С. Н. Склепус.  
3 81 Нелинейная механика деформируемого твердого тела. - X. : 2011

ISBN 978-966-2262-25-4

Монография представляет собой объединение элементов теории нелинейной упругости, теории пластичности, теории ползучести и теории повреждаемости вследствие ползучести. При изложении материала акцент делается на учет и адекватное описание зависимости деформационных характеристик изотропных и анизотропных тел от вида нагружения, а также на численно-аналитические методы решения начально-краевых задач. Приведено большое число тестовых примеров, результатов экспериментов, задач и компьютерных алгоритмов.

Для инженерно-технических и научных работников, а также студентов университетов.

Монографія являє собою об'єднання елементів теорії нелінійної пружності, теорії пластичності, теорії повзучості та теорії пошкоджуваності внаслідок повзучості. Під час викладення матеріалу акцент робиться на урахування та адекватний опис залежності деформаційних характеристик ізотропних та анізотропних тіл від виду навантаження, а також на чисельно-аналітичні методи розв'язання початково-крайових задач. Наведено велику кількість тестових прикладів, результатів експериментів, задач та комп'ютерних алгоритмів.

Для інженерно-технічних та наукових працівників, а також студентів університетів.

УДК 539.3  
ББК 22.251+30.121Я73

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
<b>ЧАСТЬ 1. Механика изотропных и анизотропных тел с деформационными характеристиками, зависящими от вида нагружения.....</b>	<b>5</b>
<b>Введение.....</b>	<b>6</b>
<b>Глава 1. Состояние проблемы и основные цели первой части монографии. . . . .</b>	<b>14</b>
1.1. Зависимость деформационных характеристик от вида нагружения.....	14
1.2. Анализ определяющих уравнений нелинейного деформирования изотропных сред.....	42
1.3. Анализ физических зависимостей для анизотропных сред.....	61
1.4. Решение краевых задач для тел с характеристиками, зависящими от вида нагружения.....	65
1.5. Основные цели и задачи первой части монографии.....	67
<b>Глава 2. Определяющие уравнения для изотропных сред с характеристиками, зависящими от вида нагружения. . . . .</b>	<b>71</b>
2.1. Обсуждение роли инвариантов напряжений в определяющих уравнениях на основе экспериментов при сложном напряженном состоянии.....	72
2.2. Построение определяющих уравнений.....	75
2.3. Конкретизация определяющих уравнений.....	84
2.4. Сравнение теоретических и экспериментальных результатов... ..	92
2.5. Выводы по второй главе.....	118
<b>Глава 3. Определяющие уравнения для анизотропных сред, характеристики которых зависят от вида нагружения. . . . .</b>	<b>121</b>
3.1. Вывод определяющих уравнений.....	121
3.2. Конкретизация определяющих зависимостей.....	135
3.3. Сопоставление расчетных и экспериментальных результатов... ..	142
3.4. Выводы по третьей главе.....	153
<b>Глава 4. Нелинейное деформирование осесимметрично нагруженных тонких оболочек.....</b>	<b>155</b>
4.1. Постановка и методика решения одномерных краевых задач для тонких оболочек.....	156
4.2. Нелинейно-упругое деформирование оболочек.....	162
4.3. Уругопластическое деформирование оболочек.....	189
4.4. Нелинейно-упругое деформирование оболочек с учетом усадки.....	197
4.5. Ползучесть оболочек.....	201
4.6. Нелинейное деформирование составных оболочечных конструкций.....	212
4.7. Выводы по четвертой главе.....	219
<b>Глава 5. Нелинейные задачи теории тонких оболочек при неосесимметричном нагружении.....</b>	<b>221</b>
5.1. Постановка и методика решения двумерных краевых задач... ..	222

5.2. Нелинейно-упругое деформирование неосесимметрично нагруженных оболочек.....	228
5.3. Ползучесть неосесимметрично нагруженных оболочек.....	237
5.4. Выводы по пятой главе.....	241
<b>Глава 6. Нелинейное деформирование прямоугольных в плане пространственных тел.....</b>	<b>242</b>
6.1. Постановка и методика решения трехмерных краевых задач ...	242
6.2. Нелинейно-упругое деформирование прямоугольных в плане тел.....	249
6.3. Ползучесть прямоугольных в плане тел.....	268
6.4. Выводы по шестой главе.....	270
<b>Глава 7. Нелинейное деформирование толстостенных цилиндров.....</b>	<b>272</b>
7.1. Постановка и методика решения двумерных краевых задач...	273
7.2. Упругопластическое деформирование цилиндрических тел...	278
7.3. Ползучесть толстостенных цилиндров.....	280
7.4. Выводы по седьмой главе.....	282
<b>Заключение.....</b>	<b>284</b>
<b>Литература.....</b>	<b>287</b>
<b>ЧАСТЬ 2. Ползучесть пластинчатых элементов конструкций сложной формы.....</b>	<b>333</b>
<b>Введение.....</b>	<b>334</b>
<b>Глава 1. Модели ползучести материалов, общая постановка и методы решения задач ползучести пластин.....</b>	<b>337</b>
1.1. Модели ползучести, повреждаемости и разрушения.....	337
1.2. Основные соотношения.....	339
1.3. Определяющие уравнения ползучести.....	340
1.4. Методы исследования ползучести пластин.....	345
1.5. Краевая задача и структура ее решения.....	348
1.6. Выводы по первой главе.....	351
<b>Глава 2. Разработка структурного метода для решения задач ползучести пластин.....</b>	<b>352</b>
2.1. Вариационная постановка задачи ползучести на основе функционала Сандерса, Мак-Комба и Шлехте.....	352
2.2. Вариационная постановка задачи ползучести на основе функционала в форме Лагранжа.....	356
2.3. "Метод решения начально-краевых задач ползучести пластин...	361
2.4. Развитие конструктивных средств теории R-функций для решения задач ползучести пластин.....	366
2.5. Выводы по второй главе.....	374
<b>Глава 3. Исследование ползучести пластин сложной формы.....</b>	<b>375</b>
3.1. Алгоритм расчета и краткая характеристика программного комплекса.....	375
3.2. Решение тестовых задач и анализ достоверности результатов....	378
3.3. Ползучесть пластин сложной формы, нагруженных силами в плоскости.....	389

3.4. Изгиб пластин сложной формы при ползучести.....	395
3.5. Решение задач изгиба пластин со смешанными условиями закрепления.....	404
3.6. Расчеты на ползучесть плоских днищ и трубных досок высокотемпературных установок.....	411
3.7. Выводы по третьей главе.....	422
<i>Заключение.....</i>	<i>424</i>
<i>Литература.....</i>	<i>426</i>
<b>ЧАСТЬ 3. Ползучесть и повреждаемость тел сложной формы из материалов с характеристиками, зависящими от вида нагружения.....</b>	<b>433</b>
<i>Введение.....</i>	<i>434</i>
<i>Глава 1. Анализ современного состояния теории определяющих соотношений для повреждающихся сред и методов решения начально-краевых задач ползучести.....</i>	<i>436</i>
1.1. Механика континуальной поврежденности. Классификация основных видов повреждаемости.....	437
1.2. Ползучесть и повреждаемость вследствие ползучести в базовых экспериментах.....	442
1.3. Ползучесть и повреждаемость вследствие ползучести при сложном напряженном состоянии.....	459
1.4. Обзор методов решения начально-краевых задач ползучести и повреждаемости.....	472
1.5. Выводы по первой главе.....	480
<i>Глава 2. Построение и обоснование определяющих соотношений теории ползучести для повреждающихся материалов с характеристиками, зависящими от вида нагружения.....</i>	<i>481</i>
2.1. Термодинамические основы моделирования процессов деформирования твердых тел. Потенциал ползучести.....	482
2.2. Построение определяющих уравнений ползучести для повреждающихся материалов с характеристиками, зависящими от вида нагружения.....	488
2.3. Базовые эксперименты.....	495
2.4. Частные случаи определяющих соотношений.....	497
2.5. Первая стадия ползучести.....	499
2.6. Вторая стадия ползучести.....	506
2.7. Третья стадия ползучести.....	511
2.8. Выводы по второй главе.....	527
<i>Глава 3. Разработка методики решения начально-краевых задач ползучести для тел произвольной формы из повреждающихся материалов с характеристиками, зависящими от вида нагружения.....</i>	<i>528</i>
3.1. Вариационные принципы теории ползучести. Основные уравнения.....	528
3.2. Постановка начально-краевых задач ползучести.....	540
3.3. Разработка метода решения начально-краевых задач ползучести на базе методов R-функций и Рунге-Кутта-Мерсона ...	542

3.4.	Структуры решения для трехмерных задач ползучести.....	552
3.5.	Выводы по третьей главе.....	557
<b>Глава 4.</b>	<b><i>Плоские и осесимметричные задачи ползучести и повреждаемости вследствие ползучести.....</i></b>	<b>558</b>
4.1.	Основные соотношения обобщенного плоского напряженного состояния.....	559
4.2.	Основные соотношения плоского деформированного состояния.....	560
4.3.	Вариационная формулировка плоской задачи теории ползучести. Уравнения равновесия. Граничные условия.....	562
4.4.	Задача Коши по времени для плоской задачи ползучести.....	564
4.5.	Структуры решения для плоских задач теории ползучести...	565
4.6.	Основные соотношения осесимметричной задачи ползучести...	568
4.7.	Вариационная постановка осесимметричной задачи ползучести. Граничные условия. Задача Коши по времени ....	569
4.8.	Структуры решения для осесимметричных задач ползучести ..	571
4.9.	Решение тестовых задач.....	574
4.10.	Ползучесть пластин сложной формы из повреждающихся материалов с характеристиками, зависящими от вида нагружения.....	588
4.11.	Ползучесть и повреждаемость осесимметрично нагруженного тела вращения сложной формы.....	606
4.12.	Выводы по четвертой главе.....	611
<b>Глава 5.</b>	<b><i>Ползучесть и повреждаемость пологих оболочек и пластин сложной формы.....</i></b>	<b>613</b>
5.1.	Вариационная формулировка задач ползучести и повреждаемости пологих оболочек и пластин.....	614
5.2.	Структуры решения для основных видов граничных условий. Задача Коши по времени.....	617
5.3.	Численные исследования ползучести и повреждаемости пологих оболочек и пластин сложной формы.....	619
5.5.	Выводы по пятой главе.....	638
<b>Глава 6.</b>	<b><i>Ползучесть и повреждаемость гибких пологих оболочек и пластин сложной формы.....</i></b>	<b>639</b>
6.1.	Математическая постановка задач ползучести и повреждаемости гибких пологих оболочек и пластин.....	639
6.2.	Численные исследования влияния вида нагружения на ползучесть и повреждаемость гибких пологих оболочек и пластин.....	643
6.3.	Выводы по шестой главе.....	660
<b>Глава 7.</b>	<b><i>Задачи ползучести и повреждаемости пологих оболочек средней толщины.....</i></b>	<b>661</b>
7.1.	Вариационная постановка задач ползучести пологих оболочек средней толщины.....	661
7.2.	Структуры решения для основных типов граничных условий. Задача Коши по времени.....	667

7.3. Численные исследования ползучести и повреждаемости пологих оболочек и пластин средней толщины.....	669
7.4. Численные исследования ползучести и повреждаемости пластин средней толщины из материала с характеристиками, зависящими от вида нагружения.....	678
7.5. Выводы по седьмой главе.....	685
<i>Заключение</i> .....	686
<i>Литература</i> .....	688
<b>Оглавление</b> .....	<b>715</b>