

Оглавление

Введение	3
1 ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СООТНОШЕНИЯ, ЭФФЕКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВАРИАЦИОННЫЕ ПРИНЦИПЫ ДЛЯ МИКРОНЕОДНОРОДНЫХ ТЕРМОРЕОЛОГИЧЕСКИ ПРОСТЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ	8
1.1 Различные представления определяющих соотношений термореологически простых композитов	8
1.2 Эффективные термоупругие параметры двухкомпонентных микронеоднородных материалов	12
1.3 Эффективные термоупругие параметры слоистых микронеоднородных материалов	19
1.4 Приведенные ядра релаксации двухкомпонентных микронеоднородных материалов	23
1.5 Расчет эффективных вязкоупругих характеристик микронеоднородных слоистых композитов с использованием квадратурной формулы Ньютона	30

- 1.6 Применение нелинейной аппроксимации для построения эффективных функций определяющих соотношений термовязкоупругих композитов 38
- 1.7 Вариационные принципы для микронеоднородной терморееологически простой среды 58

УРАВНЕНИЯ ТЕРМОВЯЗКОУПРУГОСТИ В МЕХАНИКЕ ТОНКОСТЕННЫХ СЛОИСТЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ТЕРМОРЕОЛОГИЧЕСКИ ПРОСТЫМИ СТРУКТУРНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ 61

- 2.1 Кинематические зависимости и приведенные силовые характеристики в линейной теории оболочек 62
- 2.2 Уравнения термоупругости слоистых оболочек типа Тимошенко 68
- 2.3 Уравнения термовязкоупругости слоистых оболочек с однотипными элементами структуры 73
- 2.4 Уравнения термовязкоупругости слоистых оболочек с различными терморееологически простыми структурными элементами 84
- 2.5 Вариационные принципы в теории термовязкоупругости слоистых оболочек 93

ТЕРМОУПРУГОСТЬ И ТЕРМОВЯЗКОУПРУГОСТЬ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ 97

- 3.1 Кинематические зависимости.
Уравнения равновесия. Граничные условия 98

3.2	Физические уравнения. Приведенные материальные константы	101
3.2.1	Слоистый стержень прямоугольного сечения	102
3.2.2	Трубчатые слоистые стержни	109
3.3	Применение МКЭ в расчетах конструкций с прямолинейными стержневыми элементами из композитов	117
3.3.1	МКЭ для трубчатых слоистых стержней	117
3.4	Математические модели неоднородных прямолинейных стержней с учетом деформаций сдвига	120
3.4.1	Кинематические зависимости. Уравнения равновесия. Граничные условия	121
3.4.2	Физические уравнения слоистого стержня прямоугольного сечения	124
3.4.3	Физические уравнения трубчатых слоистых стержней	131
3.4.4	Применение МКЭ для стержневых элементов с учетом деформаций сдвига	133
3.5	Уравнения термовязкоупругости прямолинейных стержневых элементов из композитов	139
3.5.1	Трубчатые слоистые стержни	139
3.6	Термоупругость и термовязкоупругость тонкостенных трубчатых слоистых стержней открытого профиля	143
3.6.1	Кинематические соотношения	143
3.6.2	Приведенные характеристики усилий	147

3.6.3	Физические соотношения термоупругости	149
3.6.4	Уравнения равновесия. Граничные условия	154
3.6.5	Расчет напряжений	156
3.6.6	Уравнения термовязкоупругости трубчатых слоистых стержней открытого профиля	164
3.7	Устойчивость продольно сжатых стержней из композитов	167
3.7.1	Устойчивость слоистого стержня прямоугольного сечения без учета деформаций сдвига	168
3.7.2	Устойчивость слоистого стержня с симметричным расположением слоев относительно плоскости x_1x_3 с учетом деформации сдвига	172
3.7.3	Устойчивость продольно сжатого слоистого стержня прямоугольного сечения с произвольным расположением слоев (без учета деформаций сдвига)	180

ТЕРМОУПРУГОСТЬ И ТЕРМОВЯЗКОУПРУГОСТЬ КРИВОЛИНЕЙНЫХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ 185

4.1	Геометрия пространственной кривой	185
4.2	Главные центральные оси инерции сечения стержня	188
4.3	Малая деформация кривой $\bar{r}(\alpha)$	189
4.4	Система координат для криволинейного стержня	191

4.5	Допущения, принимаемые для описания деформируемого состояния стержня	19
4.6	Уравнения равновесия. Граничные условия	196
4.7	Физические уравнения. Приведенные материальные константы	200
4.7.1	Трубчатые слоистые стержни	200
4.7.2	Слоистые стержни прямоугольного сечения	202
4.8	Особенности расчетов криволинейных стержней из композитов	205
4.8.1	Статически определимые конструкции	205
4.8.2	Особенности применения метода единичной нагрузки в расчетах перемещений стержневых конструкций из композитов	209
4.8.3	Применение метода податливостей в расчетах статически неопределимых стержневых конструкций из композитов	214
4.8.4	МКЭ в расчетах конструкций с криволинейными трубчатыми слоистыми стержневыми элементами из композитов	217
4.9	Теория деформирования неоднородных криволинейных стержней, учитывающая деформации сдвига поперечного сечения	224
4.9.1	Кинематические зависимости. Уравнения равновесия. Граничные условия	224
4.9.2	Физические уравнения термоупругости слоистых стержней прямоугольного сечения	227

4.9.3	Физические уравнения термоупругости трубчатых слоистых стержней . . .	232
4.9.4	Примеры расчета конструкций из трубчатых слоистых стержней с уче- том деформаций сдвига попереч- ного сечения	234
4.10	Уравнения термовязкоупругости криволинейных стержневых элементов из композитов	238

СМЕШАННЫЙ МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ФОРМЕ МЕТОДА ПОДОБЛАСТЕЙ 241

5.1	Смешанные функционалы и разрешающие уравнения МКЭ в форме метода подобластей в задаче термоупру- гости	243
5.2	Смешанный МКЭ в форме метода под- областей в задачах термоупругости тон- костенных слоистых конструкций	249
5.3	Основные уравнения в задаче теплопро- водности	253
5.4	Примеры	258

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИ-

МАЦИИ В ЗАДАЧАХ ТЕРМОВЯЗКОУПРУГОСТИ АНИЗОТРОПНОГО ТЕЛА 267

6.1	Процедура построения решения в изотермическом случае	268
6.2	Некоторые случаи нагружения ортотропной пластинки с круговым вырезом	269
6.2.1	Растяжение ортотропной пластинки с круговым вырезом	269

- 6.2.2 Нормальное давление, распределенное равномерно по контуру отверстия 275
- 6.2.3 Касательные усилия, распределенные равномерно по краю отверстия . . . 279
- 6.2.4 Сдвиг усилиями, ориентированными под углом $\pm\pi/4$ по отношению к главным направлениям упругости . 281
- 6.3 Равномерное сжатие цилиндрически анизотропного диска 282
- 6.4 Трансверсально-изотропный сферический сосуд под действием внутреннего и наружного давлений 286
- 6.5 Напряженное состояние полого вязкоупругого ортотропного цилиндра, нагруженного осевой силой 289
- 6.6 Процедура расчета конструкций из ПКМ, подвергающихся однородному температурному нагружению 292
- 6.7 Влияние скорости охлаждения на концентрацию напряжений в окрестности свободных кромок слоистых вязкоупругих конструкций 298
- 6.7.1 Охлаждение трехслойной сферической оболочки с круговым отверстием . 299
- 6.7.2 Охлаждение слоистой цилиндрической оболочки 306
- 6.8 Формоизменение цилиндрической вязкоупругой панели при температурном нагружении 308

Приложение 1	313
Приложение 2	343
Библиографический список	348