

УДК 624.074.4
ББК 30.121
Ю 16

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Южного федерального университета*

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, профессор **Ю. А. Устинов**
доктор физико-математических наук, профессор **А. А. Ляпин**

*Монография подготовлена и издана в рамках национального проекта «Образование»
по «Программе развития федерального государственного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Южный федеральный университет» на 2007-2010 гг.»*

Юдин А.С.

Ю 16

Устойчивость и колебания конструктивно-анизотропных и артифицированных оболочек вращения: монография / А. С. Юдин. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2011. – 362 с.
ISBN 978-5-9275-0844-0

В монографии рассмотрены вопросы построения математических моделей для оболочек вращения с конструктивной анизотропией и артификацией – специальной коррекцией формы при пластической формовке. Рассмотрены как линейные задачи колебаний и устойчивости, так и нелинейные задачи больших деформаций и устойчивости. Развиваемые нелинейные модели и методы решения нацелены на приложения в области создания высокоточных мембранных устройств, применяемых для защиты конструкций от разрушения избыточным давлением.

Рекомендуется для научных работников, аспирантов и студентов старших курсов физико-математических специальностей, а также научно-технических работников, имеющих дело с тонкостенными конструкциями.

ISBN 978-5-9275-0844-0

УДК 624.074.4
ББК 30.121

© Юдин А.С., 2011
© Южный федеральный университет, 2011
© Оформление. Макет. Издательство
Южного федерального университета, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	7
Глава 1. Некоторые аспекты устойчивости подкреплённых оболочек	15
1.1. Кинематика и уравнения равновесия	22
1.2. Расчётные схемы и соотношения упругости	31
1.3. Эффект эксцентриситета рёбер	50
1.4. Объяснение эффекта эксцентриситета рёбер	54
1.5. Сравнительная эффективность подкреплённых оболочек	59
1.6. Влияние краевых условий на устойчивость	63
1.7. Влияние эксцентриситета линии приложения осевой сжимающей нагрузки и моментности докритического состояния на устойчивость	66
1.8. Дискретный учёт рёбер, сравнение со схемой «размазывания»	68
1.9. О влиянии крутильной жесткости рёбер на критические нагрузки	71
1.10. О различии в поведении подкреплённых оболочек, нагруженных радиальным и гидростатическим внешним давлением	71
1.11. Сравнение теории и эксперимента. Области применимости линейной теории	72
1.12. Комбинированные нагрузки, начальные несовершенства	78
Глава 2. Уравнения колебаний и устойчивости подкреплённых оболочек	81
2.1. Уравнения для конструктивно-анизотропных оболочек в ортогональных криволинейных координатах	81
2.2. Уравнения гармонических колебаний и устойчивости осесимметрично напряженных конструктивно-анизотропных оболочек вращения	85

2.3. Уравнения осесимметричного напряжённо-деформированного состояния	87
2.4. Отделение окружной координаты, переход к безразмерным величинам и построение канонической системы ОДУ	88
Глава 3. Устойчивость и колебания подкреплённых цилиндрических оболочек	93
3.1. Устойчивость и собственные колебания: сравнение общей и прикладной теорий	93
3.1.1. Упрощённая теория, использующая кинематические гипотезы	95
3.1.2. Устойчивость по уравнениям общей теории	102
3.1.3. Расчёты и сравнительный анализ	106
3.2. Собственные колебания подкреплённых цилиндрических оболочек	117
3.3. Вынужденные колебания подкреплённых цилиндрических оболочек	124
3.3.1. Моделирование локальных нагрузок	125
3.3.2. Решение в рядах	128
3.3.3. Об учёте внутреннего трения	129
3.3.4. Формы колебаний для фиксированных частот	132
3.3.5. Амплитудно-частотные характеристики и влияние внутренних потерь	135
3.4. Демпфирование колебаний локальными массами	139
3.4.1. Жёстко прикреплённая масса под нагрузкой	140
3.4.2. Передача нагрузки через виброизолированную массу	142
3.4.3. Виброизолированная масса в качестве виброгасителя	144
3.4.4. Двухкаскадная виброизоляция	146
3.4.5. Передача нагрузки через виброизолированную массу с виброгасителем	148
3.4.6. Сравнительная эффективность вариантов виброгашения.....	150
Глава 4. Оболочки мембранных предохранительных устройств	152
4.1. Из истории предохранительных мембран	153

4.2. Условия эксплуатации, требования к проектированию и изготовлению мембран	154
4.3. Классификация предохранительных мембран	159
4.4. Эксперименты и технологии изготовления	161
Глава 5. Уравнения типа Э. Рейсснера больших осесимметричных деформаций оболочек вращения	171
5.1. Геометрия поверхности вращения и пространственная криволинейная система координат	171
5.2. Кинематика осесимметричной деформации	174
5.3. Элементарная работа внешних и внутренних сил	179
5.4. Уравнения равновесия в усилиях и моментах	182
5.5. О выборе соотношений упругости	183
5.6. Уравнения относительно двух разрешающих функций для «полулинейного» материала	189
Глава 6. Уравнения осесимметричной деформации конструктивно-анизотропных оболочек вращения	192
6.1. Исходные соотношения теории малых относительных удлинений	192
6.2. Соотношения упругости для конструктивно-анизотропных оболочек	193
6.3. Условия сопряжения при дискретном учёте шпангоутов	203
6.4. Уравнения для конструктивно-анизотропной сферической оболочки ступенчато-переменной жёсткости, подкреплённой дискретными шпангоутами	210
6.5. Метод решения и алгоритм	215
Глава 7. Устойчивость изотропных сферических куполов	222
7.1. Численные результаты для сферических оболочек постоянной толщины	222
7.1.1. Границы применимости теории пологих оболочек	222
7.1.2. Напряжённо-деформированное состояние осесимметричных форм потери устойчивости	235

7.1.3	Области линейно-упругой потери устойчивости сферических куполов	237
7.2.	Устойчивость сферических куполов с двумя областями разностенности	243
7.3.	Сопоставление теории, эксперимента и практики хлопающих предохранительных мембран	251
Глава 8. Устойчивость и напряженно-деформированное состояние подкреплённых сферических оболочек		259
8.1.	Геометрические параметры	259
8.2.	Конструктивно-ортотропная схема	262
8.3.	Дискретный учёт шпангоутов	265
8.4.	Оболочка ступенчато-переменной толщины	268
8.5.	Сравнение трёх схем учёта подкреплений	270
8.6.	Схема «размазывания» для широких рёбер	272
Глава 9. Пластическое формоизменение оболочек вращения		275
9.1.	Аппроксимация свойств материала	277
9.2.	Нелинейные физические соотношения	280
9.3.	Разрешающие уравнения модели формоизменения круглой пластины	291
9.4.	Полуобратный метод в задаче формовки сферического купола	297
9.5.	Формовка сфероидальной оболочки	303
9.6.	Сравнение теории и экспериментальных данных по пластической формовке артифицированных мембран	307
Глава 10. Нелинейная устойчивость оболочек вращения		319
10.1.	Исходные уравнения для изотропных оболочек вращения ...	319
10.2.	Разрешающие уравнения линейно-упругой задачи	322
10.3.	Уравнения для малых упругопластических деформаций	326
10.4.	Устойчивость хлопающих мембран	331
Литература		339