

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список основных обозначений	7
Введение	9
Глава 1. Методы исследования пересекающихся оболочек	11
1.1. Классификация типовых соединений пересекающихся оболочек	11
1.2. Состояние проблемы	13
1.3. Анализ методов исследования пересекающихся оболочек	29
Глава 2. Моделирование геометрии пересекающихся оболочек	32
2.1. Геометрические соотношения для линии пересечения поверхностей оболочек вращения	32
2.2. Расчетные соотношения для пересекающихся оболочек различной геометрической формы	35
2.2.1. Пересечение конической и цилиндрической оболочек	35
2.2.2. Пересечение цилиндрических оболочек	38
2.2.3. Пересечение эллипсоидальной и цилиндрической оболочек	41
2.2.4. Пересечение сферической и цилиндрической оболочек	47
2.3. Расчетные соотношения для соединений оболочек с переходной секцией	48
Глава 3. Применение метода конечных элементов в модифицированной смешанной вариационной формулировке для расчета оболочек	54
3.1. Применение вариационных принципов в МКЭ	54
3.2. Модифицированная смешанная вариационная формулировка	57
3.3. Особенности аппроксимации переменных для смешанных моделей элементов	62
3.4. Смешанные модели элементов	64

3.4.1. Трехмерный элемент	65
3.4.2. Четырехугольные конечные элементы оболочки . . .	67
3.4.3. Стержневой конечный элемент	77
3.5. Численный анализ применимости моделей элементов к рас- чету оболочек	80
3.5.1. Оболочки нулевой кривизны	83
3.5.2. Оболочки положительной кривизны	90
3.5.3. Тороидальная оболочка	92
3.5.4. Тестовые расчеты для трехмерного и стержневого элементов	94
Глава 4. Проблемно-ориентированная методика расчетного анализа напряженного состояния пересекающихся обо- лочек	97
4.1. Основные положения прикладной методики. Расчетный ал- горитм	97
4.2. Специализированная вычислительная программа расчетного анализа пересекающихся оболочек.	101
4.2.1. Назначение и возможности вычислительной про- граммы	101
4.2.2. Структура вычислительной программы	103
4.3. Результаты верификации вычислительной программы	107
4.4. Обоснование применимости двухмерного моделирования для расчета пересекающихся оболочек	139
Глава 5. Напряжения в радиальных соединениях цилин- дрических оболочек	157
5.1. Особенности напряженного состояния оболочек при дей- ствии внутреннего давления	158
5.2. Влияние основных геометрических параметров	168
5.3. Влияние сварного шва.	184
5.4. Действие контурных нагрузок	187
5.4.1. Напряженное состояние оболочек	189
5.4.2. Влияние геометрических параметров	201
5.5. Температурные напряжения в оболочках	211
5.6. Напряжения в радиальных соединениях при комбинирован- ном нагружении	220
5.6.1. Термосиловое нагружение	220
5.6.2. Совместное действие внутреннего давления и кон- турных нагрузок	227
5.7. Крестообразные соединения. Взаимное влияние патрубков. .	230

Глава 6. Напряжения в нерадиальных и тангенциальных соединениях пересекающихся цилиндрических оболочек	236
6.1. Нерадиальные соединения при действии внутреннего давле- ния	236
6.1.1. Особенности напряженного состояния оболочек	236
6.1.2. Влияние геометрических параметров	242
6.2. Тангенциальные соединения при действии внутреннего дав- ления	249
6.2.1. Анализ напряженного состояния оболочек	249
6.2.2. Влияние геометрических параметров	254
6.3. Нерадиальные и тангенциальные соединения при действии внешних сил и моментов.	259
6.4. Коленные соединения	268
6.4.1. Действие внутреннего давления	269
6.4.2. Действие изгибающего момента	272
Глава 7. Напряжения в соединениях конической, сфериче- ской и эллипсоидальной оболочек, пересекающихся с ци- линдрической оболочкой.	275
7.1. Соединения пересекающихся конической и цилиндрической оболочек	275
7.1.1. Напряженное состояние оболочек при действии внутреннего давления	276
7.1.2. Влияние геометрических параметров	282
7.2. Соединения пересекающихся сферической и цилиндрической оболочек	287
7.2.1. Анализ напряженного состояния оболочек при на- гружении внутренним давлением	288
7.2.2. Влияние геометрических параметров на напряжения в оболочках при нагружении внутренним давлением	294
7.2.3. Действие контурных нагрузок	304
7.3. Соединения пересекающихся эллипсоидальной и цилиндри- ческой оболочек	310
7.3.1. Особенности напряженного состояния оболочек при действии внутреннего давления	310
7.3.2. Влияние геометрических параметров	316
Глава 8. Напряжения в соединениях пересекающихся обо- лочек с локальным укреплением	327
8.1. Конструктивные способы локального укрепления.	327
8.2. Соединения пересекающихся оболочек с монолитным укреп- лением	330

8.2.1. Радиальные соединения цилиндрических оболочек	331
8.2.2. Сферическая и эллипсоидальная оболочки с радиальным патрубком	339
8.3. Соединения пересекающихся оболочек, укрепленные кольцевой накладкой	347
8.3.1. Радиальные соединения цилиндрических оболочек	348
8.3.2. Сферическая и эллипсоидальная оболочки с радиальным патрубком	356
8.4. Соединения пересекающихся оболочек с пропущенным патрубком	360
8.5. Соединения пересекающихся оболочек с торовой переходной секцией	367
8.5.1. Соединения цилиндрических оболочек	368
8.5.2. Соединения сферической и эллипсоидальной оболочек	374
Список литературы	382

Список основных обозначений

1. Параметры оболочки

r	— радиус цилиндрической оболочки (патрубка);
α_k, R	— угол конусности и радиус параллельного сечения (в поперечной плоскости) конической оболочки;
R	— радиус цилиндрической или сферической оболочки;
a, b	— полуоси эллипсоида;
r_T	— радиус меридионального сечения круговой тороидальной оболочки;
u, v, w	— меридиональное, окружное и нормальное линейные перемещения точки срединной поверхности оболочки;
θ_1, θ_2	— углы поворота сечения (нормали) к поверхности отсчета соответственно в плоскостях $s = \text{const}$ и $\varphi = \text{const}$;
$\varepsilon_s, \varepsilon_\varphi$	— линейные деформации;
$\gamma_{s\varphi}$	— тангенциальный сдвиг;
$\kappa_s, \kappa_\varphi, \chi$	— параметры изменения кривизны и кручения;
σ_s, σ_φ	— меридиональные и окружные нормальные напряжения;
$\tau_{s\varphi}$	— касательные напряжения в тангенциальной плоскости;
$\sigma_{\text{экв}}$	— эквивалентные напряжения;
E, μ, α_T	— модуль Юнга, коэффициент Пуассона и коэффициент линейного температурного расширения материала оболочки;
T^+, T^-	— изменение температуры наружной и внутренней поверхностей оболочки

2. Параметры соединения пересекающихся оболочек

\mathbf{n}_0	— нормаль к срединной поверхности основной оболочки в точке ее пересечения осью патрубка;
α	— угол отклонения оси патрубка от нормали \mathbf{n}_0 в главной плоскости соединения;
β	— угол отклонения оси патрубка от нормали \mathbf{n}_0 в поперечной плоскости соединения;
r/R ($r/R_0, r/a$)	— отношение характерных поперечных размеров срединных поверхностей патрубка и основной оболочки;
R/H	— параметр тонкостенности цилиндрической или сферической оболочек;
r/h	— параметр тонкостенности патрубка;
h/H	— отношение толщин патрубка и основной оболочки;
b/a	— параметр эллипсоидальности основной оболочки;
x_0, z_0	— координаты точки O' на эллипсоиде в основной системе координат;
$\bar{x}_0 = x_0/a$	— относительное смещение патрубка от центрального положения;
h_M, l_M	— толщина и длина монолитного укрепления патрубка;
H_M, L_M	— толщина и длина монолитного укрепления основной оболочки;
H_H, L_H	— толщина и ширина кольцевой накладки;