

УДК 624.07–415  
ББК 38.112  
X12

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Казанского национального исследовательского технологического университета*

*Рецензенты:*

*д-р физ.-мат. наук, проф. Р. А. Каюмов*

*д-р техн. наук, проф. Ю. В. Клочков*

**Хайруллин Ф. С.**

**X12** Расчет тонкостенных и трехмерных конструкций сложной формы на основе аппроксимирующих функций с конечными носителями : монография / Ф. С. Хайруллин, О. М. Сахбиев; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2020. – 196 с.

**ISBN 978-5-7882-2959-1**

Представлены результаты исследований в области статического расчета тонкостенных и трехмерных конструкций сложной формы. Предложены методы построения аппроксимирующих функций с конечными носителями для двухмерных и трехмерных подобластей, которые позволяют производить расчеты тонких оболочек и трехмерных тел сложной формы.

Предназначена для научных и инженерно-технических работников, аспирантов, магистров и студентов старших курсов, занимающихся вопросами применения вариационных и численных методов при расчете трехмерных конструкций, тонкостенных конструкций, стержневых систем.

Подготовлена на кафедре теоретической механики и сопротивления материалов.

**УДК 624.07–415  
ББК 38.112**

ISBN 978-5-7882-2959-1

© Хайруллин Ф. С., Сахбиев О. М., 2020

© Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, 2020

# О г л а в л е н и е

Предисловие .....	5
1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКИХ ОБОЛОЧЕК И СТЕРЖНЕЙ .....	11
1.1. Основные соотношения теории тонких оболочек .....	11
1.2. Аппроксимирующие функции с конечными носителями для четырехугольных подобластей .....	14
1.3. Аппроксимирующие функции с конечными носителями для треугольных подобластей .....	19
1.4. Вариационный метод расчета тонких оболочек сложной формы в плане .....	22
1.5. Определяющие уравнения для стержней. ....	27
1.6. Вариационный метод расчета стержневых систем .....	32
1.7. Построение матрицы жесткости конструкции .....	35
1.8. Об особенностях численной реализации задачи .....	38
2. ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ СРЕДИННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОБОЛОЧКИ.....	44
2.1. Исходные соотношения .....	44
2.2. Параметризация граничных линий оболочки .....	48
2.3. Построение сглаживающей функции двух переменных .....	57
2.4. Численные результаты .....	64
3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СОСТАВНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....	74
3.1. Определение напряженно-деформированного состояния составных оболочек .....	75
3.2. Основные соотношения для ребер жесткости .....	79
3.3. Расчет тонких оболочек с ребрами жесткости.....	84
3.4. Определение напряженно-деформированного состояния оболочечно- стержневых конструкций .....	89
3.5. Расчет стержневых систем, несущих тонкостенные перекрытия .....	93
3.6. Расчет рамной конструкции, имеющей двухстороннюю обшивку .....	97

4. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ .....	102
4.1. Пластины и оболочки канонической и сложной формы в плане.....	102
4.2. Составные оболочки .....	114
4.3. Расчет тонкостенных конструкций с вмятинами .....	118
4.4. Результаты расчетов стержневых систем.....	124
4.5. Оболочки с вырождающейся областью.....	128
4.6. Численный метод определения обобщенных жесткостных характеристик сотового поликарбоната .....	133
4.7. Оболочечно-стержневые конструкции.....	139
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....	147
5.1. Основные соотношения теории упругости в криволинейной системе координат.....	147
5.2. Построение аппроксимирующих функций для трехмерных подобластей .....	149
5.3. Вариационный метод расчета трехмерных конструкций сложной формы .....	159
5.4. Особенности численной реализации .....	162
5.5. Результаты расчетов.....	167
Список литературы .....	183