



Молотников В. Я.

Механика конструкций. Теоретическая механика. Сопротивление материалов: Учебное пособие. 1-е изд.

Допущено УМО вузов по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 150400 — «Технологические машины и оборудование»

ISBN 978-5-8114-1327-0

Год выпуска 2012

Тираж 1000 экз.

Формат 16,5×23,5 см

Переплет: твердый

Страниц 608

Цена 1 545,06 руб.

В доступной форме изложены основы теоретической механики и сопротивления материалов — первых двух частей курса «Механика конструкций». Рассмотрение теоретических положений сопровождается пояснениями и примерами. Дано подробное решение типовых задач с рекомендациями методического характера. По каждой теме даны вопросы для самопроверки усвоения материала.

В части пособия, посвященной изложению основ теоретической механики, не рассматриваются такие утилитарные разделы, как графостатика, простейшие механизмы и другие, зато дано изложение исследования устойчивости механических систем по Четаеву — Ляпунову и начал динамики управляемых систем. В разделе «Сопротивление материалов» даны основы механики разрушения, вариационные принципы механики деформируемого твердого тела и введение в метод конечных элементов. Эти разделы могут быть использованы в программах подготовки магистров и научно-исследовательской работе студентов.

Приведены примеры использования компьютерных приложений в инженерных расчетах (Delphi, APM WinMashine, COSMOSWorks и др.). Малый объем этого материала отражает авторский взгляд на подобные приложения как на весьма полезный инструмент, который, однако, не может заменить фундаментальных теоретических знаний механики.

Пособие предназначено для студентов и аспирантов инженерных и инженерно-технологических факультетов высших учебных заведений.

Рецензенты:

С. Н. Кульков — доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой прочности и проектирования Томского государственного университета; *В. П. Забродин* — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой теоретической и прикладной механики ФГОУ ВПО «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия».

Предисловие

Нынешний научно-технический прогресс и стремительное развитие высоких технологий сделали необходимым включение в учебные планы образовательных учреждений многих новых дисциплин, знание которых становится обязательным для современного специалиста. При ограниченности сроков обучения модернизация учебных планов поневоле приводит к сокращению количества часов, выделяемых на освоение фундаментальных общетехнических дисциплин. Возникла тенденция создания комплексных дисциплин, к числу которых относится и механика, иногда называемая в вузах инженерной механикой, а в колледжах — технической механикой. Мы предпочли для этой комплексной дисциплины название «Механика конструкций», которое, по нашему мнению, наиболее верно отражает как ее содержание, так и техническую направленность. В первый том пособия включены основы теоретической механики и сопротивления материалов.

При написании этой книги автор стремился создать краткое учебное пособие, которое, с одной стороны, вписывалось бы в стесненные временные рамки новых учебных планов, а с другой — максимально сохранило бы полноту курса, строгость и доказательность основных его положений, причем краткий объем книги не нанес бы ущерба доходчивости подачи материала или демонстрациям его приложений в инженерном деле. Насколько это удалось автору — судить читателю.

Концентрированное изложение курса заставило исключить из рассмотрения ряд вопросов, традиционно излагаемых в вузовских курсах механики, либо переместить их из одного раздела в другой. Одни из них представляются утилитарными (например, графостатика), другие же перекочевали из раздела «Теоретическая механика» в раздел

«Сопrotивление материалов» (теория колебаний). Вместе с тем для решения многих задач современной техники иногда недостаточно методов традиционных курсов теоретической механики и сопротивления материалов. В связи с этим автор счел целесообразным отступить от традиции и включил в книгу материал, посвященный как классическим, так и новейшим вариационным методам механики. И если изучение этого материала пока предусмотрено лишь немногими образовательными стандартами для программ подготовки магистров, то он может быть использован на факультативных занятиях с любознательными или талантливыми студентами. Чтобы не перегружать книгу трудными математическими построениями при изложении этого материала автор умышленно нигде не обсуждал важнейший вопрос о существовании и единственности решений формулируемых задач.

Основу книги составили лекции, прочитанные автором за последние десятилетия в индустриальных, аграрных и военных вузах Советского Союза и России, частично изложенные в ранее изданных учебных пособиях.

Автор выражает искреннюю признательность рецензентам — д-ру физ.-мат. наук, проф. С. Н. Кулькову и д-ру техн. наук, проф. В. П. Забродину за их нелегкий труд по рецензированию книги и ценные советы, которые были учтены при подготовке окончательного варианта рукописи.

Молотников В. Я.

Механика конструкций. Теоретическая механика. Сопrotивление материалов:
Учебное пособие. 1-е изд.

Содержание

Предисловие	2
<u>Часть I. Теоретическая механика</u>	<u>3</u>
Введение	3
Глава I. Статика	4
§ 1. Силы. Системы сил	4
§ 2. Аксиомы теоретической механики	6
§ 3. Связи и их реакции	8
§ 4. Элементы векторной алгебры	10
§ 5. Система сходящихся сил	14
§ 6. Условия равновесия системы сходящихся сил	17
§ 7. Система параллельных сил. Пары сил	18
§ 8. Пары в пространстве. Условия равновесия пар сил	20
§ 9. Момент силы относительно точки и относительно оси	22
§ 10. Основная теорема статики	24
§ 11. Условия равновесия произвольной системы сил	26
§ 12. Плоская система сил. Теорема Вариньона	29
§ 13. Другие формы условий равновесия плоской системы сил	31
§ 14. Решение задач на равновесие систем сил	32
§ 15. Расчет ферм	43
§ 16. Компьютерный расчет ферм	47
§ 17. Центр параллельных сил	48
§ 18. Центр тяжести твердого тела	49
§ 19. Центры тяжести простейших тел	51
§ 20. Равновесие с учетом сил трения	53
Глава II. Кинематика точки и твердого тела	58
§ 21. Движение и способы его задания	58
§ 22. Производная векторной функции скалярного аргумента. Естественные координатные оси	61
§ 23. Скорость и ускорение точки	64
§ 24. Простейшие движения твердого тела	71
§ 25. Сложное движение точки	76
§ 26. Плоское движение твердого тела	78
§ 27. Вращение твердого тела с одной неподвижной точкой	89
§ 28. Сложное движение точки в общем случае	95
§ 29. Сложное движение твердого тела	101
Глава III. Динамика материальной точки	106
§ 30. Основные положения и уравнения динамики точки	106
§ 31. Простейшие движения материальной точки	111
§ 32. Динамическая теорема Кориолиса	116
§ 33. Общие теоремы динамики точки	117
Глава IV. Динамика системы	125
§ 34. Геометрия масс	125
§ 35. Теорема о движении центра масс системы	131
§ 36. Теорема об изменении количества движения системы	134
§ 37. Теорема об изменении момента количества движения системы	137
§ 38. Теорема об изменении кинетической энергии системы	142

§ 39. Работа и классификация сил. Потенциальное силовое поле	146
§ 40. Принцип Даламбера	150
Глава V. Теория удара	154
§ 41. Явление удара и его основные характеристики	154
§ 42. Основные теоремы теории удара	156
§ 43. Удар точки о неподвижную поверхность	159
§ 44. Опытное определение коэффициента восстановления	161
§ 45. Удар двух тел	162
§ 46. Теорема Карно	164
§ 47. Удар по вращающемуся телу	165
Глава VI. Элементы аналитической механики	167
§ 48. Принцип возможных перемещений	167
§ 49. Обобщенные координаты. Обобщенные силы	170
§ 50. Случай консервативных сил	173
§ 51. Условия равновесия системы в обобщенных координатах	175
§ 52. Общее уравнение динамики системы	177
§ 53. Дифференциальные уравнения движения механической системы в обобщенных координатах	178
§ 54. Понятие об устойчивости механических систем	182
Глава VII. Введение в динамику управляемых систем	186
§ 55. Математическая модель управляемой системы	186
§ 56. Основные сведения о функционалах и функциональных пространствах	189
§ 57. Вариации кривых сравнения и функционалов	191
§ 58. Постановка вариационной задачи Майера	193
§ 59. Принцип максимума	194
§ 60. Условия Эрдмана — Вейерштрасса. Первый интеграл	195
§ 61. Простейшая задача оптимального быстрогодействия	197
§ 62. Полет беспилотного самолета на максимальную дальность (А. М. Летов)	202
Литература к части I	206
Часть II. Сопротивление материалов	207
Вступительное слово	207
Глава VIII. Основные понятия и определения	208
§ 63. Задачи и содержание сопротивления материалов	208
§ 64. Статически неопределимые системы	209
§ 65. Внешние силы. Принцип Сен-Венана	210
§ 66. Внутренние силы. Метод сечений	211
§ 67. Напряжения. Простейшие типы напряженного состояния	212
§ 68. Деформации и перемещения	214
§ 69. Механические свойства материалов. Закон Гука	215
§ 70. Новые конструкционные материалы	217
Глава IX. Растяжение и сжатие	220
§ 71. Внутренние усилия и напряжения	220
§ 72. Деформации и перемещения при растяжении — сжатии	222
§ 73. Определение перемещений узлов стержневых систем	225
§ 74. Потенциальная энергия упругой деформации	226
§ 75. Допускаемые напряжения. Расчеты на прочность	227
§ 76. Статически неопределимые задачи при растяжении — сжатии	228
§ 77. Температурные и монтажные напряжения	230
§ 78. Расчет проводов и тросов	231
§ 79. Расчет статически неопределимых систем по допускаемым нагрузкам	236
Глава X. Элементы теории напряженного и деформированного состояния	238
§ 80. Виды напряженного состояния	238
§ 81. Общий случай плоского напряженного состояния	238
§ 82. Круговая диаграмма Мора	241
§ 83. Основные сведения о трехосном напряженном состоянии	243
§ 84. Деформация элемента объема в общем случае	245
§ 85. Потенциальная энергия упругой деформации в общем случае	250
§ 86. Контактные напряжения	251
Глава XI. Кручение	253
§ 87. Кручение прямого бруса круглого сечения	253
§ 88. Кручение бруса некруглого поперечного сечения	257
§ 89. Кручение тонкостенных прямых брусьев	258
§ 90. Расчеты на прочность и жесткость при кручении	263
§ 91. Расчет вала круглого сечения по допускаемым нагрузкам	264
Глава XII. Теории прочности	265
§ 92. Постановка вопроса. Первые теории прочности	265
§ 93. Рабочие теории прочности	267

§ 94. Введение в механику разрушения	270
Глава XIII. Геометрические характеристики плоских сечений	274
§ 95. Основные определения	274
§ 96. Вычисление моментов инерции простых сечений	275
§ 97. Формулы преобразования статических моментов и моментов инерции при параллельном переносе осей ..	276
§ 98. Преобразование моментов инерции при повороте осей	277
§ 99. Главные оси и главные моменты инерции	277
Глава XIV. Изгиб	281
§ 100. Понятие о деформации изгиба	281
§ 101. Внутренние усилия при плоском изгибе	282
§ 102. Дифференциальные зависимости при изгибе	284
§ 103. Напряжения при изгибе	285
§ 104. Расчет на прочность при изгибе по допускаемым напряжениям	289
§ 105. Упругопластический изгиб	291
§ 106. Балки переменного поперечного сечения	293
§ 107. Симметричные составные балки из различных материалов	294
§ 108. Железобетонные балки	296
§ 109. Центр изгиба	299
Глава XV. Перемещения при изгибе	301
§ 110. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки	301
§ 111. Примеры определения перемещений	302
§ 112. Метод начальных параметров	304
§ 113. Автоматизация расчета балок	307
§ 114. Графоаналитический метод определения перемещений	310
§ 115. Простейшие статически неопределимые балки	312
§ 116. Многопролетные неразрезные балки	314
§ 117. Изгиб балки на упругом основании	315
§ 118. Продольно-поперечный изгиб	319
Глава XVI. Сложное сопротивление	322
§ 119. Общий подход к решению задач сложного сопротивления	322
§ 120. Косой изгиб	323
§ 121. Внецентренное растяжение — сжатие	325
§ 122. Изгиб плоского кривого бруса	329
§ 123. Изгиб с кручением валов круглого поперечного сечения	333
§ 124. Расчет цилиндрических винтовых пружин	336
Глава XVII. Общие теоремы сопротивления материалов	338
§ 125. Линейные упругие системы	338
§ 126. Потенциальная энергия в общем случае нагружения бруса	339
§ 127. Принцип взаимности работ и перемещений	341
§ 128. Теорема Кастильяно	342
§ 129. Интеграл перемещений	344
§ 130. Способ Верещагина	345
§ 131. Расчет статически неопределимых стержневых систем методом сил	348
§ 132. Пример расчета рамы методом сил	350
§ 133. Использование свойств симметрии	352
Глава XVIII. Динамические задачи сопротивления материалов	354
§ 134. Динамические нагрузки и силы инерции	354
§ 135. Собственные колебания систем с одной степенью свободы	357
§ 136. Вынужденные колебания систем с одной степенью свободы	360
§ 137. Колебания систем с конечным числом степеней свободы	364
§ 138. Продольные колебания стержней	367
§ 139. Поперечные колебания балки	370
§ 140. Параметрические колебания	373
§ 141. Ударная нагрузка	375
§ 142. Испытание материалов на удар	381
Глава XIX. Прочность при переменных напряжениях	383
§ 143. Понятие об усталостном разрушении материалов	383
§ 144. Циклы напряжений	385
§ 145. Предел выносливости	386
§ 146. Диаграммы предельных циклов	388
§ 147. Основные факторы, влияющие на величину предела выносливости	391
§ 148. Практические расчеты на выносливость	394
Глава XX. Устойчивость деформируемых систем	399
§ 149. Общие понятия об устойчивости	399
§ 150. Задача Эйлера	400
§ 151. Критическая сила при различных видах закрепления стержня	401

§ 152. Потеря устойчивости за пределом пропорциональности	403
§ 153. Расчет на устойчивость по эмпирическим формулам	407
§ 154. Энергетический метод определения критических нагрузок	410
§ 155. Устойчивость при плоском изгибе	411
§ 156. Устойчивость колец и труб	416
Глава XXI. Осесимметричные задачи сопротивления материалов	419
§ 157. Плоская осесимметричная деформация	419
§ 158. Задача Ляме	420
§ 159. Безмоментные оболочки вращения	422
Глава XXII. Введение в метод конечных элементов	425
§ 160. Общие замечания	425
§ 161. Вариационное уравнение равновесия Лагранжа	426
§ 162. Понятие конечного элемента	427
§ 163. Прямой метод построения разрешающих уравнений	429
§ 164. Вариационное уравнение метода конечных элементов в плоской задаче	429
§ 165. Матрица жесткости и узловые нагрузки*	432
§ 166. Разрешающая система метода конечных элементов	432
§ 167. Компьютерные реализации метода конечных элементов	433
Литература к части II	433
Приложения	434
Приложение I	434
Приложение II	434
Предметный указатель	435
