

И.И. АРТОБОЛЕВСКИЙ

ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

Четвертое издание, переработанное и дополненное

Допущено
Государственным Комитетом по народному образованию
в качестве **учебника** для студентов
высших технических учебных заведений

Репринтное издание

ЭКОЛИТ
2011

УДК 531.8(075.8)

ББК 34.41

A86

Рецензент

А.Н. Боголюбов, член-корреспондент АН УССР

Артоболевский И.И

A86 Теория механизмов и машин : учебник / И.И. Артоболевский. — 4-е изд., перераб. и доп. / Репринтное воспроизведение издания 1988 г. — М. : ЭКОЛИТ, 2011. — 640 с.

ISBN 978-5-4365-0032-4

Кроме традиционных разделов (теории структуры, кинематики, кинестатики, динамики и синтеза механизмов) в учебник вошли вопросы теории машин-автоматов, роботов и манипуляторов, сведения об управлении машинами.

Кратко изложена теория машин вибрационного действия, рассмотрены вопросы динамики механизмов с переменными массами и механизмов с несколькими степенями свободы.

Для студентов механических и машиностроительных специальностей технических вузов.

УДК 531.8(075.8)

ББК 34.41

Артоболевский Иван Иванович

ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

Изд. № 4109. Подписано в печать 27.07.2011. Формат 60×90/16.

Гарнитура «Литературная». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 40,0. Уч.-изд. л. 40,2. Тираж 300 экз. Заказ №

ООО «Эколит».

115088, Москва, ул. Новоостاپовская, д. 4, корп. 2.

Отпечатано в полном соответствии с качеством представленного издательством электронного оригинал-макета в ГУП МО «Коломенская типография».

140400, Московская обл., г. Коломна, ул. III Интернационала, 2а.

Тел.: 8 (496) 618-69-33, 618-60-16. E-mail: bab40@yandex.ru.

ISBN 978-5-4365-0032-4

© Артоболевский И.И., 1988

© ООО «Эколит», 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к четвертому изданию	8
Из предисловия к третьему изданию	10
Введение	11
§ 1. Механика машин и ее основные разделы	11
§ 2. Основные понятия и определения	19
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. СТРУКТУРНЫЙ И КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ	21
ОТДЕЛ ПЕРВЫЙ. СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХА- НИЗМОВ	21
Глава 1. Кинематические пары и кинематические цепи	21
§ 3. Кинематические пары и их классификация	21
§ 4. Условные изображения кинематических пар	28
§ 5. Кинематические цепи	30
Глава 2. Структура механизмов	32
§ 6. Механизм и его кинематическая схема	32
§ 7. Структурная формула кинематической цепи общего вида	34
§ 8. Структурная формула плоских механизмов	37
§ 9. Структура плоских механизмов	40
§ 10. Замена в плоских механизмах высших пар низшими	44
§ 11. Структура пространственных механизмов	47
Глава 3. Классификация плоских механизмов	52
§ 12. Основной принцип образования механизмов	52
§ 13. Структурная классификация плоских механизмов	55
ОТДЕЛ ВТОРОЙ. КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ	64
Глава 4. Кинематическое исследование плоских рычажных механиз- мов графическим методом	64
§ 14. Центроиды в абсолютном и относительном движениях	64
§ 15. Кинематика начальных звеньев механизмов	68
§ 16. Аналоги скоростей и ускорений	70
§ 17. Определение положений звеньев групп и построение траектор- рий, описываемых точками звеньев механизмов	73
§ 18. Определение скоростей и ускорений групп II класса методом планов	79
§ 19. Определение скоростей и ускорений групп III класса методом планов	96

§ 20. Мгновенный центр ускорений и радиус кривизны траектории	99
§ 21. Построение кинематических диаграмм	103
§ 22. Кинематическое исследование механизмов методом диаграмм	107
Глава 5. Кинематическое исследование плоских рычажных механизмов аналитическим методом	112
§ 23. Механизм шарнирного четырехзвенника	112
§ 24. Кривошипно-ползунный механизмы	117
§ 25. Кулисные механизмы	121
§ 26. Шестизвенные рычажные механизмы	127
Глава 6. Кинематическое исследование кулачковых механизмов	130
§ 27. Определение положений	130
§ 28. Определение скоростей и ускорений	134
Глава 7. Кинематическое исследование механизмов передач	137
§ 29. Основные кинематические соотношения	137
§ 30. Механизмы фрикционных передач	141
§ 31. Механизмы трехзвенных зубчатых передач с неподвижными осями	145
§ 32. Механизмы многоступенчатых зубчатых передач с неподвижными осями	149
§ 33. Механизмы многоступенчатых зубчатых передач с подвижными осями	154
§ 34. Механизмы передач с гибкими звеньями	166
Глава 8. Кинематическое исследование некоторых видов пространственных и плоских механизмов	168
§ 35. Механизм универсального шарнира	168
§ 36. Мальтийские механизмы	172
§ 37. Векторный метод кинематического анализа пространственных рычажных механизмов	174
ЧАСТЬ ВТОРАЯ. ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН	203
ОТДЕЛ ТРЕТИЙ. СИЛОВОЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ	203
Глава 9. Введение в динамический анализ механизмов	203
§ 38. Основные задачи	203
§ 39. Задачи силового расчета механизмов	205
§ 40. Силы, действующие на звенья механизма	206
Глава 10. Силы движущие и силы производственных сопротивлений	207
§ 41. Диаграммы сил, работ и мощностей	207
§ 42. Механические характеристики машины	210
Глава 11. Трение в механизмах	212
§ 43. Виды трения	212
§ 44. Трение скольжения несмазанных тел	214
§ 45. Трение в поступательной кинематической паре	218
§ 46. Трение в винтовой кинематической паре	225
§ 47. Трение во вращательной кинематической паре	227
§ 48. Трение скольжения смазанных тел	229
§ 49. Трение качения и трение скольжения в высших парах	231
§ 50. Трение в передачах с фрикционными колесами	234
§ 51. Трение в передачах с гибкими звеньями	236

Глава 12. Силы инерции звеньев плоских механизмов	238
§ 52. Определение сил инерции звеньев	238
§ 53. Метод замещающих точек	241
Глава 13. Кинестатический расчет плоских механизмов	247
§ 54. Условия статической определимости кинематических цепей	247
§ 55. Определение реакций в кинематических парах групп	249
§ 56. Определение реакций в кинематических парах групп с учетом сил трения	258
§ 57. Кинестатический расчет начального звена механизма	260
§ 58. Силовой расчет типовых механизмов	263
§ 59. Уравновешивание масс звеньев механизма на фундаменте	275
§ 60. Определение положения общего центра масс механизма	280
§ 61. Уравновешивание сил инерции звеньев механизма	285
§ 62. Уравновешивание вращающихся звеньев	292
§ 63. Вибрационные машины и принцип их действия	300
ОТДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ. АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН	304
Глава 14. Энергетические характеристики механизмов	304
§ 64. Режимы движения механизмов	304
§ 65. Механический коэффициент полезного действия	308
§ 66. Определение коэффициентов полезного действия типовых механизмов	313
Глава 15. Приведение сил и масс в механизмах	324
§ 67. Приведенные силы и моменты	324
§ 68. Рычаг Жуковского	326
§ 69. Определение приведенных и уравновешивающих сил методом Жуковского	330
§ 70. Кинетическая энергия механизма	334
§ 71. Приведенная масса и приведенный момент инерции механизма	336
Глава 16. Исследование движения машинного агрегата	340
§ 72. Основные формы уравнений движения	340
§ 73. Интегрирование уравнений движения	344
§ 74. Исследование движения с помощью уравнения кинетической энергии	349
Глава 17. Динамика механизмов с несколькими степенями свободы	356
§ 75. Общие замечания. Особенность кинематических соотношений	356
§ 76. Уравнения движения механизма	357
§ 77. Муфты с упругой динамической связью	361
Глава 18. Динамика механизмов с переменной массой звеньев	363
§ 78. Общая постановка задачи	363
§ 79. Динамика точки с переменной массой	364
§ 80. Тело с переменной массой и его кинетическая энергия	366
§ 81. Уравнение движения машинного агрегата с переменной массой звеньев	368
Глава 19. Неравномерность движения механизмов и машин	373
§ 82. Общая постановка задачи	373
§ 83. Средняя скорость машины и ее коэффициент неравномерности движения	375
§ 84. Связь между приведенным моментом инерции, приведенными силами и коэффициентом неравномерности движения механизма	379

§ 85. Основные данные, необходимые для определения момента инерции маховика	382
§ 86. Определение момента инерции махового колеса по диаграмме $T = T(J_D)$	386
§ 87. Определение момента инерции махового колеса по уравнению моментов	390
§ 88. Определение момента инерции махового колеса при движущем моменте, зависящем от скорости	393
Глава 20. Введение в теорию регулирования	397
§ 89. Общая постановка задачи	397
§ 90. Кинестатика центробежного регулятора	401
§ 91. Устойчивость регулятора	406
§ 92. Нечувствительность регулятора	408
ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ. СИНТЕЗ МЕХАНИЗМОВ	411
ОТДЕЛ ПЯТЫЙ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТИПОВЫХ ПЛОСКИХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ	411
Глава 21. Основные понятия и определения. Синтез центроидных механизмов	411
§ 93. Задачи проектирования механизмов	411
§ 94. Синтез трехзвенного центроидного механизма	415
§ 95. Некоторые условия, обеспечивающие передачу сил в механизмах	420
Глава 22. Синтез трехзвенных плоских зубчатых механизмов с круглыми цилиндрическими колесами	423
§ 96. Основные сведения из теории зацеплений	423
§ 97. Геометрические элементы зубчатых колес	427
§ 98. Геометрия эвольвентных профилей	432
§ 99. Проектирование эвольвентных профилей	436
§ 100. Дуга зацепления, угол перекрытия и коэффициент перекрытия	441
§ 101. Удельное скольжение зубьев	443
§ 102. Некоторые сведения по методам обработки эвольвентных профилей зубьев	446
§ 103. Подрезание профилей зубьев	451
§ 104. Определение основных размеров зубчатых колес, нарезанных методом обкатки	455
§ 105. Проектирование циклоидальных профилей	466
§ 106. Проектирование передач с косыми зубьями	468
Глава 23. Синтез трехзвенных пространственных зубчатых механизмов	475
§ 107. Проектирование конической зубчатой передачи	475
§ 108. Проектирование винтовой и червячной передач	484
Глава 24. Синтез многозвенных зубчатых механизмов	493
§ 109. Проектирование зубчатых передач с неподвижными осями	493
§ 110. Проектирование зубчатых передач с подвижными осями	499
Глава 25. Синтез мальтийских механизмов	506
§ 111. Проектирование механизмов с внешним зацеплением	506

Глава 26. Синтез кулачковых механизмов	510
§ 112. Основные типы плоских кулачковых механизмов	510
§ 113. Исходные данные для проектирования кулачковых механизмов	513
§ 114. Законы движения выходных звеньев	516
§ 115. Определение основных размеров кулачковых механизмов . .	527
§ 116. Проектирование профилей кулачков	537
Глава 27. Синтез плоских механизмов с низшими парами	550
§ 117. Основные задачи синтеза	550
§ 118. Проектирование механизмов по заданным положениям звеньев	557
§ 119. Условия существования кривошипа в четырехзвенных меха- низмах	566
§ 120. Определение ошибок механизмов	568
ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ. ОСНОВЫ ТЕОРИИ МАШИН-АВТОМАТОВ. .	574
ОТДЕЛ ШЕСТОЙ. СИНТЕЗ И УПРАВЛЕНИЕ МАШИНАМИ-АВТОМАТАМИ	574
Глава 28. Основные понятия теории машин-автоматов.	574
§ 121. Краткое введение в теорию машин-автоматов	574
§ 122. Направления развития машин-автоматов и систем машин автоматического действия	577
§ 123. Принципы автоматизации управления машинами-автоматами	582
§ 124. Циклограммы машин-автоматов	591
§ 125. Некоторые сведения по теории производительности машин- автоматов	593
Глава 29. Синтез логических схем систем управления	596
§ 126. Элементы алгебры логики. Синтез релейных схем	596
§ 127. Логические элементы	605
Глава 30. Краткие сведения по теории роботов и манипуляторов . . .	611
§ 128. Промышленные роботы и манипуляторы	611
§ 129. Относительные движения звеньев манипулятора	617
§ 130. Связи между управляющим и исполнительным механизмами	619
§ 131. Некоторые вопросы геометрии манипуляторов	621
§ 132. Блок-схемы автоматического управления	627
Приложение 1	630
Приложение 2	633
Предметный указатель	636

ПРЕДИСЛОВИЕ К ЧЕТВЕРТОМУ ИЗДАНИЮ

Автор книги «Теория механизмов и машин» — крупный ученый, основатель советской школы теории машин и механизмов, Герой Социалистического Труда, академик Иван Иванович Артоболевский (1905–1977). Его книга является классическим учебником, много лет служившим советской высшей технической школе. Она переведена на ряд языков и была принята во многих зарубежных технических школах как учебник и как руководство, на котором воспитывались и которому следовали многие поколения ученых. Но значение книги не только в этом: книга представляет собой научный трактат, в котором зафиксировано состояние науки о машинах к концу третьей четверти XX века.

История написания и совершенствования книги совпадает по времени со становлением советской научной школы механики машин, самой большой и авторитетной в мире. Впервые И. И. Артоболевский составил пособие по курсу теории механизмов и машин в 1930 г. На протяжении последующего десятилетия он работал над составлением учебника, подбирая для него новые материалы на основе исследований, проводимых им самим и другими учеными. В 1940 г. он издал университетский курс «Теория механизмов и машин», который читал в Московском университете, а в 1945 г. — учебник для высших технических учебных заведений под названием «Курс теории механизмов и машин».

В последующих изданиях этого учебника на русском и иностранных языках автор постоянно совершенствовал свой курс, вводя в него новые разделы, отражающие последние достижения науки, и сокращая материал, потерявший актуальность. Последний раз этот учебник был издан в 1975 г. при жизни автора (третье издание).

В соответствии с авторской традицией постоянного обновления курса настоящее, четвертое издание дополнено кратким изложением некоторых проблем теории механизмов и машин, которые получили значительное развитие в последние десятилетия. Расширено представление о силах инерции в механизмах и дано краткое изложение теории машин вибрационного действия (§ 63 гл. 13); рассмотрены вопросы динамики механизмов с переменными массами (гл. 18) и динамики механизмов с несколькими степенями

свободы (гл. 17), получивших большое распространение в современной технике. Этот дополнительный материал написан А. П. Бессоным.

Введение новых государственных стандартов в машиностроении, разработка единой терминологии и унифицирование буквенных обозначений величин в теории механизмов и машин потребовали при научном редактировании настоящего издания Б. Н. Склядзевым внесения необходимых изменений в текст и рисунки, с сохранением стиля автора книги и его манеры изложения материала.

А. П. Бессонов, А. Н. Боголюбов, Н. И. Левитский

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

Настоящий учебник по курсу теории механизмов и машин имеет своей задачей сообщить студентам тот минимум сведений, который необходим им для сдачи экзамена по общей части курса, выполнения контрольных заданий и проекта или расчетно-графических работ.

В связи с тем, что фундаментально изменились основа курса и многие его разделы, он имеет новое название «Теория механизмов и машин». Такое название правильно отражает идею учебника, объединяющего изложение не только теории механизмов, но и основ современной теории машин.

Будучи ограничен объемом книги, автор не включил в нее исторические и литературно-библиографические обзоры, а также подробные литературные ссылки. Отметим только, что изложение всего материала следует установившимся традициям советской школы, и все основные разделы курса изложены или на основе личных разработок автора, или разработок его учеников и коллег по преподаванию.

При изложении некоторых новых разделов курса автору оказали непосредственную помощь, предоставив в его распоряжение необходимые материалы, его ученики О. Н. Левитская, А. Г. Овакимов, Д. Я. Ильинский, за что он приносит им свою глубокую благодарность. Соответствующие ссылки читатель найдет в тексте.

Автор выражает признательность также ряду коллег, принявших участие в просмотре рукописи. Особую благодарность автор выражает Н. И. Левитскому, В. А. Зиновьеву, Б. В. Эдельштейну, Н. В. Сперанскому и всем членам кафедры Московского ордена Ленина авиационного института им. С. Орджоникидзе, оказавшим большую помощь автору своими советами.

Автор благодарит также читателей, студентов, преподавателей и инженеров за многочисленные критические замечания, полученные им после выпуска в 1967 году курса «Теория механизмов».

И. И. Артоболевский