

ТЕОРИЯ
МЕХАНИЗМОВ
И МАШИН

 ТОНКИЕ
НАУКОЕМКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ

ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

Под общей редакцией
доктора технических наук, профессора П. Н. Учаева

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию
в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ)
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлениям
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных
производств», «Автоматизация технологических процессов и производств»

Старый Оскол
ТНТ
2019

Теория механизмов и машин : учебное пособие для вузов / [П. Н. Учаев и др.] ; под общ. ред. П. Н. Учаева. — Старый Оскол : ТНТ, 2019. — 295 с. : ил., табл. — Библиогр. : с. 290—295.

УДК 621.01(075.8)

ББК 34

Чит. зал №1 — 1 экз.

Изложены основы теории механизмов и машин, рассмотрены свойства типовых механизмов с низшими и высшими кинематическими парами, широко применяемых в самых различных машинах, приборах и устройствах. Сформулированы основополагающие задачи (проблемы) научно-образовательной дисциплины ТММ по совершенствованию механизмов, машин и машинных агрегатов. Показаны примеры решения прикладных задач с элементами оптимизации и автоматизацией инженерных расчётов в соответствии с предложенными алгоритмами.

Практически все основные положения иллюстрируются примерами и задачами, соответствующими темам практических и лабораторных занятий, а также курсового проектирования.

Материал учебника базируется на методах прикладной математики и физических законах, а также на гипотезах, теоремах и методах теоретической механики и способах выполнения иллюстраций на базе инженерной графики.

Учебник соответствует федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования и предназначен для студентов технических направлений вузов всех форм обучения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
Раздел I. ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ «ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН»	11
Глава 1. ЗНАЧЕНИЕ КУРСА «ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН» В ПОДГОТОВКЕ БАКАЛАВРА-МАШИНОСТРОИТЕЛЯ	11
1.1. Общие сведения о курсе ТММ	12
1.2. Предмет, цель, задачи, методы и содержание курса ТММ	13
1.3. Связь курса ТММ с другими дисциплинами	14
1.4. Связь дисциплины с профессиональной деятельностью	14
1.5. Компетентностная модель бакалавра	15
1.6. Основные допущения	16
1.7. Модульный принцип анализа и синтеза механизмов и машин	16
1.8. Основные этапы процессов анализа и синтеза механизмов	17
1.9. Краткие сведения об истории развития теории механизмов и машин как науки	17
Глава 2. ТИПЫ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН. ТРЕБОВАНИЯ К НИМ И ЗАДАЧИ ТММ	19
2.1. Типы механизмов	19
2.2. Понятие об анализе и синтезе механизма	20
2.3. Проблемы научно-образовательной дисциплины ТММ	22
2.4. Системный подход к проектированию механизмов	25
Раздел II. СТРУКТУРА И КИНЕМАТИКА МЕХАНИЗМОВ	27
Глава 3. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН. СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ МЕХАНИЗМОВ	27
3.1. Структурные составляющие механизмов	28
3.2. Кинематические пары и их классификация	28
3.3. Кинематические цепи и их классификация	31
3.4. Переход от кинематической цепи к механизму	31
3.5. Общая классификация и примеры механизмов	33
3.6. Структурная формула кинематических цепей и механизмов	34
3.7. Принципы структурной классификации плоских рычажных механизмов	35
3.8. Понятие о лишних степенях свободы, пассивных звеньях и об избыточных связях	38
3.9. Понятие о замене в плоских механизмах высших кинематических пар низшими	41
3.10. Цель, задача и основной принцип структурного анализа	42
3.11. Алгоритм структурного анализа	43
3.12. Структурный синтез механизмов	43
3.13. Общая классификация и последовательность решения задач структурного исследования механизмов	45

Глава 4. КИНЕМАТИКА МЕХАНИЗМОВ	47
4.1. Общие сведения	48
4.2. Кинематические характеристики	48
4.3. План механизма	48
4.4. Цель, задача и методы кинематического исследования	48
4.5. Алгоритм кинематического исследования	49
4.6. Аналитический метод кинематического исследования	49
4.7. Графоаналитический метод кинематического исследования	51
4.8. Построение плана скоростей	55
4.9. Построение плана ускорений	56
4.10. Графический метод кинематического исследования	59
4.11. Общая классификация и последовательность решения задач кинематического исследования механизмов	61
Раздел III. ДИНАМИКА МЕХАНИЗМОВ И МАШИННЫХ АГРЕГАТОВ	63
Глава 5. СИЛОВОЙ РАСЧЁТ МЕХАНИЗМОВ	63
5.1. Основные положения	64
5.2. Силы и моменты сил, действующие на звенья механизмов	64
5.3. Углы давления и передачи движения	66
5.4. Силы инерции и моменты сил инерции звеньев плоских механизмов ...	66
5.5. Реакции в кинематических парах	69
5.6. Принципы силового исследования механизмов. Структурная схема и алгоритм силового исследования рычажных механизмов	70
5.7. Силовой расчёт плоских рычажных механизмов графоаналитическим методом. Уравновешивающая сила. Теорема Н. Е. Жуковского	73
5.8. Силовой расчёт плоских рычажных механизмов аналитическим методом	78
5.9. Общая классификация и последовательность решения задач кинетостатики	80
Глава 6. ТРЕНИЕ И ИЗНАШИВАНИЕ В МЕХАНИЗМАХ И МАШИНАХ. КПД	82
6.1. Виды трения	82
6.2. Основные сведения и закономерности трения скольжения	82
6.3. Трение в поступательной кинематической паре. Самоторможение	84
6.4. Трение в винтовой кинематической паре	88
6.5. Трение в высшей кинематической паре	89
6.6. Трение во вращательной кинематической паре	91
6.7. Трение верчения	92
6.8. Механический КПД механизмов	92
6.9. Изнашивание в механизмах и машинах	93
Глава 7. ДИНАМИКА МЕХАНИЗМОВ	95
7.1. Режимы движения механизма и машинного агрегата	95
7.2. Динамические характеристики	97
7.3. Принципы решения задач динамики	98
7.4. Алгоритм динамического анализа	99

7.5. Динамические модели механизмов и их параметры	100
7.6. Неустановившееся движение механизма	102
7.7. Уравнения установившегося движения механизма	103
7.8. Решение нелинейных уравнений движения механизмов	105
7.9. Графоаналитическое исследование движения механизмов. Синтез маховика	106
7.10. Динамика механизмов с учётом упругости звеньев	110
Глава 8. ДИНАМИКА МАШИННОГО АГРЕГАТА	112
8.1. Общие сведения о машинном агрегате и его движении. Модели МА ...	112
8.2. Динамический анализ машинного агрегата	114
8.3. Динамический синтез машинного агрегата	117
8.4. Понятие о регулировании движения машинного агрегата	119
Глава 9. УРАВНОВЕШИВАНИЕ МАСС В МЕХАНИЗМАХ И МАШИНАХ ...	121
9.1. Цель, задачи и методы уравновешивания масс механизма	121
9.2. Уравновешивание роторов	123
9.3. Определение диапазона рабочих угловых скоростей роторов	123
9.4. Понятие о балансировке неуравновешенных роторов	126
9.5. Уравновешивание масс звеньев рычажных механизмов	126
Глава 10. ПОНЯТИЕ О ВИБРОАКТИВНОСТИ И ВИБРОЗАЩИТЕ МЕХАНИЗМОВ, МАШИН И ОПЕРАТОРА	130
10.1. Понятие о колебаниях и вибрации в механизмах и машинах	130
10.2. Связь между источниками колебаний и объектами виброзащиты ...	133
10.3. Принципы виброзащиты в технике	133
10.4. Способы виброгашения. Гасители колебаний	134
10.5. Способы виброизоляции	138
10.6. Виброзащита в системе человек-машина	139
10.7. Механизмы и машины для полезного использования вибрации	140
Раздел IV. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТИПОВЫХ МЕХАНИЗМОВ	142
Глава 11. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ О СИНТЕЗЕ МЕХАНИЗМОВ С ВЫСШИМИ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМИ	142
11.1. Типы и назначение механизмов с высшими кинематическими парами, их достоинства	142
11.2. Общие сведения о зубчатых колёсах и зубчатых механизмах	143
11.3. Цель, задачи и этапы геометрического синтеза. Основная теорема зацепления. Требования к профилю зубьев	145
11.4. Эвольвента окружности, её свойства и уравнение	147
11.5. Образование эвольвентных профилей. Синтез эвольвентного зацепления	148
11.6. Исходные теоретический и производящий контуры	149
11.7. Основы станочного зацепления. Способы изготовления зубчатых колёс и виды формообразующего инструмента	151
11.8. Задачи станочного зацепления	152
11.9. Подрезание и заострение зуба. Блокирующий контур	152

Глава 12. ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ЭВОЛЬВЕНТНЫЕ ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ	156
12.1. Классификация зубчатых механизмов	156
12.2. Понятие о рабочем зацеплении. Виды зацеплений	158
12.3. Геометрические параметры внешнего эвольвентного зацепления ...	159
12.4. Качественные показатели зубчатых передач	160
12.5. Кинематика зубчатых механизмов с параллельными осями	166
12.6. Силы в зацеплении прямозубых колёс	168
12.7. Косозубые передачи. Параметры и силы в зацеплении	169
12.8. Передачи М. Л. Новикова	173
Глава 13. КОНИЧЕСКИЕ ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ	176
13.1. Общие сведения о конических зубчатых передачах	176
13.2. Особенности геометрии конических колёс и передач	176
13.3. Особенности кинематики конической передачи	179
13.4. Особенности силового расчёта	180
13.5. Краткие сведения о гипоидных передачах	181
Глава 14. ПЛАНЕТАРНЫЕ И ВОЛНОВЫЕ ПЕРЕДАЧИ. ЦЕВОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ	183
14.1. Общие сведения о планетарных передачах	183
14.2. Геометрия и кинематика планетарных передач	186
14.3. Условия проектирования планетарных передач. Выбор чисел зубьев колёс	187
14.4. Силовой расчёт планетарных передач	187
14.5. КПД планетарного механизма	188
14.6. Планетарная передача типа К-h-V	188
14.7. Волновые передачи	189
14.8. Дифференциальные механизмы	190
14.9. Краткие сведения о цевочных механизмах	191
Глава 15. ЧЕРВЯЧНЫЕ И ВИНТОВЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ	193
15.1. Общие сведения о червячных передачах	193
15.2. Особенности геометрии червячной передачи и её деталей	194
15.3. Особенности кинематики червячных передач. Скольжение в зацеплении	196
15.4. КПД червячной передачи	197
15.5. Силы, действующие в червячном зацеплении	197
15.6. Достоинства и недостатки червячных передач	198
15.7. Глобоидные передачи	198
15.8. Винтовые цилиндрические передачи	199
Глава 16. КУЛАЧКОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ	200
16.1. Общие сведения о кулачковых механизмах	200
16.2. Параметры и качественные характеристики кулачковых механизмов	203

16.3. Синтез кулачковых механизмов	209
16.4. Определение основных размеров кулачковых механизмов	211
16.5. Динамика кулачкового механизма с учётом упругости звеньев	214
16.6. Пример проектирования кулачкового механизма	215
Раздел V. ОПТИМИЗАЦИЯ. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ	216
Глава 17. ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ	216
17.1. Общие сведения. Уровни оптимизации инженерных решений	217
17.2. Последовательность решения оптимизационных задач	217
17.3. Критерии оптимальности и целевые функции	219
17.4. Понятие об ограничениях на входные и выходные параметры механизмов	220
17.5. Примеры и задачи теории механизмов и машин с элементами оптимизации	220
Глава 18. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ МЕХАНИЗМОВ	226
18.1. Понятие о системе автоматизированного проектирования механизмов и машин	227
18.2. Формирование математических и экономико-математических моделей и вычислительных алгоритмов	228
18.3. Общие сведения о возможностях программных модулей систем для анализа и синтеза	231
18.4. Понятие о моделировании при анализе и синтезе механизмов	231
18.5. Способы задания исходных данных при автоматизированном проектировании механизмов и машин	232
18.6. Способы автоматизированного ввода параметров механизма	233
18.7. Составление программ для реализации задач ТММ на ЭВМ	233
Раздел VI. ПОНЯТИЕ О РОБОТОТЕХНИКЕ И МЕХАТРОНИКЕ	238
Глава 19. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МАНИПУЛЯТОРАХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТАХ	238
19.1. Понятие о манипуляторах	238
19.2. Манипуляционные роботы	242
Глава 20. МЕХАТРОНИКА. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ, МАШИНАМИ И КОМПЛЕКСАМИ МАШИН	246
20.1. Понятие о мехатронике	246
20.2. Введение в теорию машин-автоматов	247
20.3. Основные понятия об алгоритмах управления	247
20.4. Управляющие устройства	247
20.5. Системы автоматического управления и регулирования	248
20.6. Системы управления с помощью распределительных валов, командоаппаратов и копиров	248
20.7. Системы числового программного управления	249

20.8. Системы управления по времени и по пути	250
20.9. Системы управления роботами и автоматическими манипуляторами	253
20.10. Комплексы автоматизированных машин в системах гибкого автоматизированного производства	254
Раздел VII. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ	255
Глава 21. МЕХАНИЗМЫ С ПРЕРЫВИСТЫМ ДВИЖЕНИЕМ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА. САМОНАСТРАИВАЮЩИЕСЯ, САМОУПРАВЛЯЕМЫЕ И САМОЗАТЯГИВАЮЩИЕСЯ МЕХАНИЗМЫ	255
21.1. Механизмы с прерывистым движением выходного звена	255
21.2. Краткие сведения о синтезе мальтийских механизмов	258
21.3. Понятие о самоустанавливающимися, самонастраивающимся, самоуправляемых и самозатягивающимся механизмах	260
Глава 22. ПОНЯТИЕ О ПЕРЕДАЧАХ С ГИБКОЙ СВЯЗЬЮ	264
22.1. Устройство и классификация передач гибкой связью	264
22.2. Общие сведения о ремённых передачах	265
22.3. Общие сведения о цепных передачах	265
22.4. Равновесие нерастяжимой нити на цилиндрической поверхности ...	266
Глава 23. ПОНЯТИЕ О ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ПНЕВМАТИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМАХ	270
23.1. Особенности структуры гидравлических механизмов	270
23.2. Управление движения гидравлического механизма	272
23.3. Особенности синтеза гидравлических механизмов	273
23.4. Понятие о структуре и синтезе пневматических механизмов	274
ПРИЛОЖЕНИЯ	275
Приложение А. Величины ТММ, их условное обозначение, размерность и единицы	276
Приложение Б. Кинематическое исследование кулисного механизма	278
Приложение В. Графическое дифференцирование и интегрирование	283
Приложение Г. Синтез маховика	285
Приложение Д. Синтез кулачкового механизма	286
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	288
ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СТАНДАРТОВ (с сокращением)	289
ИМЕННОЙ И ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	290
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	294