

УДК 531.8(075.8)
ББК 34.42
Ч-45

Издание доступно в электронном виде по адресу
ebooks.bmstu.ru/catalog/225/book1869.html

Рецензенты:

заведующий кафедрой «Теория механизмов и машин» СПбПУ им. Петра Великого
д-р техн. наук, профессор *А.Н. Евграфов*;
доцент кафедры «Основы конструирования машин» МГТУ им. Н.Э. Баумана
канд. техн. наук *В.В. Лычагин*

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

Чёрная, Л. А.

Ч-45 Теория механизмов и машин. Курсовое проектирование : учебное пособие / Л. А. Чёрная, Г. А. Тимофеев. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — 172, [4] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4939-2

В краткой форме изложены основные разделы дисциплины «Теория механизмов и машин», охватывающие структурный анализ и метрический синтез механизмов, их кинематическое и динамическое исследования, синтез зубчатых зацеплений и проектирование планетарных и кулачковых механизмов, позволяющие разработать алгоритмы как графоаналитического, так и численного их исследования. Приведены примеры выполнения листов курсового проекта с использованием математического пакета Mathcad и графических пакетов AutoCAD и «Компас».

Содержание учебного пособия соответствует курсу лекций, читаемому в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов 3-го курса машиностроительных специальностей, выполняющих курсовой проект (курсовую работу) по дисциплине «Теория механизмов и машин».

УДК 531.8(075.8)
ББК 34.42

ISBN 978-5-7038-4939-2

© Чёрная Л. А., Тимофеев Г. А., 2019
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Часть I. СИНТЕЗ И АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ С НИЗШИМИ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМИ	5
Раздел 1. Метрический синтез плоских рычажных механизмов	7
1.1. Постановка задачи синтеза	7
1.2. Кривошипно-ползунные механизмы	8
1.2.1. Типы и особенности кривошипно-ползунных механизмов	8
1.2.2. Синтез механизма по двум заданным положениям кривошипа и ходу ползуна	9
1.2.3. Синтез механизма по средней скорости движения ползуна и по заданному углу давления	10
1.3. Четырехшарнирные механизмы	11
1.3.1. Типы и особенности четырехшарнирных механизмов	11
1.3.2. Определение длин звеньев по двум крайним положениям механизма	11
1.3.3. Определение длин звеньев по двум крайним положениям механизма и коэффициенту изменения средней угловой скорости коромысла	12
1.3.4. Определение длин звеньев по трем положениям механизма	13
1.4. Четырехзвенные кулисные механизмы	14
1.4.1. Типы и особенности четырехзвенных кулисных механизмов	14
1.4.2. Синтез механизма с качающейся кулисой	14
1.4.3. Синтез механизма с качающимся цилиндром	15
1.5. Шестизвенные механизмы	16
1.5.1. Расчет координаты направляющей ползуна по заданному углу давления	16
1.5.2. Синтез механизма по ходу ползуна и коэффициенту изменения его средней скорости	17
1.5.3. Синтез механизма с вращающейся кулисой	17
Раздел 2. Структурный и кинематический анализ плоских рычажных механизмов	19
2.1. Структурный анализ механизма	19
2.2. Кинематический анализ механизма	20
2.2.1. Постановка задачи кинематического анализа	20
2.2.2. Геометрические характеристики преобразования движения в механизме	20
2.2.3. Кинематика входного звена механизма	22
2.2.4. Метод векторных контуров в кинематике механизмов	22
Раздел 3. Анализ движения машины под действием заданных сил	25
3.1. Анализ сил, действующих в машине	25
3.2. Механические характеристики двигателей	25
3.3. Механические характеристики рабочих процессов	29
3.4. Аппроксимация и интерполяция данных в системе Mathcad	30
3.5. Уравнения движения и динамическая модель машины	31
3.5.1. Уравнение Лагранжа. Динамическая модель машины	31
3.5.2. Уравнение движения в дифференциальной форме	33

3.5.3. Характерные режимы движения машины	34
3.5.4. Уравнение движения в интегральной форме	35
3.6. Динамика машины в установившемся режиме движения	36
3.6.1. Условия поддержания установившегося движения	36
3.6.2. Расчет постоянного приведенного момента сил	37
3.6.3. Ограничение периодической неравномерности хода машины	38
3.6.3.1. Метод Мерцалова	38
3.6.3.2. Альтернативный метод расчета приведенного момента инерции первой группы звеньев	41
3.6.4. Определение момента инерции дополнительной маховой массы (маховика)	42
3.6.5. Габаритные размеры и масса маховика	42
3.7. Динамика машины в неустановившемся режиме движения	43
3.7.1. Постановка задачи динамики машины при неустановившемся движении	43
3.7.2. Исследование на базе уравнения движения в интегральной форме	44
3.7.3. Исследование на базе уравнения движения в дифференциальной форме	45
3.7.4. Численное интегрирование обыкновенного дифференциального уравнения в системе Mathcad	46
3.7.5. Режим движения «пуск-останов»	48
Выводы	50
Раздел 4. Кинетостатический силовой анализ механизма	51
4.1. Постановка задачи силового анализа	51
4.2. Принцип Даламбера в силовом расчете механизмов	52
4.3. Формирование алгоритма кинетостатического силового расчета по группам	53
4.3.1. Формальные правила и алгоритм расчета	53
4.3.2. Группа Ассура $II_{ВВВ}(2, 3)$	54
4.3.3. Группа Ассура $II_{ВВП}(2, 3)$	55
4.3.4. Группа Ассура $II_{ВПВ}(2, 3)$	57
4.3.5. Группа Ассура $II_{ПВП}(2, 3)$	59
4.3.6. Группа Ассура $II_{ВПП}(2, 3)$	61
4.3.7. Первичный механизм $I_B(0, 1)$	63
Выводы	64
Часть II. СИНТЕЗ МЕХАНИЗМОВ С ВЫСШИМИ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМИ	65
Раздел 5. Синтез трехзвенных плоских зубчатых зацеплений	67
5.1. Виды зубчатых передач и их свойства	67
5.2. Исходный производящий контур инструмента и станочное зацепление	68
5.3. Геометрический расчет прямозубой эвольвентной передачи	70
5.3.1. Расчет передачи при свободном выборе межосевого расстояния	70
5.3.2. Расчет передачи с заданным межосевым расстоянием	71
5.4. Геометрический расчет косозубой эвольвентной передачи	72
5.4.1. Расчет передачи при свободном выборе межосевого расстояния	72
5.4.2. Расчет передачи с заданным межосевым расстоянием	74
5.5. Условия существования и качественные показатели передачи	74
5.6. Выбор коэффициентов смещения	80
5.7. Построение профиля зуба прямозубого колеса, изготавливаемого реечным инструментом	82
5.8. Построение рабочего зацепления	83
5.9. Расчет профиля зуба цилиндрического зубчатого колеса, нарезанного инструментом реечного типа	84
5.9.1. Вывод уравнения эвольвентной части профиля зуба	84
5.9.2. Вывод уравнения переходной кривой профиля колеса	85
Раздел 6. Проектирование планетарных зубчатых механизмов с цилиндрическими колесами	87
6.1. Основные характеристики	87
6.2. Общие условия кинематического синтеза	89
6.3. Методика проведения кинематического синтеза	91
6.4. Критерии оптимальности	93

Раздел 7. Проектирование кулачковых механизмов	96
7.1. Задачи проектирования	96
7.2. Выбор закона движения толкателя и построение кинематических диаграмм	97
7.3. Метрический синтез кулачкового механизма	102
7.3.1. Связь угла давления с характеристиками движения и параметрами механизма	102
7.3.2. Механизм с поступательно перемещающимся толкателем	104
7.3.3. Механизм с качающимся толкателем	106
7.4. Кинематический синтез кулачкового механизма	109
Выводы	111
Приложение 1. Метрический синтез плоских рычажных механизмов	112
П1.1. Проектирование кривошипно-ползунного механизма по двум заданным положениям кривошипа и ходу ползуна	112
П1.2. Определение длин звеньев четырехшарнирного механизма по двум его крайним положениям	112
П1.3. Определение длин звеньев по двум крайним положениям механизма и коэффициенту изменения средней угловой скорости коромысла	113
П1.4. Определение длин звеньев по трем положениям механизма	113
П1.5. Проектирование механизма с качающимся цилиндром	114
Приложение 2. Проектирование механизма четырехтактного двигателя внутреннего сгорания	117
П2.1. Метрический синтез механизма	117
П2.2. Кинематический анализ механизма	118
П2.3. Определение сил, действующих в механизме	119
П2.4. Определение параметров динамической модели	121
П2.5. Решение задачи динамики	121
П2.6. Кинетостатический силовой анализ механизма	123
Приложение 3. Проектирование механизма строгального станка	127
П3.1. Метрический синтез механизма	128
П3.2. Кинематический анализ механизма	128
П3.3. Определение сил, действующих в механизме	130
П3.4. Определение параметров динамической модели	131
П3.5. Решение задачи динамики	132
П3.6. Кинетостатический силовой анализ механизма	133
Приложение 4. Проектирование механизма прессы	137
П4.1. Метрический синтез механизма	137
П4.2. Кинематический анализ механизма	137
П4.3. Определение сил, действующих в механизме	138
П4.4. Определение параметров динамической модели	139
П4.5. Решение задачи динамики с учетом механической характеристики двигателя	140
П4.6. Решение задачи динамики без учета механической характеристики двигателя	141
Приложение 5. Проектирование механизма пневмоцилиндра	143
П5.1. Метрический синтез механизма	143
П5.2. Кинематический анализ механизма	143
П5.3. Определение параметров динамической модели	145
П5.4. Решение задачи динамики	146
П5.5. Кинетостатический силовой анализ механизма	147
Приложение 6. Синтез кулачковых механизмов	149
П6.1. Фазовые углы	149
П6.2. Кинематические диаграммы	149
П6.3. Кинематические функции контактной точки толкателя	150
П6.4. Расчет основных параметров механизма с поступательно перемещающимся толкателем	150
П6.4.1. Геометрическая интерпретация формулы угла давления	150
П6.4.2. Приближенный расчет основных параметров	151
П6.4.3. Точный расчет основных параметров	151
П6.4.4. График угла давления	152
П6.4.5. Построение профиля кулачка	153

П6.5. Расчет основных параметров механизма с качающимся толкателем	153
П6.5.1. Расчет координат центра вращения кулачка. Метод «линии уровня»	153
П6.5.2. Геометрическая интерпретация формулы угла давления	154
П6.5.3. График угла давления	154
Приложение 7. Примеры выполнения листов курсового проекта	156
Литература	169