

УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ  
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Ю. Ф. ЛАЧУГА, А. М. БАУСОВ,  
А. Н. ВОСКРЕСЕНСКИЙ, А. М. АБАЛИХИН

# **ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН**

## **Анализ, синтез, расчет**

Под редакцией академика РАН, доктора технических наук,  
профессора Ю. Ф. ЛАЧУГИ

3-е ИЗДАНИЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
вузов Российской Федерации по сельскому, лесному и  
рыбному хозяйству в качестве учебника для студентов,  
осваивающих образовательные программы бакалавриата  
по направлению подготовки «Агроинженерия»

Москва 2020

УДК 621.01(075.8)  
ББК 34.41я73  
ЛЗ1

Редактор *Г. М. Микая*

Рецензент академик РАН, доктор технических наук, профессор  
**В. В. Бледных** (Челябинская государственная агроинженерная академия)

**ЛЗ1 Лачуга Ю.Ф.** и др.  
Теория механизмов и машин. Анализ, синтез, расчет / Ю. Ф. Лачуга, А. М. Баусов, А. Н. Воскресенский, А. М. Абалихин. – 3-е изд. – М.: "ИКЦ Колос-с", 2020. – 416 с.: ил. – (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).

ISBN 978-5-00129-113-8

Изложены основы структурного и кинематического анализа, синтеза и динамики механизмов и машин. Рассмотрены силовой расчет плоских рычажных механизмов и решение задачи регулирования хода машинного агрегата. Предложено несколько вариантов заданий для курсового проекта с методическими указаниями по его выполнению. Приведены требования к оформлению курсового проекта в соответствии с действующими стандартами. В приложении дан пример выполнения курсового проекта.

Для студентов вузов по агроинженерным специальностям.

УДК 621.01(075.8)  
ББК 34.41я73

ISBN 978-5-00129-113-8

© Коллектив авторов, 2015  
© ООО "Издательско-книготорговый центр  
Колос-с", 2015

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Введение.....	4
<b>Глава 1. Структурный анализ и классификация плоских шарнирно-рычажных механизмов.....</b>	<b>7</b>
1.1. Основные понятия и определения.....	7
1.2. Классификация кинематических пар.....	7
1.3. Виды кинематических цепей.....	11
1.4. Структура плоских кинематических цепей и плоских механизмов.....	12
1.5. Классификация плоских механизмов.....	13
1.6. Замена высших кинематических пар низшими.....	16
1.7. Пассивные связи и лишние степени свободы.....	18
1.8. Порядок выполнения структурного анализа плоских механизмов.....	20
<b>Глава 2. Графоаналитические методы кинематического анализа плоских механизмов с низшими парами.....</b>	<b>26</b>
2.1. Задачи и методы кинематического анализа.....	26
2.2. О масштабных коэффициентах.....	27
2.3. Метод планов.....	27
2.4. Примеры построения планов скоростей и ускорений.....	33
2.5. Кинематический анализ методом диаграмм.....	43
2.6. Аналитические методы кинематического анализа плоских рычажных механизмов.....	50
<b>Глава 3. Кинематическое исследование плоских рычажных механизмов аналитическим методом.....</b>	<b>59</b>
3.1. Понятия о передаточных функциях и аналогах скоростей и ускорений.....	59
3.2. Механизм шарнирного четырехзвенника.....	61
3.2.1. Решение задачи о положениях звеньев.....	61
3.2.2. Определение угловых скоростей, ускорений звеньев, скоростей и ускорений отдельных точек звеньев.....	64
3.2.3. Пример расчета.....	66

3.3. Кривошипно-ползунный механизм .....	71
3.3.1. Определение скорости и ускорения точки <i>N</i> шатуна .....	72
3.3.2. Пример расчета .....	73
3.4. Кулисный механизм .....	77

#### **Глава 4. Проектирование плоских шарнирных механизмов .....** 82

4.1. Общие сведения .....	82
4.2. Условия существования кривошипа. Теорема Грасгофа .....	84
4.3. Примеры проектирования механизма шарнирного четырёхзвенника при некоторых заданных условиях .....	87
4.4. Проектирование кривошипно-ползунного механизма в зависимости от заданных условий .....	89
4.5. Проектирование коромыслово-ползунного механизма .....	92
4.6. Проектирование кривошипно-кулисного механизма с качающейся кулисой .....	93

#### **Глава 5. Исследование и проектирование плоских кулачковых механизмов .....** 95

5.1. Основные понятия и определения .....	95
5.2. Метод обращенного движения .....	96
5.3. Кинематический анализ плоских кулачковых механизмов методом диаграмм .....	97
5.4. Кинематический анализ плоских кулачковых механизмов методом планов скоростей и ускорений .....	102
5.5. Исходные данные для синтеза кулачковых механизмов .....	104
5.6. Законы движения толкателя .....	106
5.7. Угол давления и угол передачи движения в кулачковых механизмах .....	109
5.8. Построение кинематических диаграмм движения толкателя. Масштабные коэффициенты диаграмм .....	113
5.9. Динамический синтез кулачковых механизмов .....	116
5.10. Построение профиля кулачка .....	121

#### **Глава 6. Кинематический анализ и синтез зубчатых механизмов .....** 127

6.1. Основные определения .....	127
6.2. Аналитический метод кинематического анализа сложных зубчатых механизмов .....	128
6.3. Графический метод кинематического анализа зубчатых механизмов .....	134
6.4. Проектирование планетарных механизмов .....	138
6.4.1. Однорядный планетарный механизм (редуктор Джемса) .....	140
6.4.2. Подбор числа зубьев двухрядного планетарного механизма с внешним и внутренним зацеплениями .....	142

6.4.3. Подбор числа зубьев двухрядного планетарного механизма с двумя внешними зацеплениями (редуктор Давида) .....	145
6.4.4. Подбор числа зубьев колес двухрядного механизма с двумя внутренними зацеплениями (редуктор Давида) .....	147

## **Глава 7. Основы теории зацепления. Проектирование эвольвентной зубчатой передачи .....**

7.1. Основная теорема зацепления .....	149
7.2. Основные элементы цилиндрических нормальных колес .....	152
7.3. Эвольвента окружности .....	153
7.4. Эвольвентное зацепление. Линия зацепления. Угол зацепления .....	155
7.5. Сопряженные точки .....	156
7.6. Скольжение одних зубьев по другим .....	157
7.7. Коэффициенты удельных скольжений .....	158
7.8. Дуга зацепления. Коэффициент перекрытия .....	160
7.9. Явление заклинивания .....	161
7.10. Краткие сведения об изготовлении зубчатых колес .....	162
7.11. Явление подрезания зубьев .....	165
7.12. Рекомендации по выбору коэффициентов смещения. Виды исправленных передач .....	166
7.13. Проектирование эвольвентной прямозубой передачи с внешним зацеплением .....	167
7.14. Порядок вычерчивания зубчатой передачи .....	171

## **Глава 8. Кинематика некоторых пространственных механизмов с низшими парами .....**

8.1. Сферические механизмы .....	174
8.2. Универсальный шарнир .....	175
8.3. Двойной универсальный шарнир .....	178
8.4. Карданные передачи .....	179

## **Глава 9 Силовой анализ рычажных механизмов .....**

9.1. Классификация сил, действующих в машине .....	181
9.2. Определение сил инерции звеньев .....	182
9.2.1. Поступательное движение звена .....	182
9.2.2. Вращательное движение звена .....	183
9.2.3. Плоскопараллельное движение звена .....	184
9.3. Индикаторные диаграммы .....	186
9.3.1. Индикаторная диаграмма четырехтактного двигателя внутреннего сгорания .....	186

9.3.2. Индикаторная диаграмма двухтактного двигателя внутреннего сгорания .....	189
9.3.3. Индикаторная диаграмма двухступенчатого компрессора .....	190
9.3.4. Диаграмма сил полезного сопротивления строгального и долбежного станков .....	192
9.4. Условие статической определимости плоской кинематической цепи .....	193
9.5. Кинетостатика ведущего звена .....	194
9.6. Силовой расчет структурных групп II класса .....	195
9.6.1. Общие сведения .....	195
9.6.2. Двухповодковая группа (диада) первого вида (ВВВ) .....	196
9.6.3. Двухповодковая группа второго вида (ВВП) .....	198
9.6.4. Двухповодковая группа третьего вида (ВПП) .....	200
9.6.5. Двухповодковая группа четвертого вида (ПВП) .....	203
9.6.6. Двухповодковая группа пятого вида (ВПП) .....	204
9.7. Силовой расчет кривошипа .....	205
9.8. Определение уравнивающей силы методом Жуковского (рычаг Жуковского) .....	206
9.9. Рекомендуемая последовательность силового анализа механизмов .....	208
9.10. Примеры силового расчета механизмов с низшими кинематическими парами .....	209
9.11. Силовой расчет плоских рычажных механизмов с учетом сил трения .....	221

## **Глава 10. Трение в механизмах и машинах .....**

10.1. Виды трения .....	224
10.2. Законы сухого трения .....	225
10.3. Трение на горизонтальной плоскости .....	226
10.4. Трение на наклонной плоскости .....	229
10.5. Трение ползуна в клиновидной направляющей .....	231
10.6. Силы трения скольжения во вращательной паре .....	232
10.7. Круг трения .....	235
10.8. Трение на кольцевой поверхности .....	236
10.9. Трение в винтовой кинематической паре .....	237
10.10. Трение гибких звеньев. Формула Эйлера .....	239
10.11. Примеры задач .....	240
10.12. Трение качения .....	244
10.13. Передвижение груза по каткам .....	245
10.14. Передвижение грузов на колесах .....	246
10.15. Жидкостное трение .....	248
10.16. Механический коэффициент полезного действия .....	251
10.16.1. Последовательное соединение механизмов .....	252
10.16.2. Параллельное соединение механизмов .....	253
10.16.3. Смешанное соединение механизмов .....	254

<b>Глава 11. Уравновешивание сил инерции вращающихся масс.</b>	
<b>Краткие сведения о балансировке вращающихся тел.....</b>	<b>256</b>
11.1. Общие положения .....	256
11.2. Условия уравновешенности масс, вращающихся вокруг неподвижной оси.....	256
11.3. Примеры статического и динамического уравновешивания звеньев.....	258
11.3.1. Статическое уравновешивание одной массы .....	258
11.3.2. Уравновешивание коленчатого вала двигателя.....	259
11.3.3. Уравновешивание вращающихся масс, расположенных в одной плоскости.....	260
11.3.4. Статическое уравновешивание нескольких масс, вращающихся в различных плоскостях.....	261
11.3.5. Полное уравновешивание масс, вращающихся в различных плоскостях .....	263
11.4. Краткие сведения о статической и динамической балансировке вращающихся тел.....	265
11.4.1. Статическая балансировка .....	265
11.4.2. Динамическая балансировка.....	266
<b>Глава 12. Уравновешивание плоских механизмов .....</b>	<b>270</b>
12.1. Условия уравновешивания масс механизма .....	270
12.2. Метод замещающих масс .....	271
12.3. Примеры статического уравновешивания механизмов.....	272
12.4. Статическое уравновешивание масс кривошипно-ползунного механизма.....	274
12.5. Примеры уравновешивания кривошипно-ползунных механизмов.....	277
12.6. Уравновешивание рядных двигателей .....	279
<b>Глава 13. Краткие сведения о промышленных роботах и манипуляторах.....</b>	<b>285</b>
13.1. Основные определения .....	285
13.2. Виды манипуляторов и промышленных роботов. Структура промышленных роботов .....	286
13.3. Технические показатели манипуляторов .....	288
13.4. О системах управления манипуляторами.....	289
<b>Глава 14. Задача регулирования хода машинного агрегата.....</b>	<b>292</b>
14.1. Характеристика машинного агрегата.....	292
14.2. Приведение сил и масс .....	295
14.3. Регулирование скорости звена приведения .....	298
14.4. Определение момента инерции маховика по методу Виттенбауэра.....	300
14.5. Конструирование маховика.....	302

<b>Глава 15. Задания для курсового проекта</b> .....	308
15.1. Содержание курсового проекта .....	308
15.2. Темы курсового проекта с исходными данными .....	312
<b>Глава 16. Методические указания к оформлению курсового проекта</b> .....	363
16.1. Цели курсового проектирования .....	363
16.2. Содержание курсового проекта .....	363
16.3. Общие требования к оформлению курсового проекта .....	364
<b>Приложение. Пример выполнения курсового проекта</b> .....	370
Содержание .....	372
Реферат (аннотация) .....	372
I. Синтез, структурный и кинематический анализ рычажного механизма прошивного пресса (Лист 1) .....	373
I.1. Исходные данные .....	373
I.2. Синтез рычажного механизма пресса .....	374
I.3. Структурный анализ механизма .....	374
I.4. Построение планов положений механизма .....	375
I.5. Построение планов скоростей .....	375
I.6. Построение годографа скорости .....	378
I.7. Построение планов ускорений .....	378
I.8. Построение кинематических диаграмм пунсона .....	382
II. Силовой (кинетостатический) расчет рычажного механизма прошивного пресса (Лист 2) .....	383
II.1. Исходные данные .....	383
II.2. Построение планов скоростей и ускорений .....	384
II.3. Расчет сил, действующих на звенья .....	385
II.4. Силовой расчет структурных групп .....	386
II.5. Силовой расчет кривошипа .....	387
II.6. Определение уравновешивающей силы методом Жуковского (рычаг Жуковского) .....	388
III. Проектирование кулачкового механизма (Лист 3) .....	389
III.1. Исходные данные .....	389
III.2. Построение кинематических диаграмм движения толкателя .....	389
III.3. Определение минимального радиуса теоретического (центрового) профиля кулачка .....	391
III.4. Построение профиля кулачка .....	392
IV. Расчет маховика методом Виттенбауэра (Лист 4) .....	393
IV.1. Исходные данные .....	393
IV.2. Последовательность построения диаграммы Виттенбауэра .....	393



IV.3. Определение момента инерции маховика по диаграмме Виттенбауэра .....	397
IV.4. Проектирование маховика .....	397
V. Расчет планетарного редуктора (Лист 5) .....	398
V.1. Исходные данные .....	398
V.2. Условия проектирования .....	399
V.3. Подбор числа зубьев .....	399
VI. Проектирование эвольвентного прямозубого зацепления (Лист 5) .....	400
Литература .....	409

Учебное издание

**Лачуга Юрий Федорович**  
**Баусов Алексей Михайлович**  
**Воскресенский Александр Николаевич**  
**Абалихин Антон Михайлович**

## **Теория механизмов и машин. Анализ, синтез, расчет**

**Учебник для вузов**

Художественный редактор *В. А. Чуракова*  
 Компьютерная верстка *Р. Ю. Волкова*  
 Компьютерная графика *Л. М. Асеева*  
 Корректор *В. А. Волков*

Подписано в печать 25.02.2020. Формат 60 × 90/16. Усл. печ. л. 26. Уч.-изд. л. 26,17.  
 Тираж 1300 экз.

ООО «Издательско-книготорговый центр Колос-с»  
 115193, г. Москва, ул. Петра Романова, д. 12. Телефон (495) 139-80-81  
 E-mail: izdat@kolos-s.com

