



И. В. Богомаз

МЕХАНИКА

И. В. Богомаз

# МЕХАНИКА

Учебное  
пособие

УМО

ИНСТИТУТ АРХИТЕКТУРЫ И ДИЗАЙНА  
ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

АРХИТЕКТУРА

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Сибирский федеральный университет

**И. В. Богомаз**

# **МЕХАНИКА**

Допущено УМО вузов РФ по образованию в области архитектуры  
в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по на-  
правлению «Архитектура», 21.04.2010

Красноярск  
СФУ  
2012

УДК 539/6075.8  
ББК 30.121я73  
Б743

Рецензенты:

В. А. Смирнов, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Высшая математика и строительная механика» МАРХИ;

А. И. Слабуха, канд. архит., проф., советник Российской академии архитектуры и строительных наук, зав. кафедрой «Градостроительство» Сибирского федерального университета.

**Богомаз, И. В.**  
Б743      Механика: учеб. пособие / И. В. Богомаз. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 346 с.  
ISBN 978-5-7638-2178-9

В учебном пособии изложены основные понятия механики, подробно рассмотрены правила и теоремы из разделов теоретической механики «Статика», «Кинематика», «Динамика», приведены примеры решения задач. Дан краткий обзор теории курса «Сопроотивление материалов», определены подходы и методы расчета напряженно-деформированного состояния, рассмотрены примеры типовых расчетов на прочность и жесткость, устойчивость элементов конструкций при растяжении (сжатии) и плоском изгибе, внецентренное сжатие, устойчивость.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки специалистов 270100 «Архитектура».

**УДК 539/6075.8**  
**ББК 30.121я73**

ISBN 978-5-7638-2178-9

© Сибирский федеральный университет, 2012  
© Богомаз И. В., 2012

*Посвящается светлой памяти Богомаз Валерия Владимировича,  
моего брата, наставника, друга,  
талантливого инженера, организатора, строителя*

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

МЕХАНИКА – это раздел физики, в котором изучается состояние тел под действием внешних сил. Механика охватывает очень широкий круг вопросов; в ней рассматриваются объекты от галактик и систем галактик до мельчайших, элементарных частиц вещества. В этих пределах рассматриваемые объекты представляют чисто научный интерес. Но предметом механики является также проектирование строений, мостов и механизмов. Этот раздел механики обычно называют прикладной механикой, основные положения которой рассмотрим в этом учебном пособии.

Современные производства требуют принципиально новых технических, технологических и организационно-управленческих подходов, которые могут разрабатывать только специалисты, способные интегрировать идеи из различных областей знаний, оперировать междисциплинарными категориями, комплексно воспринимать инновационные процессы. Важная роль в формировании этих интегративных качеств принадлежит фундаментальной области знаний, к которой относится механика. Круг решаемых в механике задач охватывает почти все сферы архитектурно-инженерных расчетов: прочность, колебания, устойчивость, динамику и т. д.

При изучении механики деформируемого твердого тела, начиная с работ С. П. Тимошенко (1878–1972), принято идти от частного к общему, от инженерной задачи к простой и наглядной математической модели, допускающей широкие обобщения. Такая последовательность изучения материала способствует развитию инженерной интуиции.

Выпускник вуза, архитектор, инженер-строитель, должен уметь не только проектировать современные архитектурные объекты, отстаивая свою точку зрения, но и принимать самостоятельное решение, полностью отвечать за результаты своего труда. Нетрудно представить себе последствия проектной деятельности инженера, не умеющего анализировать полученные с помощью компьютерных технологий результаты расчетов.

Автор поставил перед собой трудную задачу, пытаясь совместить в рамках одного относительно небольшого пособия классические учебные курсы по теоретической механике и сопротивлению материалов, без знания основ которых немислимо изучать основы строительной механики. Причиной, побудившей автора к созданию этого пособия, является то обстоятельство, что в последнее десятилетие наблюдается существенное различие в уровнях общей физико-математической подготовки абитуриентов. В связи с этим автор уделит большое внимание вопросам методологии изложения материала. Учитывая ориентацию пособия на тех, кто не имеет профильной естественнонаучной подготовки, автор использовал подход «от иллюстрации явления, частного к теории». Автор пособия старался написать его легким языком, с большим количеством иллюстраций.

При написании пособия автор использовал методологию изучения курса сопротивления материалов, сформированную основателем кафедры «Техническая механика» Красноярского инженерно-строительного института канд. техн. наук, доц. Герстенбергером Виктором Эдгаровичем. В пособии при изложении разделов механики деформируемого твердого тела использовался теоретический материал из учебных пособий [6, 7]. Автор выражает искреннюю благодарность чл.-кор. РААСН, д-ру техн. наук, проф. Льву Васильевичу Енджиевскому и эксперту УМО по прикладной механике Сибирского регионального методического центра, директору СКТБ «Наука» СО РАН, д-ру техн. наук, проф. Владимиру Викторовичу Москвичеву за поддержку, доброжелательную критику, ценные замечания и помощь при подготовке рукописи.

Автор благодарит канд. пед. наук, доц. Тамару Петровну Мартынову и канд. техн. наук Елену Анатольевну Чабан за помощь в подготовке данного пособия.

## ВВЕДЕНИЕ

### Из истории механики

Зарождение знаний о механике относится к глубокой древности. В эпоху неолита появилось колесо, чуть позже начали применять рычаг и наклонную плоскость. Регулярное использование рычага и наклонной плоскости начинается в связи со строительными работами в древневосточных государствах. Все это время шел процесс выработки, осознания ряда более или менее абстрактных понятий таких, как сила, сопротивление, перемещение, скорость.

До современников дошли великолепные архитектурные сооружения, которые современники называли чудесами света: пирамиды Египта (египетские пирамиды), Александрийский маяк, Висячие сады Вавилона, храм Артемиды, статуя Зевса, Мавзолей в Геликарнасе, Колосс Родосский.

К крупным пирамидам относятся египетские пирамиды и пирамиды доколумбовых культур (ацтеки, майя, Теучитлан) в Латинской Америке (рис. 1).



Рис. 1

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие .....</b>	<b>3</b>
<b>Введение .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Основные определения из математики .....</b>	<b>38</b>
1.1. Прямоугольная декартова система координат .....	38
1.2. Понятие об абсолютно твердом теле и его степенях свободы .....	40
1.3. Элементы тригонометрии .....	44
1.4. Векторы .....	45
1.5. Инерциальная система отсчета .....	50
<b>2. Статика.....</b>	<b>53</b>
2.1. Аксиомы статики .....	53
2.2. Теорема о переносе вектора силы вдоль линии действия .....	64
<b>3. Система параллельных сил .....</b>	<b>66</b>
3.1. Приведение к равнодействующей системы параллельных сил, направленных в одну сторону .....	66
3.2. Приведение к равнодействующей двух сил, направленных в разные стороны .....	69
3.3. Пара сил .....	70
3.4. Правило рычага. Момент силы относительно точки .....	72
3.5. Распределенные силы .....	77
<b>4. Момент силы относительно центра и оси .....</b>	<b>81</b>
4.1. Момент силы .....	81
4.2. Приведение силы к заданному центру .....	83
4.3. Условия равновесия произвольной пространственной системы сил .....	89
4.4. Условия равновесия произвольной плоской системы сил .....	91
4.5. Вычисление реакций опор конструкций арочного типа .....	101
<b>5. Центр тяжести.....</b>	<b>105</b>
5.1. Центр параллельных сил .....	105
5.2. Центр тяжести твердого тела .....	106
5.3. Центр тяжести плоского сечения .....	107
5.4. Центры тяжести простейших тел .....	108
5.5. Методы вычисления центров тяжести тел .....	112

<b>6. Система сходящихся сил.....</b>	<b>119</b>
6.1. Приведение к равнодействующей силе .....	119
6.2. Условия равновесия системы сходящихся сил.....	124
6.3. Равновесие твердого тела под действием трех сил .....	128
<b>7. Кинематика точки.....</b>	<b>133</b>
7.1. Траектория, скорость, ускорение .....	133
7.2. Движение точки в плоскости .....	137
7.3. Простейшие движения твердого тела .....	144
<b>8. Динамика .....</b>	<b>149</b>
8.1. Основные законы движения материальной точки.....	149
8.2. Две основные задачи динамики точки.....	152
8.3. Теорема об изменении кинетической энергии.....	165
8.4. Принцип возможных перемещений .....	174
8.5. Принцип Д'Аламбера. Силы инерции .....	176
<b>9. Деформируемое твердое тело.....</b>	<b>181</b>
9.1. Общие сведения .....	181
9.2. Классификация нагрузок.....	185
9.3. Метод сечений. Виды сопротивлений бруса. Построение эпюр .....	186
<b>10. Понятие о напряжении и деформации.....</b>	<b>222</b>
10.1. Напряженное состояние в точке.....	222
10.2. Интегральные зависимости между внутренними силовыми факторами и напряжениями .....	224
10.3. Деформации и перемещения. Деформированное состояние в точке.....	225
<b>11. Осевое растяжение и сжатие в пределах упругости.....</b>	<b>232</b>
11.1. Основные понятия и зависимости. Условия прочности .....	232
11.2. Перемещения. Эпюра перемещений. Условие жесткости.....	240
11.3. Расчеты на прочность и жесткость.....	244
<b>12. Плоские стержневые фермы.....</b>	<b>257</b>
12.1. Общая характеристика и классификация ферм .....	257
12.2. Методы расчета плоских ферм .....	261
<b>13. Изгиб бруса .....</b>	<b>273</b>
13.1. Поперечный изгиб.....	273
13.2. Расчеты на прочность при изгибе .....	285

13.3. Перемещения при изгибе .....	293
13.4. Расчет балок на жесткость .....	299
<b>14. Внецентренное сжатие или растяжение .....</b>	<b>305</b>
14.1. Определения. Условия прочности.....	305
14.2. Ядро сечения.....	311
<b>15. Устойчивость сжатых стержней .....</b>	<b>317</b>
15.1. Понятие об устойчивости.....	317
15.2. Продольный изгиб. Потеря устойчивости.....	318
15.3. Формула Эйлера для вычисления критической силы шарнирно закрепленного стержня.....	320
15.4. Влияние способов закрепления концов стержня на величину критической силы.....	324
15.5. Критическое напряжение. Гибкость стержня .....	325
15.6. Продольный изгиб за пределом пропорциональности. Формула Ясинского .....	327
15.7. Диаграмма критических напряжений .....	328
15.8. Принципы рационального проектирования сжатых стержней .....	333