

Э. А. Буланов

В. Н. Шинкин

---

# МЕХАНИКА

ВВОДНЫЙ курс

---

Э. А. Буланов, В. Н. Шинкин

---

МЕХАНИКА

# МЕХАНИКА

## ВВОДНЫЙ курс

Допущено

учебно-методическим объединением  
по образованию в области металлургии  
в качестве учебного пособия для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся  
по направлению 151100 «Металлургия»



Москва  
БИНОМ. Лаборатория знаний  
2011

УДК 531  
ББК 22.2  
Б90

**Буланов Э. А.**

**Б90** Механика. Вводный курс : учебное пособие / Э. А. Буланов, В. Н. Шинкин. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. — 172 с. : ил.

**ISBN 978-5-9963-0395-3**

В учебном пособии кратко изложены основные положения механики в целях формирования целостного представления о ней. В зависимости от количества часов, отводимых на изучение дисциплины, пособие может рассматриваться как основной учебник либо как вводный курс для дальнейшего углубленного изучения механики.

**УДК 531  
ББК 22.2**

---

*Учебное издание*

**Буланов Эдуард Александрович  
Шинкин Владимир Николаевич**

**МЕХАНИКА.  
ВВОДНЫЙ КУРС  
Учебное пособие**

Ведущий редактор *Е. В. Гуляева*  
Художник *Н. А. Новак*

Технический редактор *Е. В. Денюкова*. Корректор *Д. И. Мурадян*  
Компьютерная верстка: *В. А. Носенко*

Подписано в печать 12.05.11. Формат 70×100/16.  
Усл. печ. л. 14,30. Тираж 1000 экз. Заказ

Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний»  
125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3  
Телефон: (499) 157-5272, e-mail: binom@Lbz.ru, <http://www.Lbz.ru>

---

**ISBN 978-5-9963-0395-3**

© БИНОМ. Лаборатория знаний,  
2011

# Оглавление

<b>Предисловие</b> . . . . .	<b>3</b>
<b>Глава 1. Теоретическая механика.</b> . . . . .	<b>5</b>
1.1. Статика . . . . .	5
1.1.1. Сила и момент силы . . . . .	5
1.1.2. Уравнения равновесия сил . . . . .	14
1.1.3. Трение скольжения и качения . . . . .	17
1.2. Кинематика . . . . .	18
1.2.1. Кинематика точки . . . . .	18
1.2.2. Кинематика твердого тела . . . . .	21
1.3. Динамика . . . . .	25
1.3.1. Динамика точки . . . . .	25
1.3.2. Динамика твердого тела . . . . .	26
1.3.3. Принцип Даламбера . . . . .	30
1.3.4. Работа силы. Мощность . . . . .	31
1.3.5. Потенциальная и кинетическая энергии . . . . .	32
<b>Глава 2. Сопротивление материалов</b> . . . . .	<b>35</b>
2.1. Основные понятия. Напряжения и деформации. Закон Гука. Условие прочности, жесткости, устойчивости . . . . .	35
2.2. Механические характеристики материалов. Допускаемые напряжения. Виды расчетов на прочность, жесткость и устойчивость . . . . .	42
2.3. Определение напряжений и деформаций при статических нагрузках. . . . .	48
2.3.1. Растяжение (сжатие) . . . . .	50
2.3.2. Сдвиг . . . . .	52

2.3.3.	Кручение . . . . .	54
2.3.4.	Плоский изгиб . . . . .	58
2.3.5.	Концентрация напряжений, расчет на прочность по предельному состоянию .	64
2.3.6.	Сложное напряженное состояние. Виды напряженного состояния . . . . .	66
2.3.7.	Определение положения главных площадок и величины главных напряжений для общего случая плоского нагружения . . . . .	68
2.3.8.	Напряженное состояние при простейших видах нагружения. . . . .	69
2.3.9.	Теории (гипотезы) прочности . . . . .	70
2.3.10.	Сложное сопротивление . . . . .	74
2.3.11.	Устойчивость сжатых стержней. . . . .	77
2.4.	Определение напряжений и деформаций при динамических нагрузках . . . . .	79
2.4.1.	Циклические нагрузки. Усталостная прочность. . . . .	79
2.4.2.	Контактные напряжения. . . . .	83
2.4.3.	Ударные инерционные нагрузки . . . . .	84
<b>Глава 3.</b>	<b>Теория механизмов и машин . . . . .</b>	<b>87</b>
3.1.	Структурный анализ механизмов. Силы в звеньях механизма . . . . .	87
3.1.1.	Основные понятия теории механизмов и машин . . . . .	87
3.1.2.	Силы, действующие на звенья механизмов и машин . . . . .	91
3.2.	Кинематический и силовой анализ механизмов. . . . .	93
3.2.1.	Кинематический анализ . . . . .	93
3.2.2.	Силовой анализ . . . . .	96
<b>Глава 4.</b>	<b>Детали машин . . . . .</b>	<b>104</b>
4.1.	Машины, детали машин, передаточный механизм. . . . .	104
4.2.	Соединения деталей машин. . . . .	106
4.2.1.	Резьбовые соединения. . . . .	106

4.2.2.	Заклепочные соединения . . . . .	114
4.2.3.	Сварные соединения . . . . .	114
4.2.4.	Шпоночные соединения . . . . .	116
4.3.	Механические передачи . . . . .	118
4.3.1.	Зубчатые передачи . . . . .	118
4.3.2.	Червячные передачи . . . . .	137
4.3.3.	Фрикционные передачи . . . . .	143
4.3.4.	Ременные передачи . . . . .	145
4.3.5.	Цепные передачи . . . . .	149
4.3.6.	Винтовые передачи . . . . .	152
4.3.7.	Реечная передача . . . . .	154
4.3.8.	Кулачковый механизм . . . . .	155
4.4.	Поддерживающие и соединительные детали . . . . .	156
4.4.1.	Валы . . . . .	156
4.4.2.	Подшипники . . . . .	159
4.4.3.	Муфты . . . . .	162
4.5.	Пример расчета привода машины . . . . .	162
<b>Рекомендуемая литература . . . . .</b>		<b>169</b>

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс технической, или прикладной, механики состоит из нескольких разделов: «Теоретическая механика», «Сопротивление материалов», «Теория механизмов и машин» и «Детали машин». В учебных планах машиностроительных специальностей каждый из обозначенных разделов является самостоятельной дисциплиной со своей традиционной структурой, учебниками и пособиями для изучения. В учебных планах немашиностроительных специальностей на изучение прикладной механики отводят небольшое количество часов. В этом случае основная задача преподавателя — дать сжатое, но содержательное изложение основных положений курса с целью формирования у студентов целостного представления о механике. Изучение данного курса на основе существующих учебников по каждому из разделов представляется весьма затруднительным из-за их большого объема.

Авторы поставили задачу создать учебное пособие наиболее кратким по объему, но содержащим все основные положения прикладной механики. Причем при изучении каждого из разделов прикладной механики изложение материала построено так, чтобы в минимальной степени обращаться к предыдущим разделам. В каждом разделе приведены примеры, иллюстрирующие применение теоретических сведений к решению наиболее простых практических задач. Для решения более сложных задач, для определения большего объема фактического материала следует обратиться к монографиям, приведенным в списке дополнительной литера-

туры. В зависимости от профиля специальности данное учебное пособие может выступать как основной учебник либо как вводный курс для дальнейшего углубленного изучения механики.

*Проф., д-р техн. наук Буланов Э. А.,  
проф., д-р физ.-мат. наук Шинкин В. Н.*



# ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Теоретическая механика изучает механическое движение и равновесие тел под действием приложенных к ним сил. Механическим движением тел называют происходящее с течением времени изменение их положения в пространстве. При этом тела считаются абсолютно твердыми, то есть их размеры и форма не изменяются. Теоретическая механика состоит из трех разделов: статики, кинематики и динамики, которые будут рассмотрены в этой главе.

### 1.1. Статика

Статика рассматривает равновесие тел под действием приложенных к ним сил. Основные определения и понятия статики приведены далее.

#### 1.1.1. Сила и момент силы

*Сила* есть мера взаимодействия между телами, она является векторной величиной и определяется тремя факторами: численным значением (модулем), направлением (линией действия) и точкой приложения (рис. 1.1). Единица измерения силы — ньютон (Н). В теоретической механике сила представляет собой скользящий вектор — его можно переносить вдоль линии действия силы, при этом действие на тело не изменится.

**Проекция силы на ось.** Проекцией силы  $\vec{F}$  на ось  $x$  ( $F_x$ ) называют величину, которая равна отрезку оси, отсекаемому перпендикулярами, опущенными на эту ось из начала и конца этой силы (рис. 1.2), и которую можно определить по формуле:

$$F_x = F \cos \alpha.$$

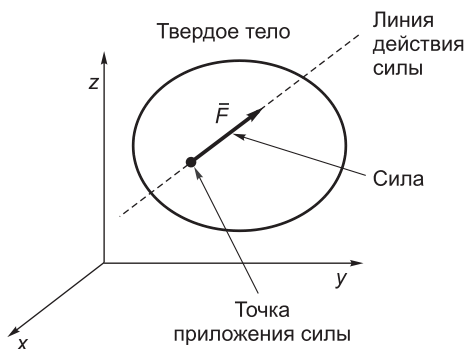


Рис. 1.1

Проекция силы на ось является скалярной величиной и может быть:

- положительной, если  $\alpha < 90^\circ$  (рис. 1.2);

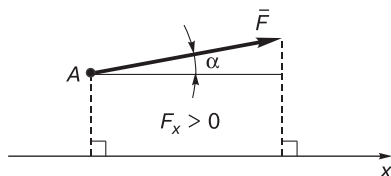


Рис. 1.2

- отрицательной, если  $\alpha > 90^\circ$  (рис. 1.3):  $F_{1x} = F_1 \cos \alpha = -F_1 \cos \beta$ ;
- равна нулю, если  $\alpha = 90^\circ$  (рис. 1.4).

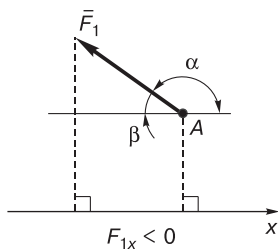


Рис. 1.3

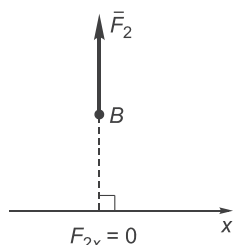


Рис. 1.4

**Связи и их реакции.** Рассматриваемые в статике тела делят на свободные и несвободные. Свободное тело может беспрепятственно перемещаться в пространстве, но если данный объект связан с другими телами, которые ограничивают его перемещение, то говорят, что он несвободный. Тела, ограничивающие перемещение, называют связями, а силы, с которыми связи действуют на тело, называются реакциями связей. Рассмотрим наиболее распространенные виды связей на плоскости.

1. Шарнирно-неподвижная опора (рис. 1.5). Она допускает только поворот тела (стержня); реакция  $\bar{R}_A$  может действовать в любом направлении и иметь две проекции на оси  $x$  и  $y$ :  $R_{Ax}$  и  $R_{Ay}$ .

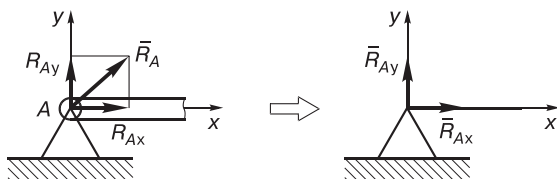


Рис. 1.5

2. Шарнирно-подвижная опора (рис. 1.6). Этот вид связи допускает поворот тела (стержня) вокруг оси шарнира и перемещение его вдоль опорной поверхности, при этом реакция  $\bar{R}_A$  перпендикулярна опорной поверхности.

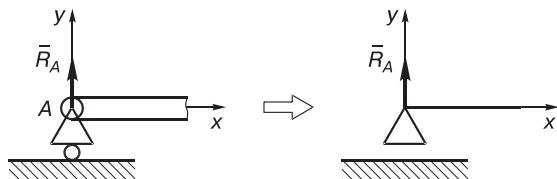


Рис. 1.6

3. Жесткая заделка (защемление) (рис. 1.7). В данном случае не допускается поворота и перемещения тела (стержня); имеется три неизвестных составляющих реакции связи: две проекции на оси  $x$  и  $y$  ( $R_{Ax}$  и  $R_{Ay}$ ) и момент  $M_A$ .

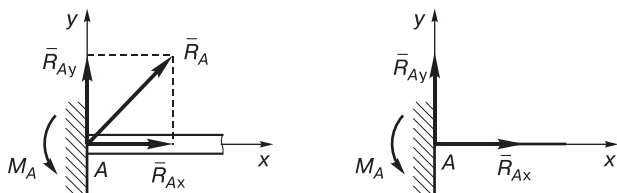


Рис. 1.7

Любое несвободное тело можно рассматривать как свободное, если отбросить связи, заменив их действие реакциями связей, с которыми можно производить математические операции.

**Геометрический способ сложения сил.** Силу  $\vec{R}$  можно представить как геометрическую сумму двух сил  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ , если она равна диагонали параллелограмма, построенного из этих сил (рис. 1.8):

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2.$$

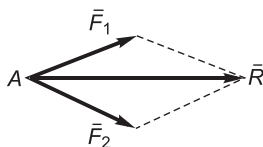


Рис. 1.8

Любой вектор  $\vec{F}$  можно представить как сумму векторов  $\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$  (рис. 1.9), где  $\vec{F}_x$ ,  $\vec{F}_y$  — векторы, по модулю равные проекциям силы  $\vec{F}$  на оси  $x$  и  $y$ .

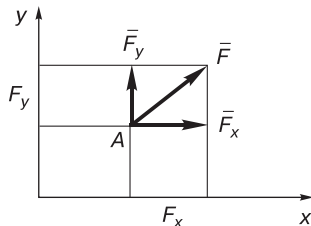


Рис. 1.9

**Аналитический способ сложения сил.** Чтобы сложить две силы аналитически, необходимо (рис. 1.10):

- спроектировать силы на оси, то есть найти их проекции  $F_{1x}$ ,  $F_{2x}$ ,  $F_{1y}$  и  $F_{2y}$ ;
- сложить соответствующие проекции:

$$R_x = F_{1x} + F_{2x}, \quad R_y = F_{1y} + F_{2y},$$

где  $F_{2y}$  — отрицательна;

- величину равнодействующей силы  $\bar{R}$  найти по теореме Пифагора:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}.$$

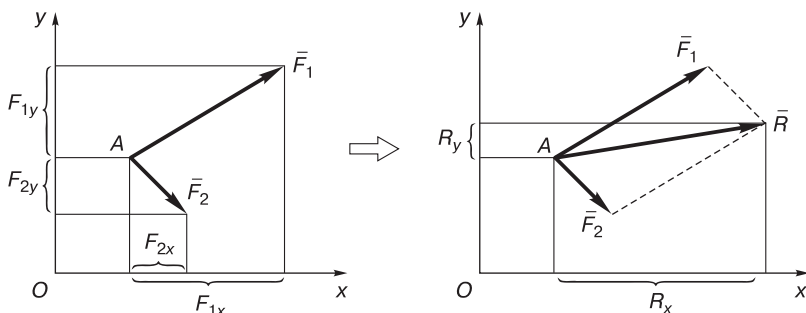


Рис. 1.10

Аналогично производится сложение нескольких сил:

$$R_x = \sum_{i=1}^n F_{xi}, \quad R_y = \sum_{i=1}^n F_{yi}.$$

**Моменты силы относительно точки и оси.** Модулем момента силы  $\bar{F}$  относительно точки  $O$  называется скалярная величина, равная произведению численного значения силы на длину перпендикуляра, опущенного из точки  $O$  на линию действия силы, который называется плечом силы (рис. 1.11):

$$m_O(\bar{F}) = Fh.$$

Момент имеет размерность  $\text{Н} \cdot \text{м}$ .

Момент силы  $\bar{F}$  относительно точки  $O$  представляет собой вектор, перпендикулярный плоскости, проходящей через вектор силы и точку  $O$  в направлении, из которого вра-

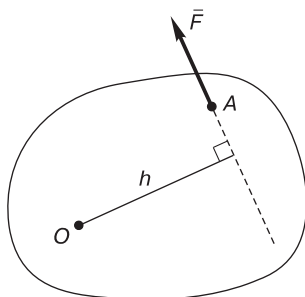


Рис. 1.11

вление силы  $\vec{F}$  будет направлено против часовой стрелки. На рис. 1.11 вектор  $\vec{M} = \vec{m}_O(\vec{F})$  перпендикулярен плоскости листа, направлен к читателю. Если модуль момента равен нулю, то и момент равен нулю. В дальнейшем величину момента будем определять по его модулю.

Условились считать (*правило знаков*): если сила стремится повернуть тело против часовой стрелки, то момент является положительным, если по часовой стрелке — отрицательным (рис. 1.12).



Рис. 1.12

Если линия действия силы проходит через точку, то момент силы относительно этой точки равен нулю. На рис. 1.13 момент, возникающий под действием силы  $\vec{F}_1$ , рассчитывается по формуле:

$$m_O(\vec{F}_1) = -F_1 h.$$

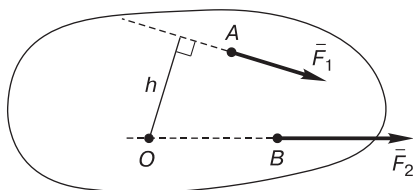


Рис. 1.13

Момент, возникающий под действием силы  $\vec{F}_2$ , равен нулю:

$$m_O(\vec{F}_2) = 0.$$

Момент силы относительно оси равен моменту проекции этой силы на плоскость, перпендикулярную оси относительно точки ее пересечения с плоскостью. Момент силы  $\vec{F}$  относительно оси  $z$  (рис. 1.14):

$$m_z(\vec{F}) = -F_{xy}h.$$

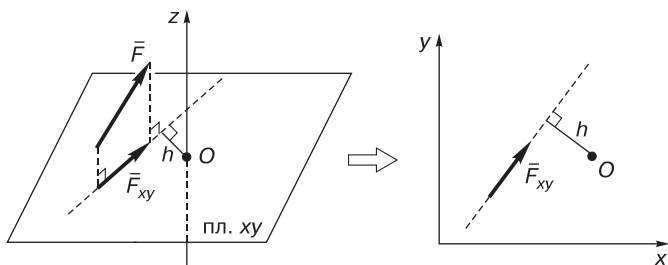


Рис. 1.14

Момент силы относительно оси равен нулю, если данная сила параллельна оси или линия действия силы пересекает эту ось (рис. 1.15):

- $m_z(\vec{F}_1) = 0$ , так как  $F_{1xy} = 0$ ;
- $m_z(\vec{F}_2) = 0$ , так как  $h = 0$ .

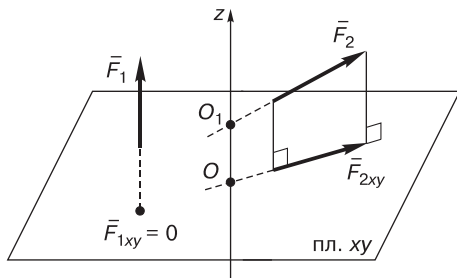


Рис. 1.15

**Пара сил.** Две равные по модулю и параллельные силы, направленные в противоположные стороны, называются *парой сил*. Момент пары сил представляет собой вектор, перпендикулярный плоскости пары, модуль момента пары сил равен произведению величины одной из данной сил пары на плечо (рис. 1.16). Так как  $\vec{F}' = -\vec{F}$ , то момент равен  $m(\vec{F}, \vec{F}') = Fh = F'h$ .

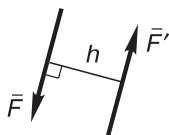


Рис. 1.16

Для пары сил справедливо правило знаков, применяемое для момента силы относительно точки.

Эффект действия пары сил полностью определяется ее моментом, поэтому его часто показывают дугообразной стрелкой, указывающей направление вращения (рис. 1.17). Пара сил не имеет точки приложения, ее момент относительно любой точки равен моменту самой пары сил.

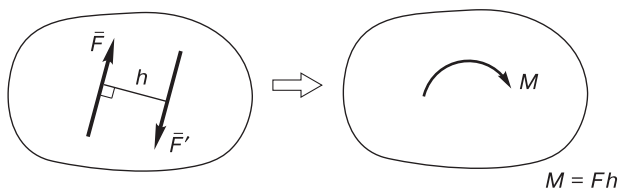


Рис. 1.17

Сложение пар производится с учетом знаков алгебраическим суммированием их моментов.

**Параллельный перенос силы.** Ранее было сказано, что действие силы на тело не изменится, если ее переместить вдоль линии ее действия. Выясним, что произойдет, если эту силу перемещать параллельно линии ее действия.



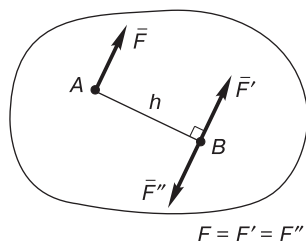


Рис. 1.18

Обратимся к рис. 1.18. Пусть на тело в точке  $A$  действует сила  $\vec{F}$ ; состояние тела не изменится, если в точку  $B$  добавить параллельные рассматриваемой силе две другие:  $\vec{F}'$  и  $\vec{F}''$ , так как они взаимно уравниваются. Полученную систему трех сил можно рассматривать как состоящую из силы  $\vec{F}'$ , приложенной в точке  $B$ , и пары сил  $(\vec{F}; \vec{F}'')$  с моментом

$$M = Fh = m_B(\vec{F}).$$

Таким образом, при переносе силы параллельно самой себе нужно добавлять пару сил с моментом, равным моменту силы относительно точки переноса (рис. 1.19)  $M = Fh$ .

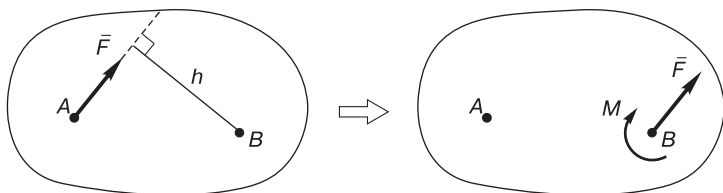


Рис. 1.19

**Приведение плоской системы сил к данной точке.** Воспользуемся рассмотренным выше правилом параллельного переноса силы для переноса сил  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$  в точку  $O$  (рис. 1.20). Тогда моменты от переноса сил будут равны:

$$M_1 = m_O(\vec{F}_1), \quad M_2 = m_O(\vec{F}_2).$$

[ . . . ]