

УДК 621:531(075.32)  
ББК 30.12я723  
КТК 203  
К89

### Рецензенты:

*Травин М. М.*, д.т.н., профессор кафедры биотехнических, технологических систем Костромского государственного университета им. Н. А. Некрасова

*Разин С. Н.*, д.т.н., профессор кафедры инженерной графики, теоретической и прикладной механики Костромского государственного технологического университета

*Капуста П. П.*, к.т.н., доцент кафедры «Детали машин, подъемно-транспортные машины и механизмы» Белорусского национального технического университета

**Кузьмина Н. А.**

**К89** Техническая механика : учеб. пособие / Н. А. Кузьмина. — Ростов н/Д : Феникс, 2020. — 205 с. : ил. — (Среднее профессиональное образование).

**ISBN 978-5-222-28638-8**

Техническая механика является одной из общепрофессиональных дисциплин, изучаемых во всех технических колледжах. Наибольшие трудности возникают при решении задач, поэтому изложение общих положений курса выстроено в жанре ответов на вопросы и разбора типовых «кейсов». Данная книга облегчит процесс изучения технической механики и окажет помощь при освоении навыков выполнения расчетов. Учебное пособие состоит из двух частей: теоретическая механика (статика, кинематика, динамика) и сопротивление материалов (растяжение, сжатие, срез, смятие, изгиб, геометрические характеристики плоских сечений, устойчивость сжатых стержней, эпюры, расчеты на прочность и жесткость). Приведены задачи для самостоятельного решения, в приложениях приводятся справочные данные.

Издание составлено в соответствии с ФГОС СПО на основе многолетнего опыта преподавания и адресовано студентам колледжей, училищ, техникумов, профессиональных лицеев, изучающих техническую механику в ходе подготовки по специальности «Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта». Учебное пособие также рекомендовано для специальностей «Технология машиностроения», «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», «Бурение нефтяных и газовых скважин», «Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ». В качестве практического пособия будет полезно при обучении рабочим профессиям, квалификациям ТОП-50 «Мастер общестроительных работ», «Слесарь», «Автомеханик» (новое название в соответствии с Проектом перечня профессий и специальностей СПО, подготовленным ФИРО РАНХиГС в рамках государственного задания Минобрнауки России №27.12594.2018/12.1 — «Мастер по ремонту и обслуживанию автомобилей»), а также при подготовке к соревнованиям по профессиональному мастерству (компетенции WordlSkills). Разделы технической механики, рассмотренные в этой книге, важны при освоении и повторении курса физики (в рамках общеобразовательной подготовки в учреждениях СПО). Преподаватель найдет в настоящем издании массу иллюстративного, дидактического материала для организации самостоятельной работы студентов.

УДК 621:531(075.32)  
ББК 30.12я723

**ISBN 978-5-222-28638-8**

© Кузьмина Н. А., 2014—2019  
© ООО «Феникс», 2019

*«Было бы желательно вывести из начал механики и остальные явления природы... все эти явления обуславливаются некоторыми силами, с которыми частицы тел или стремятся друг к другу и сцепляются в правильные фигуры, или же взаимно отталкиваются и удаляются друг от друга»*

*Исаак Ньютон*

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	7
<b>Часть I.</b>	
Теоретическая механика.	
Роль, содержание, значение в технике .....	8
<b>Раздел 1. Статика</b> .....	10
<b>Тема 1.1.</b> Статика. Основные понятия и аксиомы. Виды связей и их реакции.....	10
<b>Тема 1.2.</b> Плоская система сходящихся сил.....	23
1.2.1. Геометрическое условие равновесия.....	23
1.2.2. Аналитическое условие равновесия.....	23
<b>Тема 1.3.</b> Пара сил. Момент силы относительно точки .....	36
<b>Тема 1.4.</b> Плоская система произвольно расположенных сил.....	39
1.4.1. Условия равновесия. Виды нагрузок. Опоры балочных систем .....	39
1.4.2. Решение задач.....	43
<b>Тема 1.5.</b> Трение.....	65
1.5.1. Основные понятия .....	65
1.5.2. Устойчивость против опрокидывания.....	67
<b>Тема 1.6.</b> Пространственная система сил .....	70
<b>Тема 1.7.</b> Центр тяжести .....	76
<b>Раздел 2. Кинематика</b> .....	81
<b>Тема 1.8.</b> Основные понятия кинематики. Кинематика точки .....	81
<b>Тема 1.9.</b> Простейшие движения твердого тела.....	86
<b>Раздел 3. Динамика</b> .....	92
<b>Тема 1.10.</b> Основные понятия и аксиомы динамики .....	92

<b>Тема 1.11.</b>	Движение материальной точки. Метод кинестатики. Силы инерции.....	94
<b>Тема 1.12.</b>	Работа и мощность.....	99
<b>Тема 1.13.</b>	Общие теоремы динамики .....	103

## Часть II.

	Сопrotивление материалов .....	108
<b>Тема 2.1.</b>	Основные положения .....	108
<b>Тема 2.2.</b>	Растяжение, сжатие .....	114
	2.2.1. Продольные силы, напряжения, их эпюры. Продольные и поперечные деформации при растяжении и сжатии. Закон Гука.....	114
	2.2.2. Диаграмма растяжения малоуглеродистой стали .....	118
	2.2.3. Расчеты на прочность при растяжении, сжатии .....	123
<b>Тема 2.3.</b>	Практические расчеты на срез и смятие.....	134
<b>Тема 2.4.</b>	Кручение. Чистый сдвиг. Закон Гука. Напряжения. Эпюры. Расчеты на прочность и жесткость .....	138
<b>Тема 2.5.</b>	Изгиб. Основные определения. Эпюры. Нормальные напряжения при изгибе. Рациональная форма сечений. Расчеты на прочность .....	151
<b>Тема 2.6.</b>	Геометрические характеристики плоских сечений.....	178
<b>Тема 2.7.</b>	Устойчивость сжатых стержней .....	182
	<b>Приложения</b> .....	189
	<b>Литература</b> .....	202

## ОТ АВТОРА

Раньше очень часто от студентов приходилось слышать такие слова: «Вы покажите нам, что на что умножить и на что поделить, и я буду решать». Но умение решать задачи не наступало. Многолетний опыт преподавания позволил собрать в сжатом и доступном виде самое главное, что необходимо для решения задач по технической механике. Студенты, у которых прилежание было лучше, с помощью этого учебного пособия даже при слабой предварительной подготовке к концу учебного года на экзамене получали хорошие оценки. Поэтому желаю всем успехов. Как говорил А. В. Суворов: «Тяжело в учении — легко в бою».

Автор благодарит рецензентов рукописи: д.т.н., профессора кафедры биотехнических, технологических систем Костромского государственного университета им. Н. А. Некрасова Михаила Михайловича Травина, д.т.н., профессора кафедры инженерной графики, теоретической и прикладной механики Костромского государственного технологического университета Сергея Николаевича Разина и к.т.н., доцента кафедры «Детали машин, подъемно-транспортные машины и механизмы» Белорусского национального технического университета Павла Павловича Капусту за некоторые советы, позволившие автору значительно улучшить книгу.

# ВВЕДЕНИЕ

Среди общетехнических дисциплин, изучаемых в среднем профессиональном образовательном заведении, «Техническая механика» занимает одно из основных мест. Она является теоретической базой для изучения специальных дисциплин: «Устройство, техническое обслуживание и ремонт автомобилей», «Ремонт автомобилей», «Слесарное дело и технические измерения», «Автомобили», «Теоретическая подготовка водителей».

Предмет «Техническая механика» состоит из трех больших частей (рис. 1).

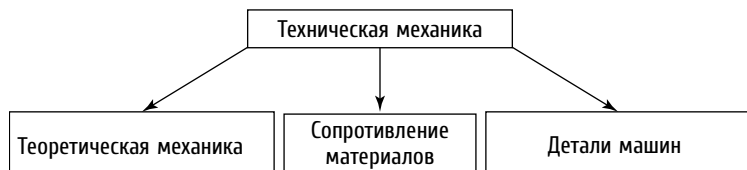


Рис. 1

У студентов, изучающих «Техническую механику», наибольшие трудности возникают при решении задач. Настоящее пособие облегчит процесс изучения данного курса и поможет усвоить принципы решения задач. Форма представления материала в виде вопросов и ответов учит формулировать цель, идеальный результат. Эта познавательная компетенция позволит освоить не только данный курс, но и в целом любые естественнонаучные закономерности, техническую информацию.

Пособие написано в соответствии с программой, разработанной на основе Федерального государственного стандарта по специальностям среднего профессионального образования, и может быть использовано в любом учебном заведении при изучении предмета «Техническая механика».

# Часть I

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА. РОЛЬ, СОДЕРЖАНИЕ, ЗНАЧЕНИЕ В ТЕХНИКЕ

### ▶ *Что изучает теоретическая механика?*

**Теоретическая механика** изучает законы механического движения материи и рассматривает все тела как абсолютно твердые, т. е. не изменяющие свои размеры и форму под действием внешних сил.

### ▶ *Что называется абсолютно твердым телом?*

**Абсолютно твердое тело** — это тело, у которого расстояние между двумя любыми точками тела не изменяется под действием внешних сил. Абсолютно твердое тело — это тело абстрактное. В теоретической механике все тела рассматриваются как абсолютно твердые.

Термин «*механика*» в переводе с греческого обозначает искусство построения машин.

### ▶ *Что называется механическим движением?*

**Механическое движение** — это изменение места или положения тела по отношению к другим телам.

Теоретическая механика делится на три раздела (рис. 2).



Рис. 2

▶ **Что изучает статика?**

**Статика** изучает условия равновесия тел под действием сил. Разработал основы статики Архимед (287—212 г. до н. э.).

▶ **Что изучает кинематика?**

**Кинематика** изучает геометрическое перемещение тел без учета действующих на них сил.

▶ **Что изучает динамика?**

**Динамика** изучает движение тел под действием приложенных сил.

▶ **Что называется материальной точкой?**

**Материальная точка** — это тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь. Примерами могут служить:

- 1) движение планет вокруг Солнца;
- 2) тело можно считать материальной точкой во всех случаях, когда все точки тела совершают одинаковые движения — например, движение поршня в цилиндре двигателя автомобиля.



# РАЗДЕЛ 1. СТАТИКА

## Тема 1.1. Статика. Основные понятия и аксиомы. Виды связей и их реакции

### Задача

Стержни  $AB$  и  $BC$  соединены между собой и вертикальной стеной шарнирно (рис. 3). К шарниру  $B$  подвешены два груза: груз весом  $G_1$  подвешен вертикально, груз весом  $G_2$  подвешен через блок  $D$ . Пренебрегая силами трения и размерами блока  $D$ , найти усилия в стержнях  $CB$  и  $AB$ , если  $G_1 = 0,4$  кН,  $G_2 = 0,5$  кН.

На примере первой задачи рассмотрим вопросы, на которые нужно ответить при решении задачи (рис. 3).

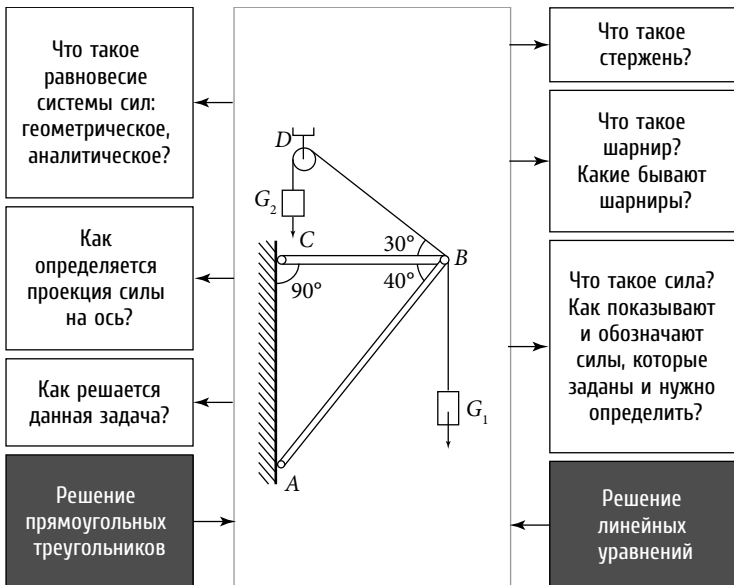


Рис. 3

Для того чтобы решить эту задачу, нужно знать основные понятия предмета для данной темы, которые изложены ниже в виде вопросов и ответов.

► **Что такое сила?**

**Сила** — это количественная мера взаимодействия тел.

► **Как обозначается сила?**

**Сила** — **векторная величина**. Вектор силы изображается отрезком прямой линии (рис. 4, 5), на конце которого ставится стрелка. Начало вектора обозначается точкой.

На расчетной схеме сила обозначается следующим образом, с чертой или стрелкой над буквой:  $\vec{F}$ . Модуль силы обозначают без черты над буквой:  $F$ . Длина отрезка указывает значение вектора, измеренное в выбранном масштабе.

► **В чем измеряется сила?**

Модуль или численное значение силы измеряется в ньютонах (Н). Применяют также и более крупные единицы измерения: 1 кН (килоньютон) =  $10^3$  Н, 1 МН (мега ньютон) =  $10^6$  Н.

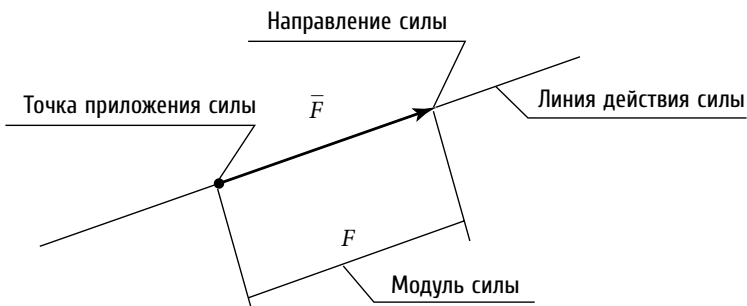


Рис. 4

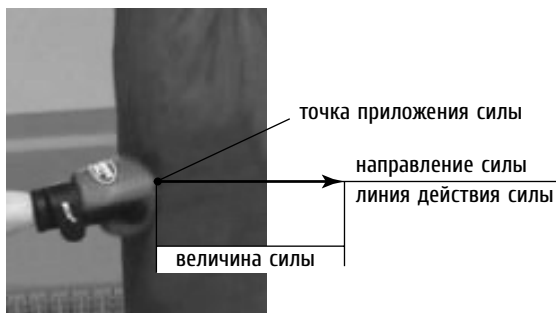


Рис. 5

- **Чем характеризуется и в каких единицах измеряется сила?** (Рис. 6).

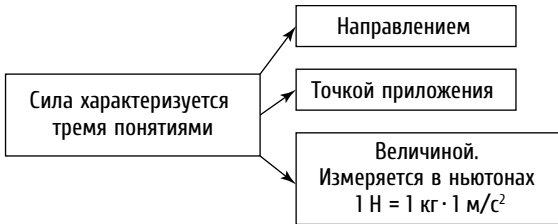


Рис. 6

- **Что называется линией действия силы?** (Рис. 4, 5).

**Линия действия силы** — это прямая, на которой лежит вектор силы.

- **Что называется системой сил?**

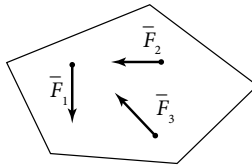


Рис. 7

**Система сил** — это совокупность нескольких сил, приложенных к телу или материальной точке (рис. 7).

Тело на расчетной схеме может быть обозначено ломаной линией, как в данном случае, или кривой линией.

- **Какие системы сил вы знаете? Дайте им определение** (рис. 8).

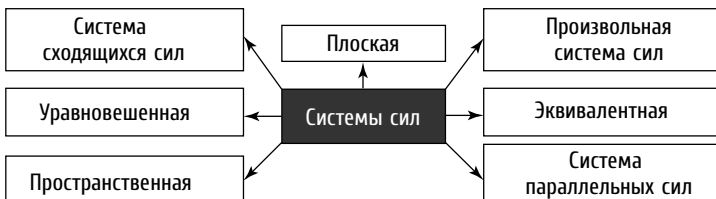


Рис. 8

► **Какая система сил называется уравновешенной?**

**Уравновешенная система сил** — это такая система сил, под действием которой тело движется равномерно и прямолинейно или сохраняет состояние относительного покоя.

► **Какие системы сил называются эквивалентными?**

**Эквивалентные системы сил** — это системы сил, взятые порознь, оказывающие на тело одинаковое действие.

► **Что называется системой параллельных сил в плоскости?**

**Параллельной системой сил** называется такая система сил, линии действия которой параллельны (рис. 9). Тело в данном случае обозначено кривой линией.

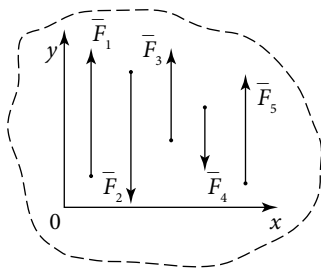


Рис. 9

► **Что называется системой сходящихся сил?**

**Система сходящихся сил** — система сил, линии действия которой пересекаются в одной точке (рис. 10).

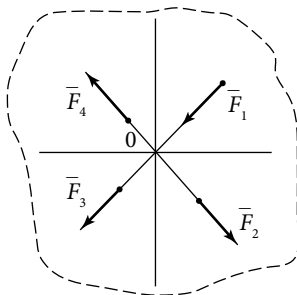


Рис. 10

- **Что называется произвольной системой сил на плоскости?**

**Произвольная система сил на плоскости** — это система сил, линии действия которой лежат в плоскости произвольно (рис. 11).

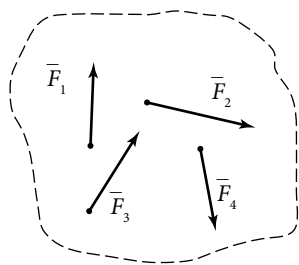


Рис. 11

- **Что называется пространственной системой сил?**

**Пространственная система сил** — это система сил, линии действия которой лежат в разных плоскостях (рис. 12).

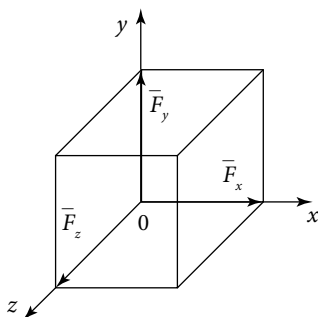


Рис. 12

- **Что называется плоской системой сил?**

**Плоской системой сил** называется такая система сил, линии действия которой лежат в одной плоскости.

- **Какая сила называется равнодействующей?**

**Равнодействующая сила** — одна сила, эквивалентная данной системе сил, обозначается  $\bar{R}$  (рис. 13, 14, 15).

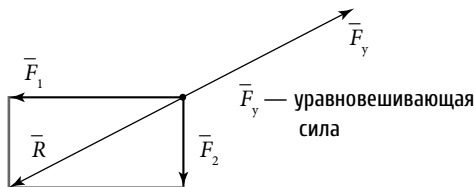


Рис. 13

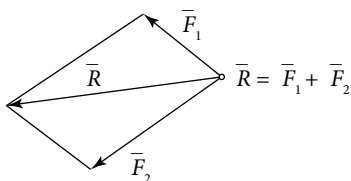


Рис. 14

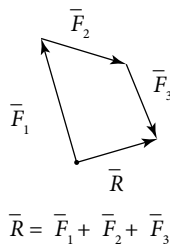


Рис. 15

► **Какая сила называется уравнивающей?**

**Уравнивающая сила** — сила, равная по величине равнодействующей, направленная по той же линии действия, но в противоположную сторону (рис. 13).

■ **Сформулируйте геометрическое условие равновесия системы сходящихся сил на плоскости.**

Для геометрического условия равновесия системы сходящихся сил на плоскости необходимо и достаточно, чтобы<sup>1</sup> силовой многоугольник был замкнутым (рис. 16). Равнодействующая в данном случае будет равна нулю.

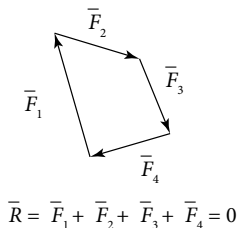


Рис. 16

<sup>1</sup> Формулировка «необходимо и достаточно, чтобы» удачно предложена в книге [7].

**Аксиомы статики** (приводятся по изданиям [1], [2])

■ **Сформулируйте «Аксиому инерции» (Первый закон Ньютона).**

**Первая аксиома — «Аксиома инерции».** *Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока какие-нибудь силы не выведут его из этого состояния.*

■ **Сформулируйте аксиому «Условие равновесия двух сил».**

**Вторая аксиома — аксиома «Условие равновесия двух сил».** *Две равные по величине силы, приложенные к абсолютно твердому телу и направленные по одной прямой в противоположные стороны, взаимно уравновешиваются (рис. 17).*

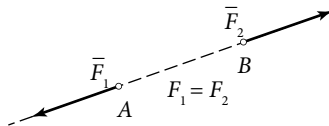


Рис. 17

Иначе говоря, для равновесия двух сил нужно, чтобы:

- силы по модулю были равны;
- направлены в противоположные стороны;
- должны лежать на одной прямой.

■ **Сформулируйте аксиому параллелограмма.**

**Третья аксиома — «Аксиома параллелограмма».** *Равнодействующая двух сил, приложенных к твердому телу в одной точке, равна по модулю и совпадает по направлению с диагональю параллелограмма, построенного на данных силах, и приложена в той же точке (рис. 18).*

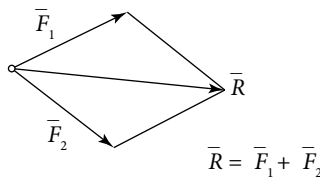


Рис. 18

■ **Сформулируйте аксиому взаимодействия (Третий закон Ньютона).**

Четвертая аксиома — «Аксиома взаимодействия». При взаимодействии тел всякому действию соответствует равное и противоположно направленное противодействие (рис. 19.1, 19.2).

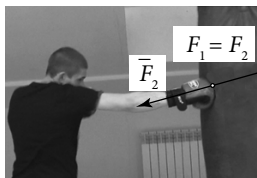


Рис. 19.1

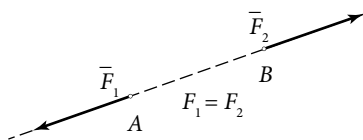


Рис. 19.2

■ **Сформулируйте аксиому «Принцип присоединения и удаления уравновешенной системы сил».**

Пятая аксиома — аксиома «Принцип присоединения и удаления уравновешенной системы сил». Равновесие абсолютно твердого тела не нарушится, если к нему приложить или удалить уравновешенную систему сил (рис. 20).

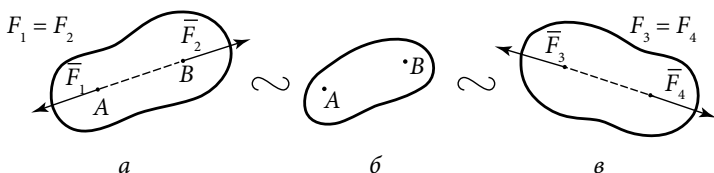


Рис. 20

■ **Следствие из второй и пятой аксиом.**

Силу, действующую на абсолютно твердое тело, можно переносить вдоль линии ее действия.

В точке A приложена сила  $\vec{F}$ , которую нужно перенести в точку B. Воспользуемся второй аксиомой и присоединим в точке B уравновешенную систему сил  $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ . При этом образуется вторая уравновешенная система



сил ( $\vec{F}$ ,  $\vec{F}_1$ ). Уберем эту систему сил и в точке  $B$  получим силу  $\vec{F}_2$ , равную силе  $\vec{F}$  (рис. 21).

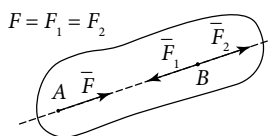


Рис. 21

### Виды связей и их реакции

В механике все тела делятся на **свободные** и **несвободные**.

#### ► Что значит «свободное тело»?

**Свободное тело** — это такое тело, которое не соприкасается ни с каким другим твердым телом и может беспрепятственно двигаться в пространстве в любом направлении. Например, птица в воздухе, мяч, подброшенный в воздух.

#### ► Что значит «несвободное тело»?

**Несвободное тело** — это такое тело, которое соприкасается с каким-либо другим твердым телом и не может беспрепятственно двигаться в пространстве в каком-либо направлении. Например, поезд на рельсах, автомобиль на дороге.

Книга лежит на поверхности стола и не может перемещаться под действием силы тяжести вниз. Стол будет являться **связью** для книги (рис. 22).

#### ► Что называется связью в теоретической механике?

**Связь** — это тело, которое ограничивает свободу движения другого тела (рис. 22).

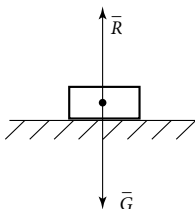


Рис. 22

В данном случае тело под действием силы тяжести  $\vec{G}$  стремится опуститься вниз, но опора не позволяет это сделать.

► **Существуют следующие виды связей:**

- 1) гладкая опорная поверхность — такая поверхность, у которой силы трения не учитываются;
- 2) точечная связь, или связь двухгранным углом;
- 3) гибкая связь;
- 4) связь с учетом сил трения;
- 5) шарнирная связь.

► **Какая сила называется реакцией связи?**

**Реакция связи** — это сила, действующая на тело со стороны связи, обозначается  $\vec{R}$ . Реакция всегда препятствует перемещению тела в том направлении, в котором связь препятствует движению тела. Реакцию направляют перпендикулярно опорной поверхности.

Рассмотрим подробнее виды связей.

1. Гладкая опорная поверхность, т. е. трение не учитывается (рис. 23).

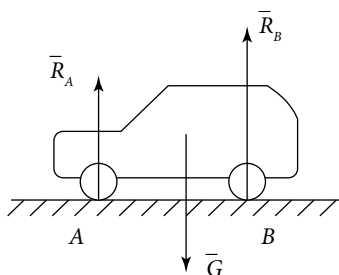


Рис. 23

В данном случае реакция направлена перпендикулярно опорной поверхности.

2. Точечная связь, или связь двухгранным углом (рис. 24).

Реакция опоры направлена перпендикулярно опорной поверхности в точке опоры.

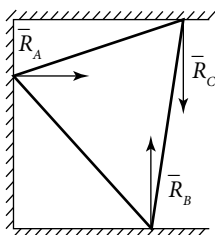


Рис. 24

3. Гибкая связь (рис. 25) (цепь в цепной передаче, ремень в ременной передаче, канат на канатной дорожке, трос, веревка для бабьи в колодце).

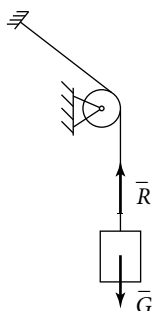


Рис. 25

От действия веса груза в веревке возникает реакция  $\bar{R}$ , которая препятствует падению тела вниз.

4. Связь с учетом сил трения (рис. 26).

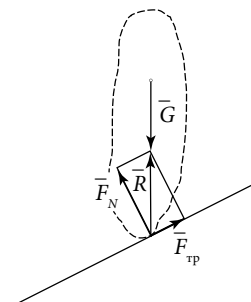


Рис. 26

*Учебное издание*

Надежда Алексеевна Кузьмина

# ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Ответственный редактор А. Боровиков  
Выпускающий редактор Г. Логвинова

Бумага типографская. Формат 84x108/32.  
Тираж 1500 экз.

Импортер на территории ЕАЭС: ООО «Феникс»  
344011, Россия, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, ул. Варфоломеева, 150  
Тел./факс: (863) 261-89-50, 261-89-59

Изготовлено в Украине. Дата изготовления: 05.2019  
Изготовитель: ООО «БЭТ». 61024, Украина, г. Харьков, ул. Ольминского, 17.