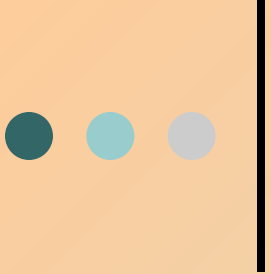


**Сопrotивление материалов** - наука о методах расчетов на прочность, жесткость, устойчивость и выносливость элементов машин и сооружений при одновременном удовлетворении требований надежности, экономичности и долговечности.

**Прочность** – это способность элемента конструкции сопротивляться разрушению под действием внешних сил.

**Жесткость** – это способность элемента конструкции деформироваться без существенного изменения геометрических размеров.

**Устойчивость** – это способность элемента конструкции сохранять под нагрузкой первоначальную форму равновесия.



**Выносливость** – это способность материала противостоять усталости.

**Усталость** – это процесс постепенного накопления повреждений под действием переменных напряжений, приводящий к изменению свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению.

**Надёжность** – свойство объекта сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки.

**Долговечность** – свойство элемента или системы длительно сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при определённых условиях эксплуатации.

# Гипотезы и допущения, принятые в сопротивлении материалов

**1. Гипотеза сплошности и однородности** — материал представляет собой однородную сплошную среду; свойства материала во всех точках тела одинаковы и не зависят от размеров тела. Атомистическая теория дискретного строения вещества во внимание не принимается. Гипотеза позволяет не учитывать особенности кристаллической структуры металла, разный химический состав и прочностные свойства связующего и наполнителей в пластмассах, бетонах (щебень, песок, цемент), наличие сучков в древесине.

**2. Гипотеза об изотропности материала** – физико-механические свойства материала одинаковы по всем направлениям. В некоторых случаях предположение об изотропии неприемлемо, материал является анизотропным. Так, анизотропными являются древесина, свойства которой вдоль и поперек волокон различны, а также армированные (композиционные) материалы.

**3. Гипотеза об идеальной упругости материала** – тело способно восстанавливать свою первоначальную форму и размеры после устранения причин, вызвавших его деформацию.

**4. Гипотеза о совершенной упругости материала** – перемещения точек конструкции в упругой стадии работы материала прямо пропорциональны силам, вызывающим эти перемещения (справедлив закон Гука). В действительности реальные тела можно считать упругими только до определенных величин нагрузок, и это необходимо учитывать, применяя формулы сопротивления материалов.

**5. Гипотеза Бернулли о плоских сечениях** – поперечные сечения, плоские и нормальные к оси стержня до приложения к нему нагрузки, ос-



таются плоскими и нормальными к его оси в деформированном состоянии; при изгибе сечения поворачиваются не искривляясь.

**6. Принцип Сен-Венана** – в сечениях, достаточно удаленных от мест приложения нагрузки, деформация тела не зависит от конкретного способа нагружения и определяется только статическим эквивалентом нагрузки. Резко выраженная неравномерность распределения напряжений по сечению 2-2, показанная на рисунке, постепенно выравнивается (сечение 3-3) и на удалении, равном ширине сечения (сечения 4-4 и 5-5), исчезает.

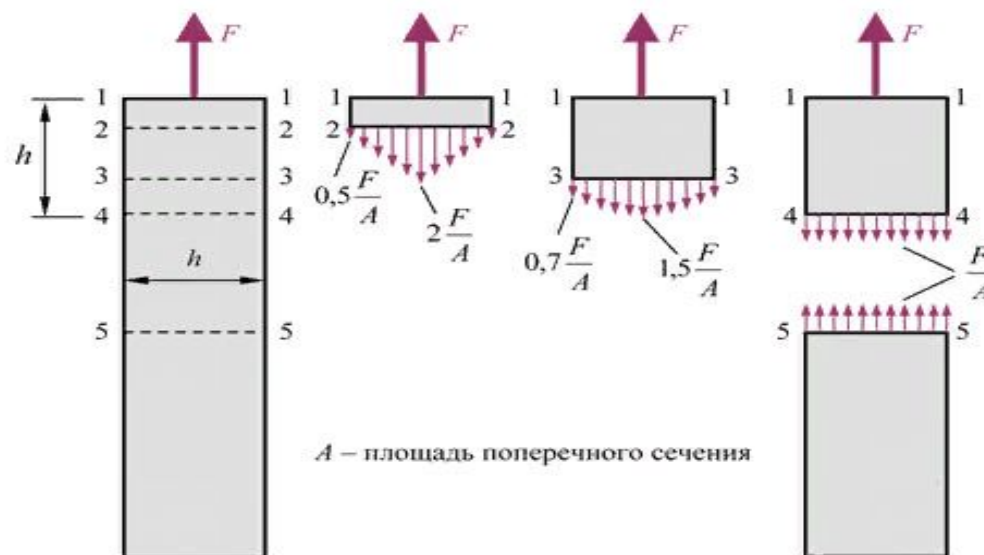


Рис. 1.1. Распределение нормальных напряжений в поперечных сечениях стержня при растяжении сосредоточенной силой

**7. Принцип Д'Аламбера** – если к активным силам, действующим на точки механической системы, и реакциям наложенных связей присоединить силы инерции, то получится уравновешенная система сил. Принцип используется в расчетах на прочность при динамическом действии сил.

**8. Принцип независимости действия сил (принцип суперпозиции)** – результат воздействия нескольких внешних факторов равен сумме результатов воздействия каждого из них, прикладываемого в отдельности, и не зависит от последовательности их приложения. Это же справедливо и в отношении деформаций.

**9. Принцип начальных размеров (гипотеза о малости деформаций)** – деформации в точках тела настолько малы по сравнению с размерами деформируемого тела, что не оказывают существенного влияния на

*взаимное расположение нагрузок, приложенных к телу.* Допущение применяют при составлении условий статики, считая тело абсолютно твердым.

**10. Допущение об отсутствии начальных внутренних усилий в теле до приложения нагрузки.** Почти во всех реальных деталях и элементах конструкций указанное допущение полностью не выполняется. Внутренние напряжения возникают в деревянных конструкциях вследствие неравномерного высыхания; в стальных и чугуновых отливках – вследствие неравномерного охлаждения; в стальных деталях – вследствие термической (закалка...) и механической (шлифование...) обработок. Формирование колесных пар для железнодорожных вагонов осуществляют путем запрессовки колес на ось. За счет натяга создаются напряжения в ступице колеса и подступичной части оси.

**Замечание о точности расчетов и округлении результатов.** С учетом изложенных гипотез и допущений, а также разбросов результатов экспериментов по определению механических свойств, точность инженерных расчетов не превышает 3–5 %. В некоторых случаях погрешность 10–15 % считают приемлемой. На практике, если нет специальных указаний, результат округляют до трех значащих цифр. Например, результат **568 234** следует округлить до **568 000**, а результат **0,00237648** – до **0,00238** или  **$2,38 \cdot 10^{-3}$** .



# Типы схематизаций, используемые в сопротивлении материалов

## 1.3. Типы схематизаций, используемые в сопротивлении материалов

*Реальный объект* – исследуемый элемент конструкции, взятый с учетом всех своих особенностей: геометрических, физических, механических и других.

Расчет реального объекта является или теоретически невозможным, или практически неприемлемым по своей сложности. Поэтому в сопротивлении материалов используют расчетные схемы, в которых применяют упрощения, облегчающие расчет.

*Расчетная схема* – идеализированная схема, отражающая наиболее существенные особенности реального объекта, определяющие его поведение под нагрузкой. В зависимости от постановки задачи и требуемой точности ее решения для одной и той же конструкции может быть предложено

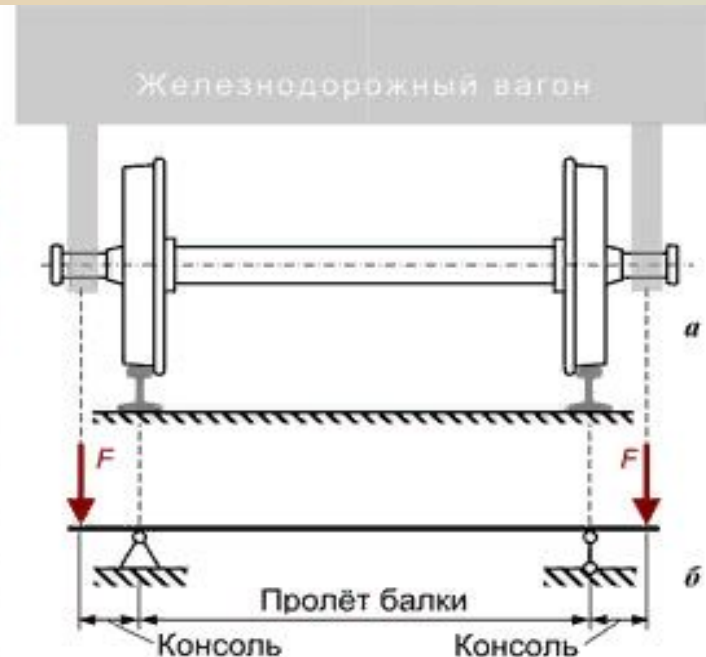


Рис. 1.2. Пример реальной конструкции (а) и соответствующей ей расчётной схемы (б)

но несколько расчетных схем. Так же и одна расчетная схема может соответствовать различным конструкциям.

Основная цель сопротивления материалов – создать практически приемлемые простые приемы (методики) расчета типовых наиболее часто встречающихся элементов конструкций. Необходимость перехода от реального объекта к расчетной схеме (с целью упрощения расчетов) заставляет вводить схематизацию понятий. Выделяют следующие типы схематизации:

*физическая схематизация;*

*геометрическая схематизация;*

*силовая схематизация.*

### **Физическая схематизация (модель материала)**

Все изучаемые тела считают выполненными (изготовленными) из материалов, наделенными идеализированными свойствами. Материал элементов конструкций считают *сплошным, однородным, изотропным и линейно упругим* (см. выше гипотезы 1, 2, 3, 4).

### **Геометрическая схематизация (модель формы)**

Виды конструктивных элементов, встречающихся в сооружениях и машинах, при всем их разнообразии, можно свести к четырем основным категориям.

**Массивное тело** – тело, у которого все три размера величины одного порядка (рис. 1.3). Это – фундаменты сооружений, подпорные стенки, станины станков и т. п.



Рис. 1.3. Массивное тело

**Брус** – тело, одно из измерений которого, значительно больше двух других. Брусья с прямолинейной осью постоянного сечения (*а*), переменного сечения (*б*), ступенчатый (*в*), тонкостенный (толщина стенок значительно меньше габаритных размеров сечения) стержень (*г*), с криволинейными осями (*д*), (*е*), (*ж*) (рис. 1.4).

**Оболочка** – тело, ограниченное двумя криволинейными поверхностями, расположенными на близком расстоянии одна от другой (рис. 1.5). Геометрическое место точек, равноудаленных от обеих поверхностей оболочки, называют *срединой поверхностью*. По форме срединной поверхности различают оболочки цилиндрические, конические, сферические и др. К оболочкам относятся тонкостенные резервуары, котлы, купола зданий, обшивки фюзеляжей, крыльев (и других частей летательных аппаратов), корпуса судов и т. п.

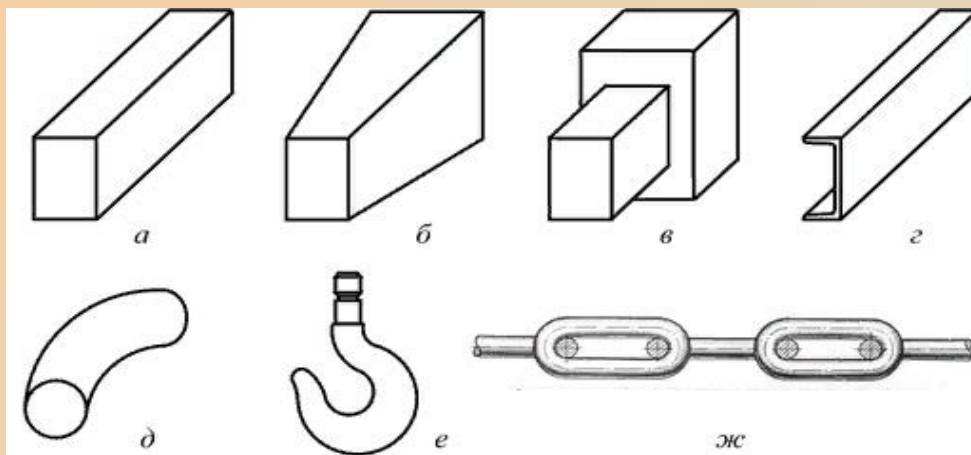


Рис. 1.4. Примеры брусьев различной формы



Рис. 1.5. Оболочка

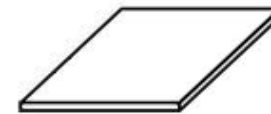


Рис. 1.6. Пластина

**Пластина** – тело, ограниченное двумя параллельными поверхностями (рис. 1.6). Пластины могут быть круглыми, прямоугольными и иметь другие очертания. Толщина пластин, как и оболочек, может быть постоянной или переменной. Пластинами являются плоские днища и крышки резервуаров, перекрытия инженерных сооружений, диски турбомашин и т. п.

Тела, имеющие эти основные формы, и являются объектами расчета на прочность, жесткость и устойчивость. В настоящем учебном пособии рассматриваются разделы, связанные с расчетом брусьев с прямолинейной геометрической осью.

### Схематизация опор

Схемы реальных опорных устройств можно свести к трем типам.

**Шарнирно-подвижная опора** балки (рис. 1.7, а) препятствует только вертикальному перемещению конца балки, но ни горизонтальному перемещению, ни повороту. Такая опора при любой нагрузке дает одну реакцию.

**Шарнирно-неподвижная опора** (рис. 1.7, б) препятствует вертикальному и горизонтальному перемещениям конца балки, но не препятствует повороту сечения. Дает две реакции: вертикальную и горизонтальную.



**Заделка (защемление)** (рис. 1.7, в). Опора препятствует вертикальному и горизонтальному перемещениям конца балки, а также повороту сечения. Дает три реакции: вертикальную и горизонтальную силы и пару сил.

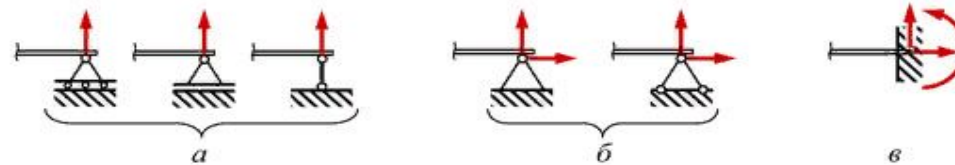


Рис. 1.7. Схемы опорных устройств варианты их изображения: а – шарнирно-подвижная опора; б – шарнирно-неподвижная опора; в – защемление (жесткая заделка)

### Силовая схематизация (модель нагружения)

В нагруженном теле, находящемся в равновесии, **внешние нагрузки** стремятся вызвать деформацию тела, а **внутренние усилия** стремятся сохранить тело как единое целое.

**Внешние нагрузки** – силы взаимодействия между рассматриваемым элементом конструкции и другими телами, связанными с ним.

Классификация внешних нагрузок производится по трем признакам: способу приложения, продолжительности действия, характеру изменения.

**По способу приложения:** сосредоточенные, распределенные.

**Сосредоточенными** (рис. 1.8, а) называют силы, приложенные к площадкам, размеры которых малы по сравнению с размерами объекта, например, давление обода колеса на рельс. Размерность Н, кгс (ньютон, килограмм силы).

**Распределенными по площади (поверхностными)** (рис. 1.8, б) называют силы, приложенные к площадкам контакта, например, давление жидкости или газа на стенки сосуда, снеговая нагрузка на кровлю здания. Давление выражается в единицах силы, отнесенных к единице площади,  $\text{Н/м}^2$ ,  $\text{кгс/см}^2$ . Производная единица Паскаль:  $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ .

**Распределенные по длине** (рис. 1.9, а) равномерно или по заданному закону (треугольному, параболическому...). Размерность  $\text{Н/м}$ ,  $\text{кгс/м}$ .

**Объемные силы** (рис. 1.9, б) непрерывно распределены по объему, занимаемому элементом, например, сила тяжести, сила инерции. Характеризуются интенсивностью, то есть отношением единицы силы к единице объема,  $\text{Н/м}^3$ ,  $\text{гс/см}^3$ .

**По продолжительности действия:** постоянные и временные.

**Постоянные** действуют в течение всего времени существования конструкции, например, нагрузка на фундамент здания.

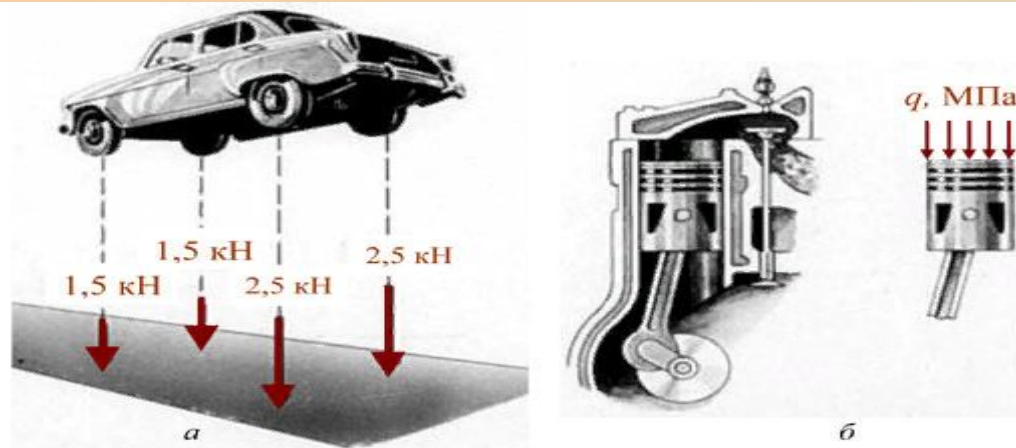


Рис. 1.8. Примеры сосредоточенной (а) и равномерно распределенной по площади (б) нагрузок

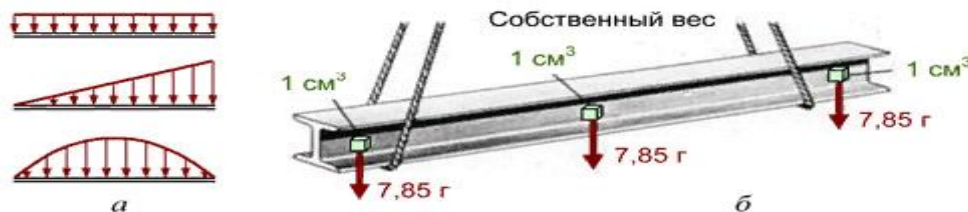


Рис. 1.9. Виды распределенной по длине (а) и объему (б) нагрузок

**Временные** действуют на протяжении отдельных периодов эксплуатации объекта, например, давление газа в баллоне.

#### По характеру изменения в процессе приложения

**Статические** – постоянные (нагрузка от собственного веса), или медленно изменяющиеся так, что силами инерции вследствие ускорения можно пренебречь (изменение давления от снеговой нагрузки).

**Динамические** – вызывающие в конструкции или отдельных ее элементах большие ускорения, которыми пренебречь нельзя. Величина этой нагрузки значительно изменяется за малые промежутки времени, например, ударная.

**Повторно-переменные** – изменяющиеся по некоторому закону.

Примеры: изменение натяжения ветви ремня (или цепи) в зависимости от ее положения в текущий момент времени – сбегающая или набегающая ветвь на ведущий шкив (звездочку). Изменение натяжения спицы велосипедного колеса в зависимости от ее положения (верхнее или нижнее в данный момент вращения колеса).



## Контрольные вопросы:

1. Каковы основные гипотезы, допущения и предпосылки положены в основу науки о сопротивлении материалов?
2. Какие основные задачи решает сопротивление материалов?
3. Что называется прочностью, жесткостью и устойчивостью детали или конструкции?
4. В чем заключается сущность расчетов на прочность, жесткость и устойчивость?
5. Как в сопротивлении материалов называется тело, длина которого значительно больше размеров его поперечного сечения?
6. Какие материалы называются анизотропными? Приведите примеры.
7. Схематизация элементов конструкций
8. Схематизация силовых нагрузок