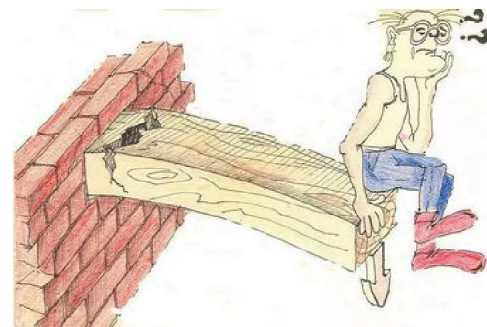
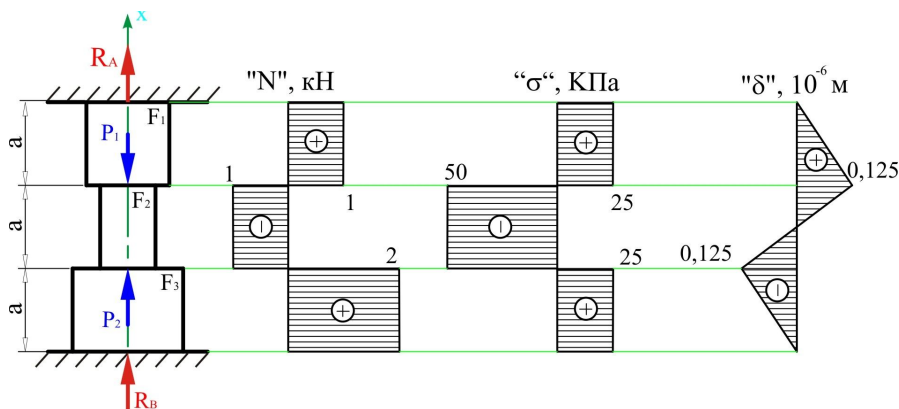


Основные понятия сопромата

Сопротивление материалов – наука о прочности и надёжности деталей машин и конструкций.

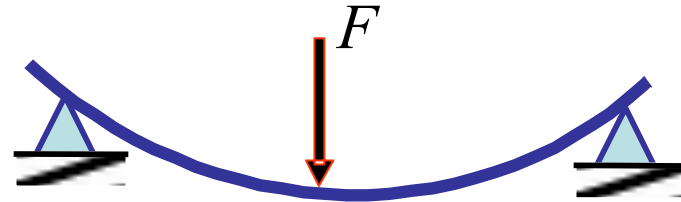
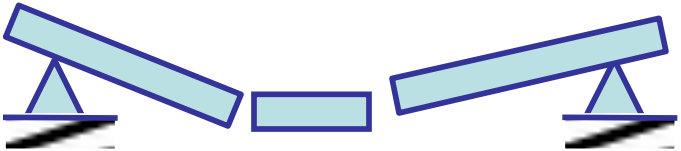
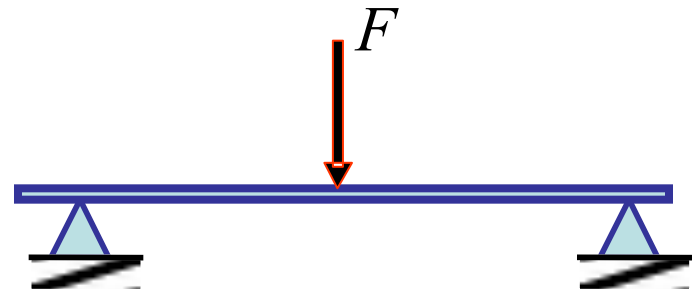
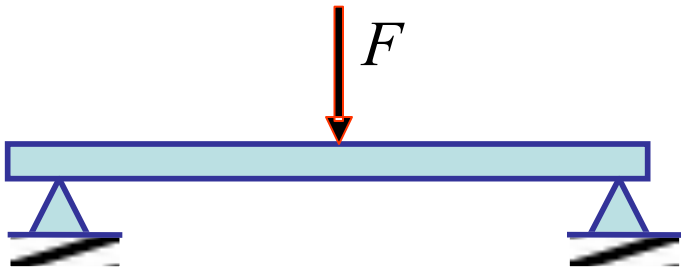
Сопротивление материалов - раздел технической механики, в котором изучаются экспериментальные и теоретические основы и методы расчета наиболее распространенных элементов различных конструкций, находящихся под воздействием внешних нагрузок, на прочность, жесткость и устойчивость, с учетом требований надежности, экономичности, технологичности изготовления, удобства транспортировки и монтажа, а также безопасности при эксплуатации.

Задача сопротивления материалов является разработка методов расчета на прочность, жесткость и устойчивость с целью получения надежных и экономически обоснованных размеров элементов конструкций.



Понятие прочности

Способность детали или конструкции сопротивляться действием внешних сил не получая значительных пластических деформаций и не разрушаясь (не распадаясь на две и более частей) называется **прочностью**.



Деталь разрушается, то есть распадается на две или более частей. **Теряет прочность**

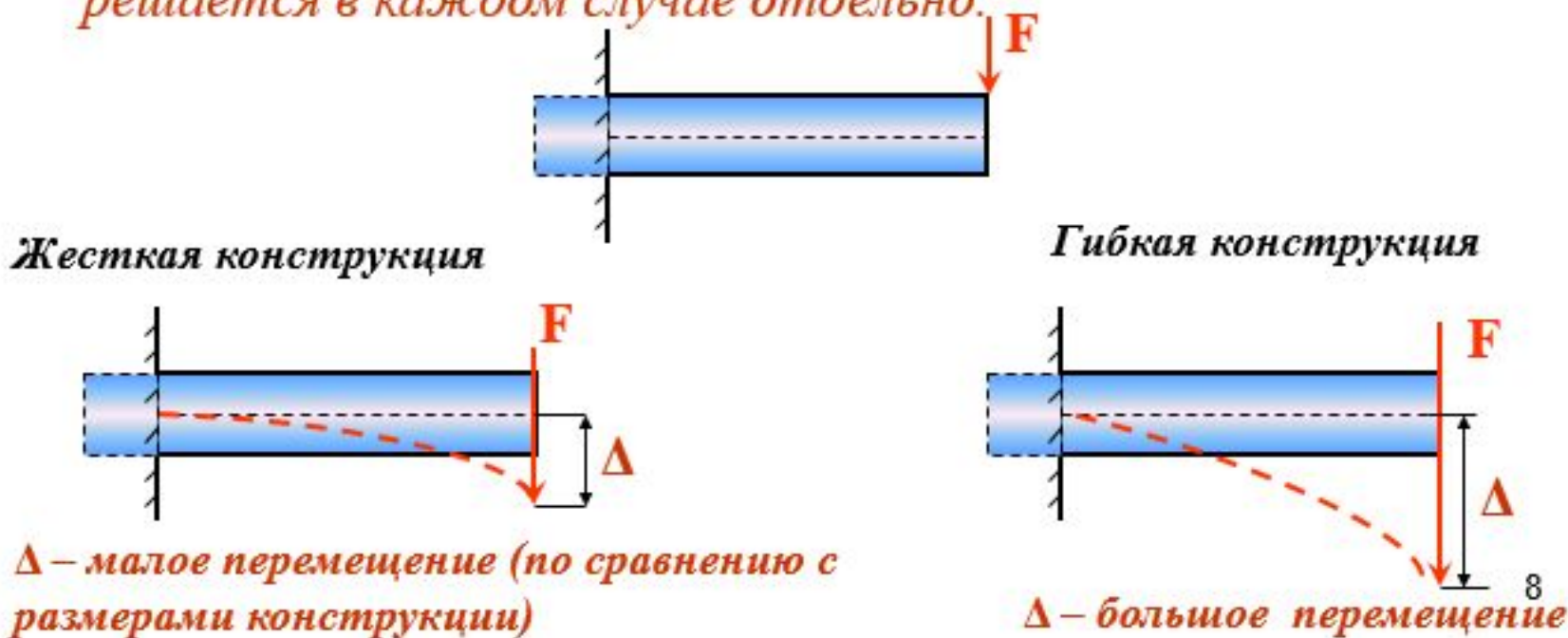
В детали возникают значительные пластические деформации, которые не исчезают после снятия нагрузки. **Теряет прочность**

Понятие жесткости

Деформация тела (изменение формы и размеров) - **такое свойство** тела, без которого оно не может воспринимать нагрузку.

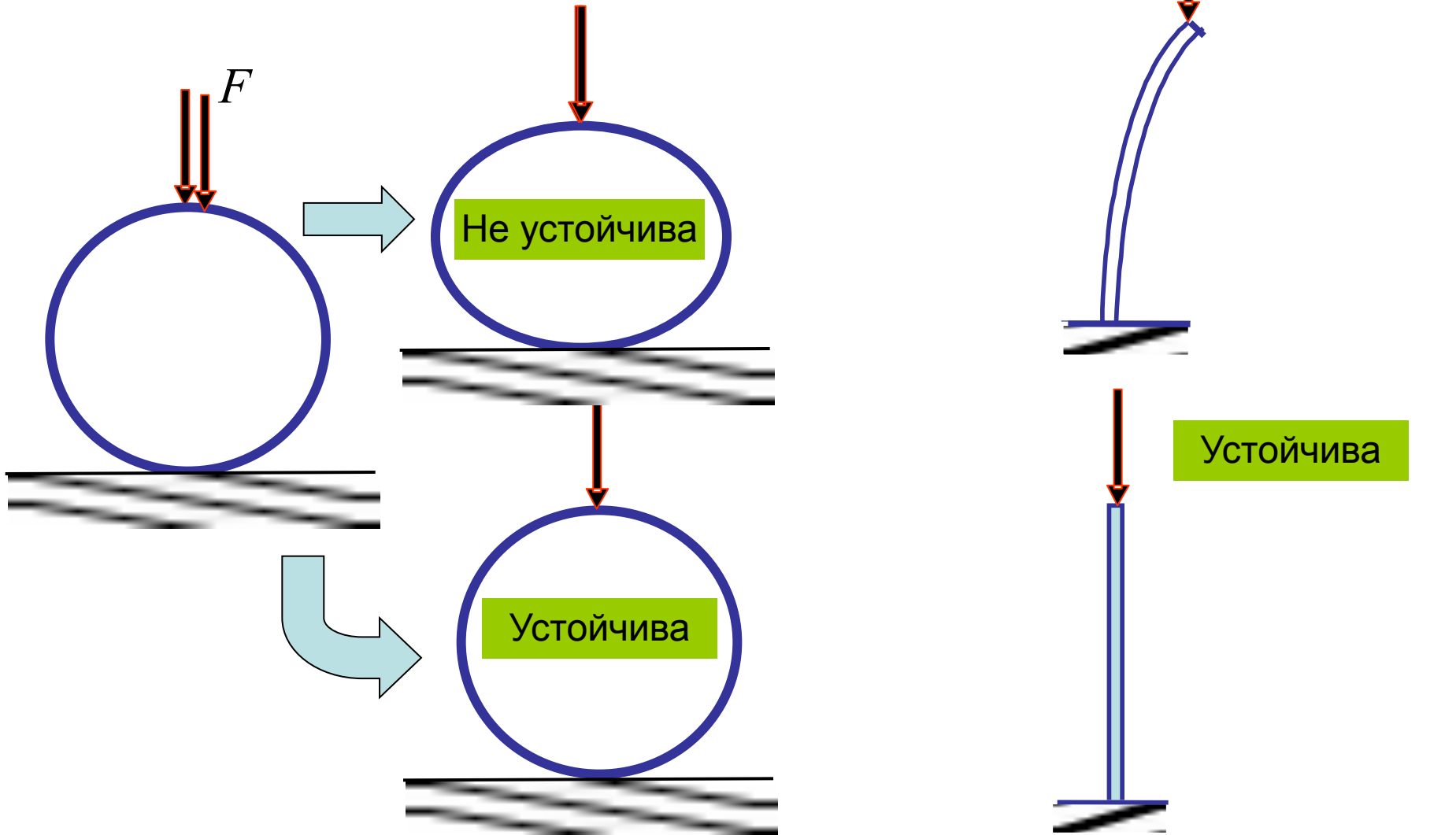
Способность конструкции под воздействием заданной нагрузки сохранять свои размеры и форму в установленных пределах называется **жесткостью**.

Вопрос об установлении числовых значений этих пределов решается в каждом случае отдельно.



Понятие устойчивости

Конструкция или деталь называется **устойчивой**, если в результате действия на нее заданных нагрузок она сохраняет первоначальную форму упругого равновесия.



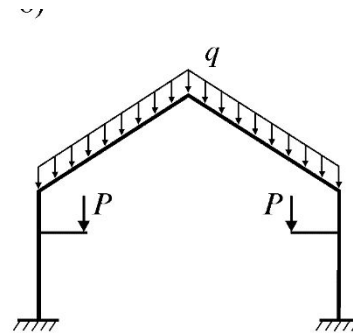
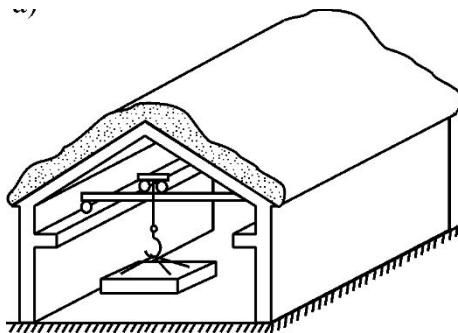
Понятие расчетной схемы

Расчетная схема – идеализированная схема, отражающая наиболее существенные особенности реального объекта, определяющие его поведение под нагрузкой.

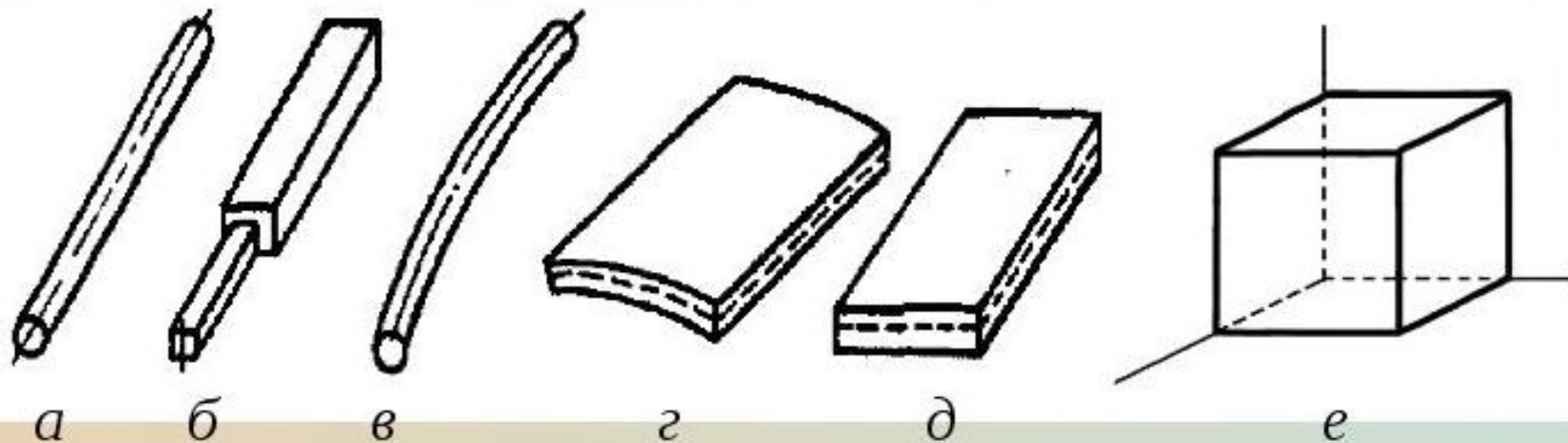
Основная цель сопротивления материалов – создать практически приемлемые простые приемы (методики) расчета типовых наиболее часто встречающихся элементов конструкций.

Расчетную схему составляют в следующем порядке:

1. Разбивают конструкцию на простые элементы
2. Каждый простой элемент конструкции заменяют соответствующим расчетным элементом (брусом, пластиной, оболочкой, массивным телом);
3. Выбирают схему опорных частей элемента или конструкции (подвижный и неподвижный шарнир, жесткая заделка и другие);
4. Выбирают вариант соединения элементов конструкции между собой и с опорными частями (жесткий или шарнирный) .



Основные виды элементов конструкции



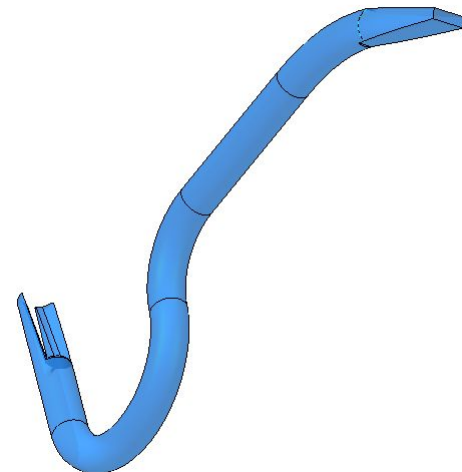
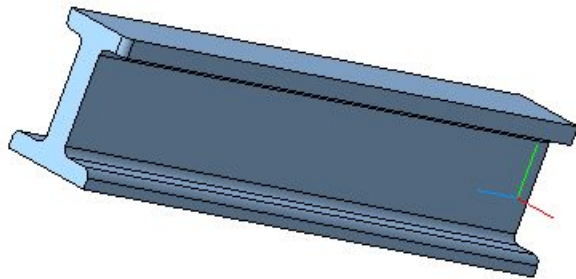
a, б, в – брус; *г* – оболочка; *д* – пластина; *е* – массив

Брусом называется расчетный элемент, длина которого значительно больше размеров его поперечного сечения. Брусья классифицируются по форме поперечного сечения и форме оси.

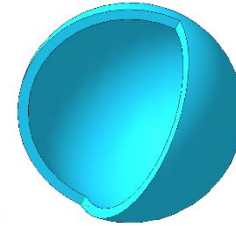
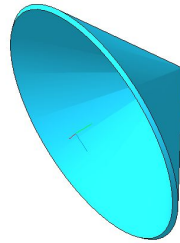
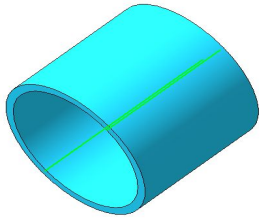
По *форме поперечного сечения* различают брусья постоянного сечения и переменного сечения. По *форме оси* – прямолинейные и криволинейные брусья.

Примерами прямых брусьев являются балки и стержни мостовых и козловых кранов, валы редукторов и коробок передач, оси транспортных средств.

Примерами кривых брусьев служат грузоподъемные крюки, звенья сварных цепей, струбцины, коленчатые валы, станины станков.

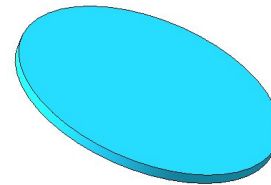
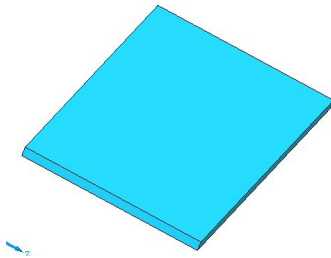


Оболочкой называется элемент произвольной формы, длина и ширина которого во много раз превышает его толщину. Оболочки могут иметь цилиндрическую, коническую или сферическую форму.

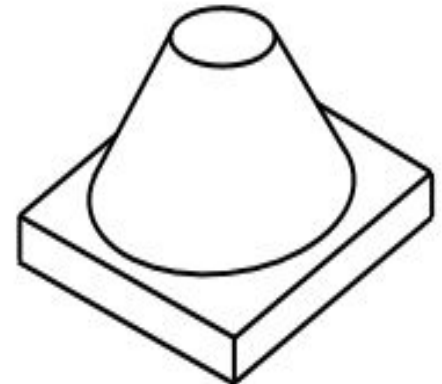


Оболочка, срединная поверхность которой представляет собой плоскость, называется **пластинкой**.

Встречаются пластинки прямоугольные и круглые.

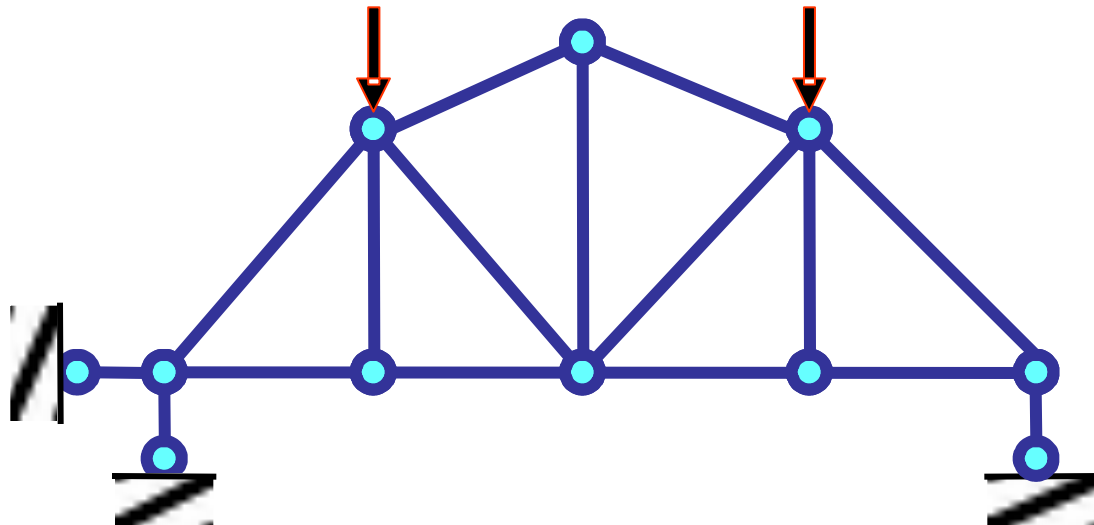
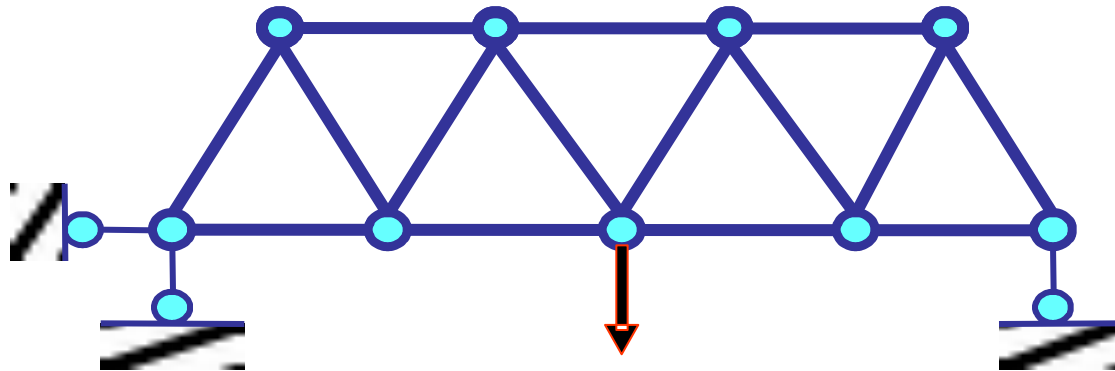


Массивное тело – тело, у которого все три размера величины одного порядка. Это – фундаменты сооружений, подпорные стенки, станины станков и т. п.

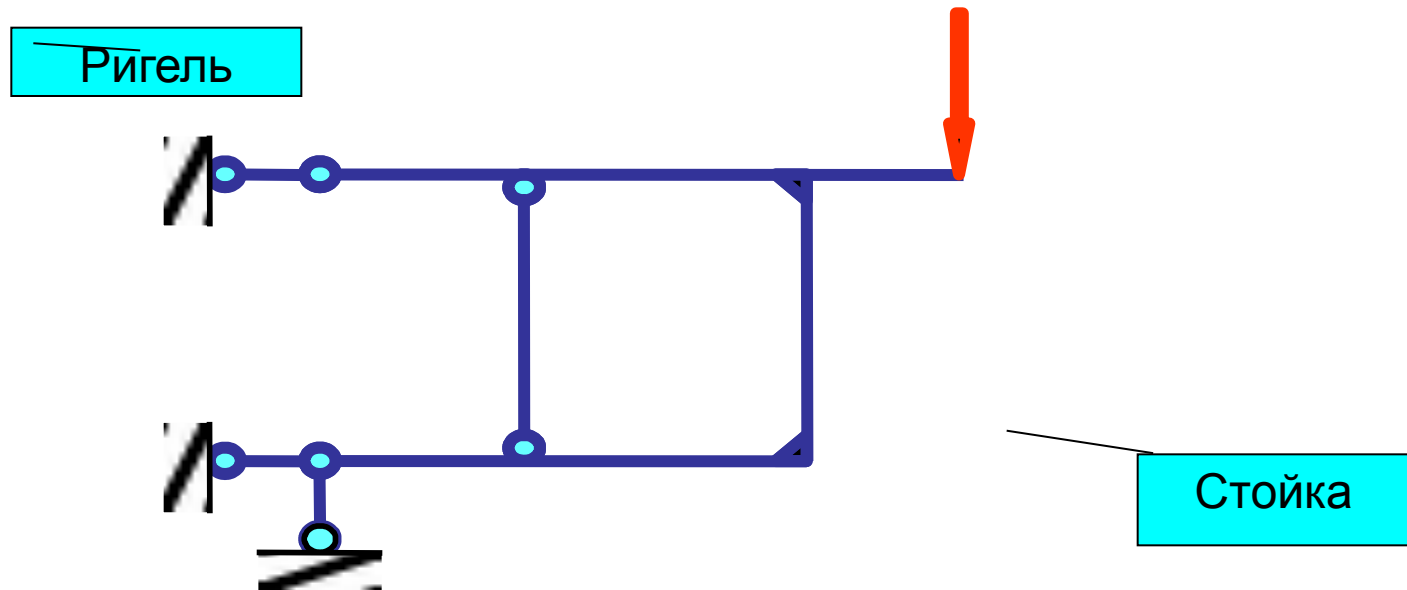


Соединение расчетных форм между собой

Конструкция, составленная из нескольких шарнирно соединенных брусьев, в которые действуют только растягивающие или сжимающие усилия, называется **фермой**.



Плоская или пространственная, геометрически неизменяемая конструкция, составленная из нескольких брусьев (стоек и ригелей) во всех или нескольких узлах жестко соединенных между собой и в которых действует изгибающий момент, называется **рамой**.



Вертикальный, неподвижный элемент рамы, выполненный в виде сплошного или решетчатого бруса, называется **стойкой**.

Горизонтальный или наклонный брус (сплошной или решетчатый), связывающий между собой стойки рам называется **ригелем**. Ригель служит опорой для плит, прогонов, навесных элементов

Классификация нагрузок

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

Нагрузки различают:

- **по способу** приложения: *объемная* нагрузка действует во всех точках (собственный вес, инерционные силы и др.), *поверхностная* нагрузка распределена по поверхности (снег, ветер и др.);
- **по времени действия**: *постоянная* нагрузка действует всегда и часто сохраняется в течение всей жизни сооружения (собственный вес), *временная* нагрузка действует только в определенный период или момент (снег, ветер);
- **по способу действия**: *статическая* нагрузка действует так, что сооружение сохраняет статическое равновесие, *динамическая* - вызывает инерционные силы и нарушает это равновесие. Источниками динамической нагрузки являются различные машины и механизмы, ветер, землетрясения и др. *Подвижные нагрузки* меняют свое положение (поезд, автотранспорт, группа людей и т.д.).

Внешние силы

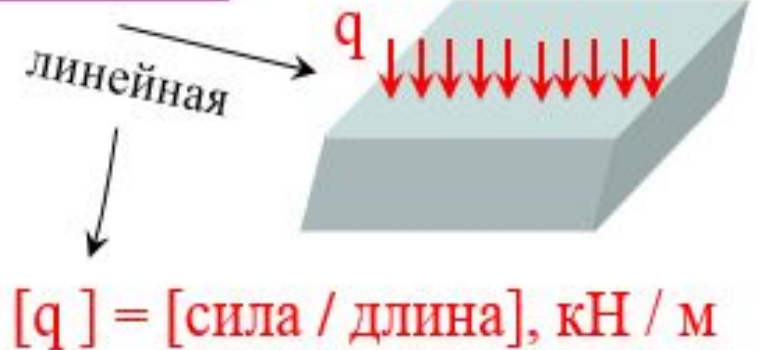
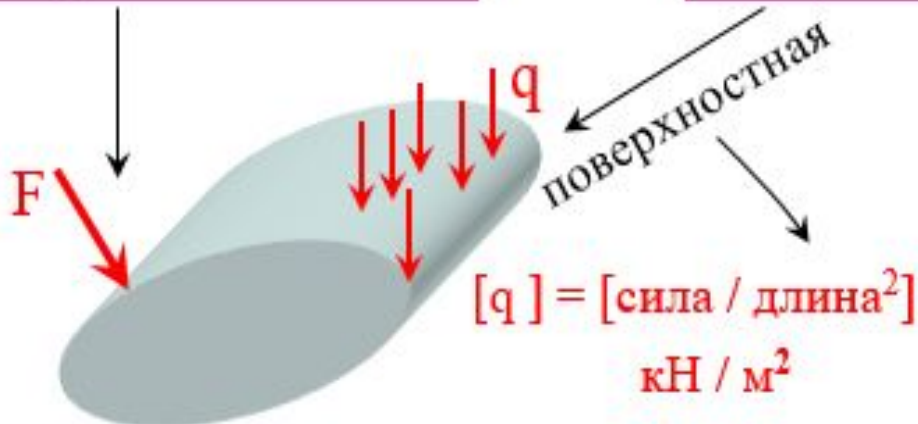
Поверхностные

Объемные

(силы тяжести, силы инерции)

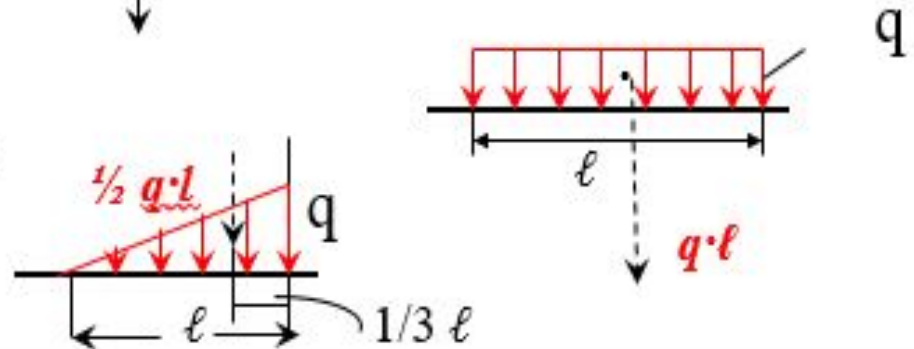
Сосредоточенные

Распределенные



$[F] = [\text{сила}]$
Н, кН, МН.

Равномерно
распределенная:
Неравномерно
распределенная



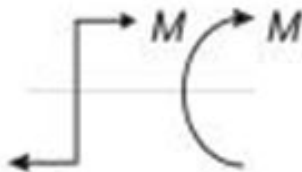
Внешние силы делятся на **активные** и **реактивные**.
Активные силы определяются служебным назначением детали, реактивные – это реакции опорных устройств.

Активные нагрузки

- сосредоточенные силы

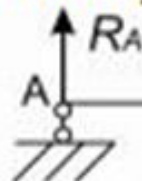


- сосредоточенные моменты (пары сил)

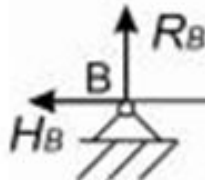


Реактивные нагрузки

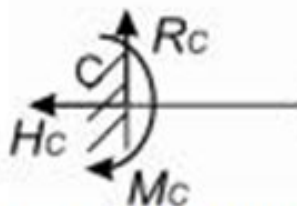
Вот некоторые виды опор,



шарнирно-подвижная
опора



шарнирно-неподвижная
опора



жесткое защемление
(заделка)

в которых возникают:

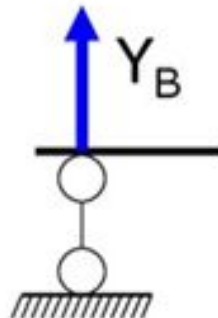
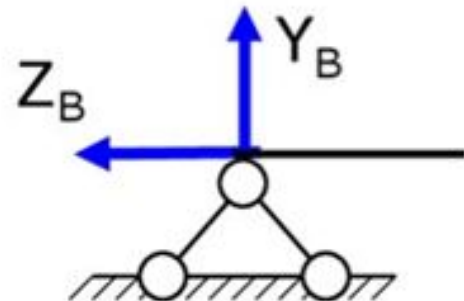
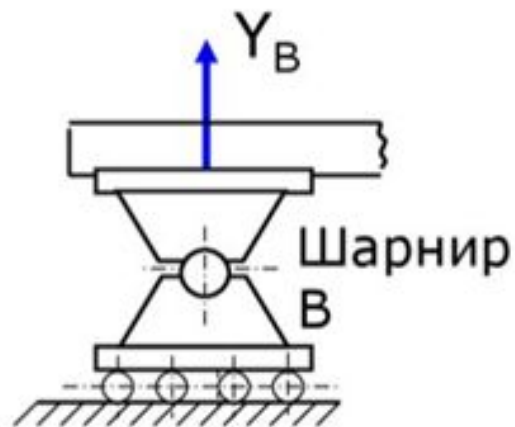
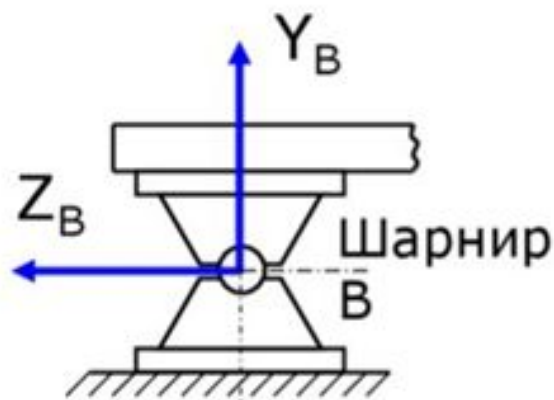
- реактивные силы (R_A, R_B, H_B, R_C, H_C);
- реактивные моменты (M_C).

Классификация опор и опорные реакции

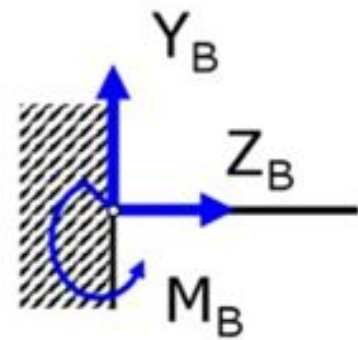
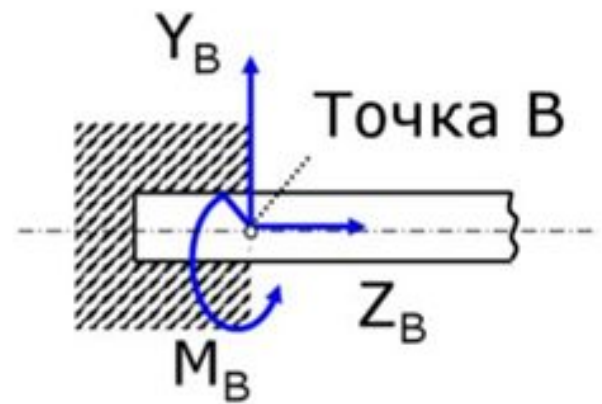
Шарнирные опоры

неподвижная

подвижная



Жесткая заделка

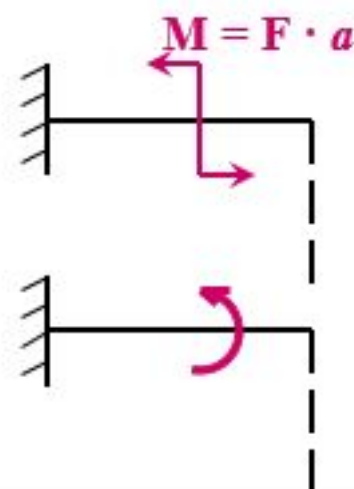
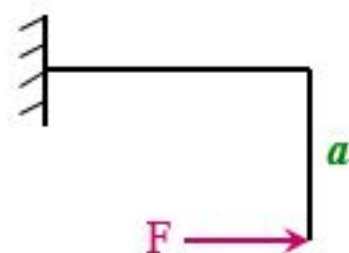
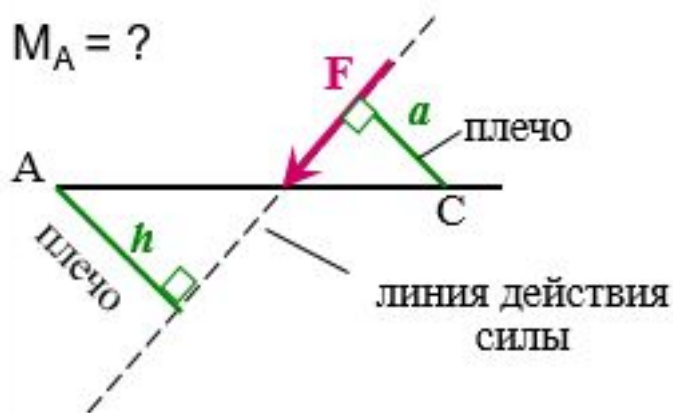


Кроме сосредоточенных и распределенных сил, к нагрузке относится **внешний момент силы (момент)**.

Момент – произведение силы на плечо.

Плечо – перпендикуляр, опущенный из точки, относительно которой берется момент, на линию действия силы.

$$M_A = ?$$



Плоскости действия моментов:

$$M_A = F \cdot h$$

$$M_C = -F \cdot a$$



$$[M] = \text{Н} \cdot \text{м}; \text{кН} \cdot \text{м}; \text{МН} \cdot \text{м}.$$

Основные гипотезы и допущения сопротивления материалов

Гипотеза о сплошности

Сплошность – материал имеет сплошное строение.

Гипотеза об однородности и изотропности

Однородность материала – одинаковые свойства во всех точках тела и в любом направлении.

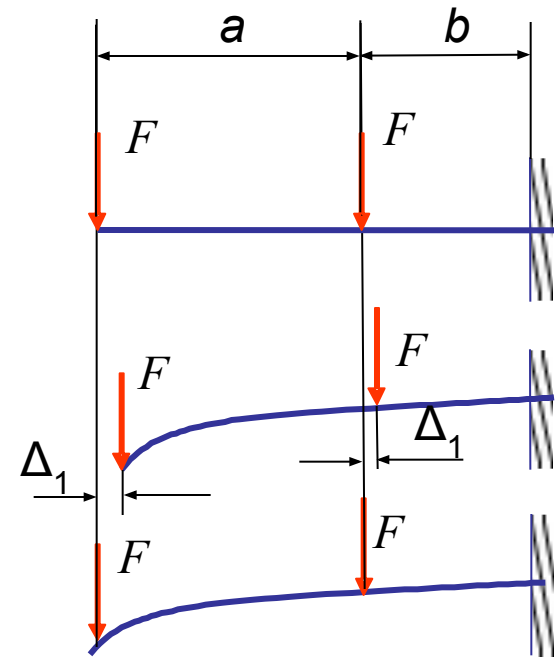
Тела рассматриваемые в сопротивлении материалов являются ***изотропными***.

Изотропными называются материалы, упругие и прочностные характеристики которых во всех направлениях одинаковы (сталь, чугун, гранит..).

Анизотропными называются материалы, упругие и прочностные свойства которых во всех направлениях различны (дерево).

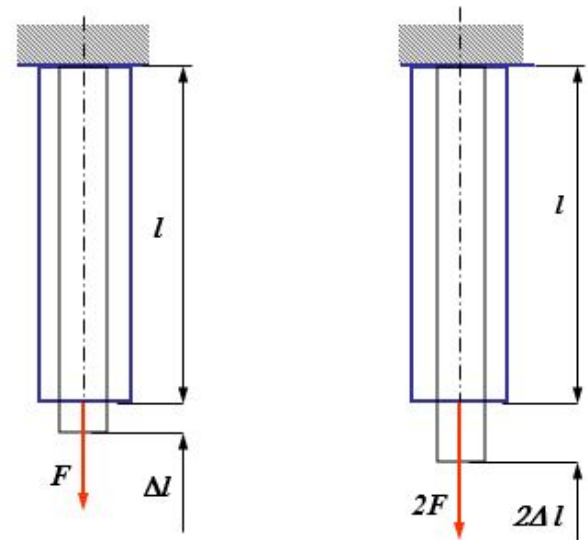
Гипотеза малых деформаций

заключается в следующем—деформации конструкции или детали предполагаются настолько малыми, что можно не учитывать их влияние на взаимное расположение нагрузок и на расстояние от нагрузок до любых точек конструкции.



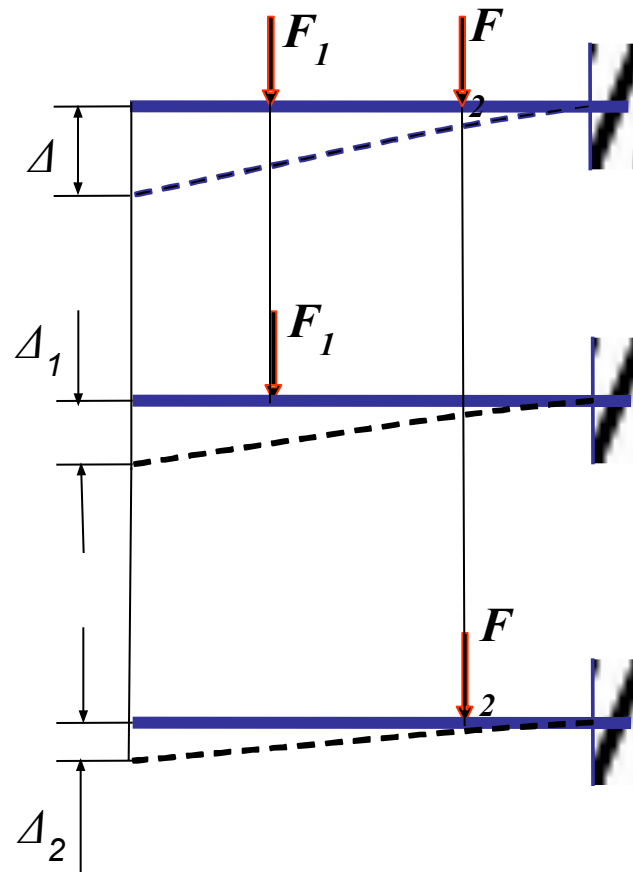
Гипотеза об идеальной упругости материала

Деформации тела подчиняется закону Гука: деформации материала в каждой его точке прямо пропорциональны напряжениям в этой точке.



Принцип независимости действия сил (принцип суперпозиций)

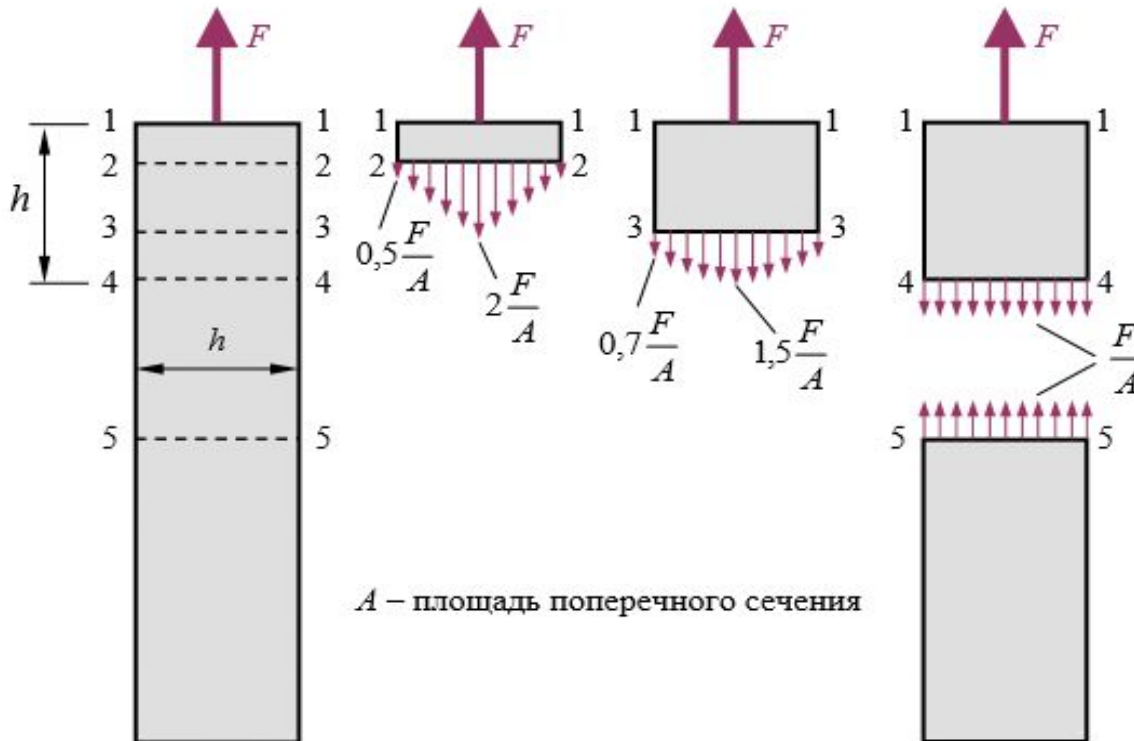
Принцип независимости действия сил заключается в том, что результат воздействия на конструкцию нескольких сил равен алгебраической сумме результатов воздействия каждой силы в отдельности и не зависит от порядка их приложения.



$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$$

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.



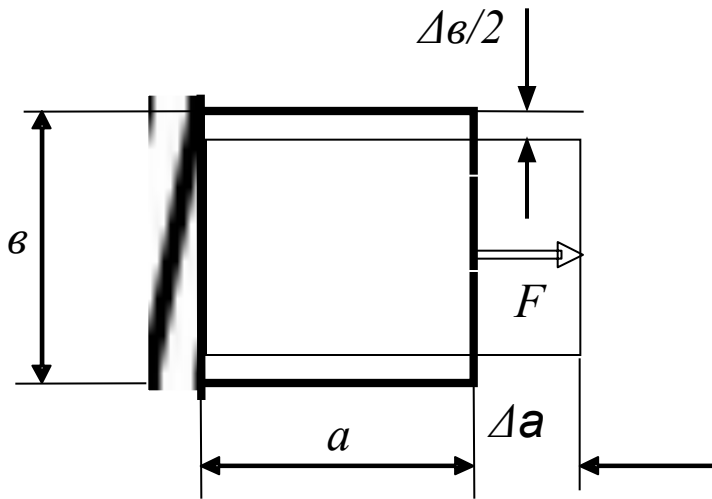
Резко выраженная неравномерность распределения напряжений по сечению 2-2, показанная на рисунке, постепенно выравнивается (сечение 3-3) и на удалении, равном ширине сечения (сечения 4-4 и 5-5), исчезает

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

Виды деформаций

Реальные тела не являются абсолютно твердыми и под действием приложенных сил могут изменять свое положение в пространстве.

Изменение формы и размеров тела в результате действия внешних нагрузок, называется **деформацией**.



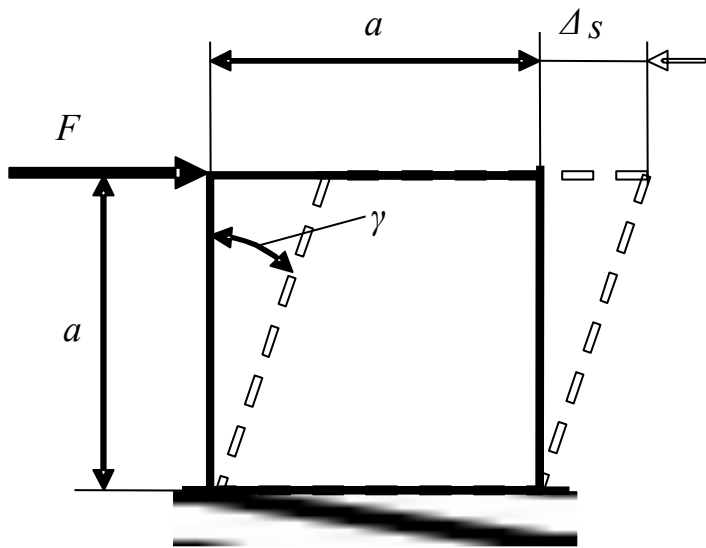
Любая деформация элементов тела может быть разложена на два вида элементарных деформаций: **линейные** и **угловые**.

Линейными называются деформации, при которых происходит изменение линейных размеров бруса, а все угловые соотношения остаются неизменными.

Приращение длины ребра бруса после деформации Δa (Δb) называется **абсолютным удлинением** (укорочением).

Мерой линейной продольной деформации является **относительное удлинение**, ε , которое равно отношению абсолютного удлинения бруса, Δa к начальному размеру a :

$$\varepsilon = \frac{\Delta a}{a}$$



Угловыми называются деформации, при которых изменяются углы между ребрами бруса за счет сдвига одной плоскости элемента относительно другой.

Величина перемещения любой точки в плоскости сдвига Δs , называется **абсолютным сдвигом**.

Мерой угловой деформации является **относительный сдвиг**, γ , который равен отношению абсолютного сдвига Δs к расстоянию между плоскостями сдвига a :

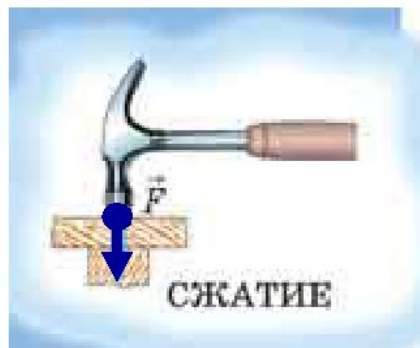
$$\gamma \approx \operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta s}{a}$$

Под действием внешних нагрузок происходит деформация тела, т.е. изменение размеров или формы тела.

Упругой называется деформация, которая полностью исчезает после снятия внешних нагрузок. Тело после воздействия силы возвращается в первоначальную форму.

Деформации, которые не исчезают после снятия внешних нагрузок, вызвавших их, называются **пластическими или остаточными**.

Виды упругих деформаций

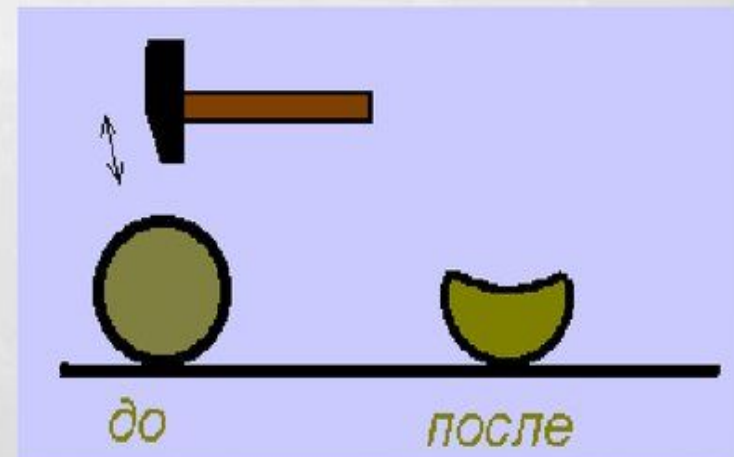
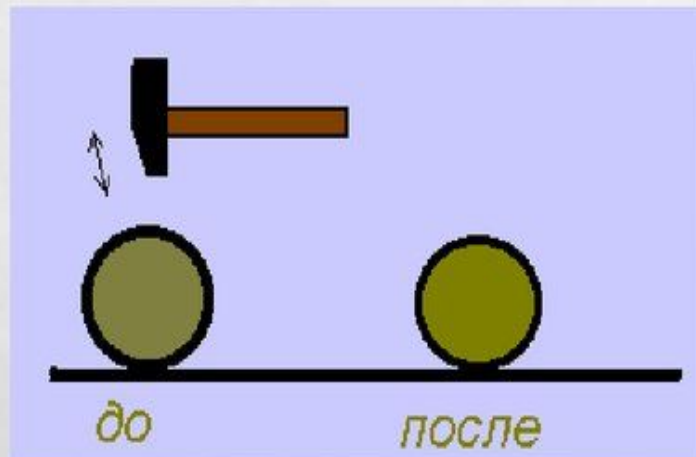


ДЕФОРМАЦИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

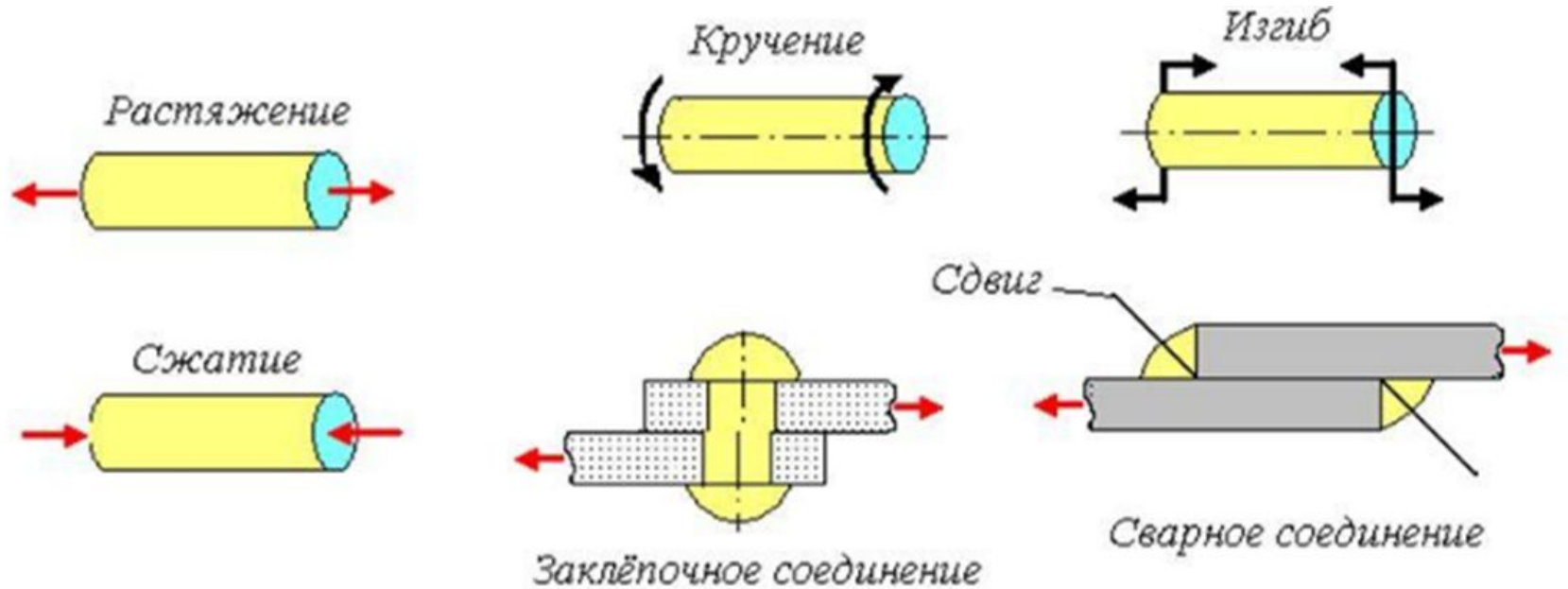
ДЕФОРМАЦИЯ – ИЗМЕНЕНИЕ ФОРМЫ ИЛИ ОБЪЕМА ТЕЛА
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ СИЛ:

УПРУГАЯ

ПЛАСТИЧЕСКАЯ



Виды деформирования материалов



Комбинированное (сложное) сопротивление



ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ

ДЕФОРМАЦИИ В БЫТУ



ИЗГИБ

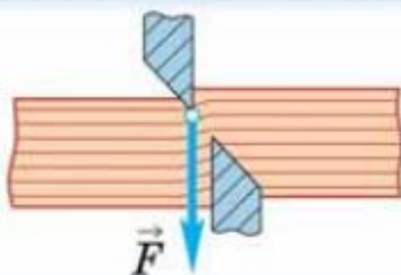
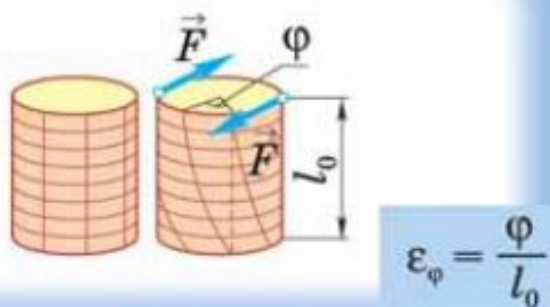
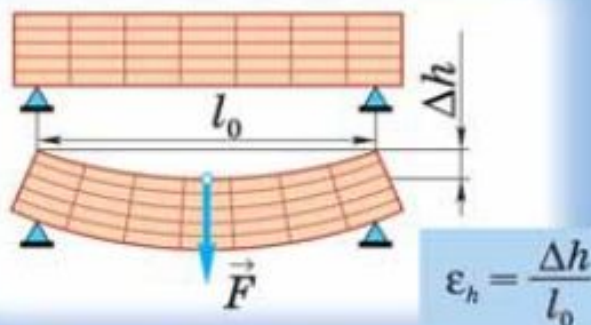


КРУЧЕНИЕ

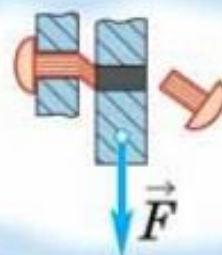
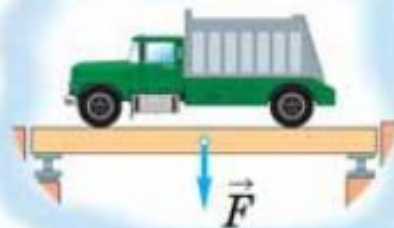


СРЕЗ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ



ДЕФОРМАЦИИ В ТЕХНИКЕ



Растяжение (сжатие) – вид сопротивления (деформирования), при котором из шести внутренних усилий не равно нулю одно – продольное усилие N . **Стержень** – брус, работающий на растяжение или сжатие.

Сдвиг – вид сопротивления (деформирования), характеризующийся взаимным смещением параллельных слоев материала под действием приложенных сил при неизменном расстоянии между слоями. Внутреннее усилие одно – поперечная сила Q .

Кручение – вид сопротивления (деформирования), при котором из шести внутренних усилий не равно нулю одно – крутящий момент T . Кручение возникает при действии на брус внешних сил, образующих момент относительно его продольной оси. **Вал** – брус, работающий на кручение. **Вал** – вращающаяся (обычно в подшипниках) деталь машины, передающая крутящий момент.

Изгиб – вид сопротивления (деформирования), при котором происходит искривление оси прямого бруса, или изменение кривизны кривого бруса.

Внутренние усилия

Внутренние усилия – силы взаимодействия между частицами тела (кристаллами, молекулами, атомами), возникающие внутри элемента конструкции, как противодействие внешним нагрузкам.

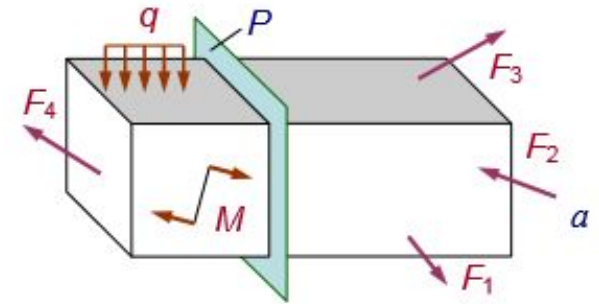
Если *внешние силы* стремятся вызвать деформацию тела, то *внутренние усилия*, наоборот, стремятся сохранить первоначальные форму и размеры тела.

В деформируемом теле в пространственной системе имеет место наличие шести внутренних усилий:

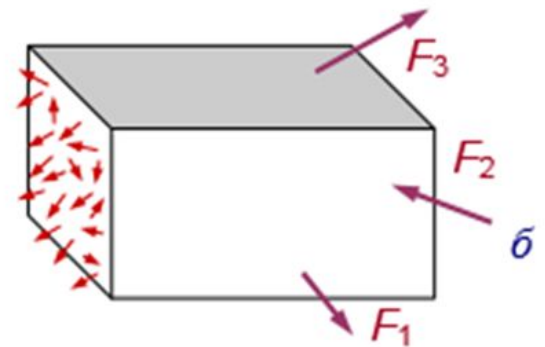
Внутренние силовые факторы		Вид деформации
Обозначение	Наименование	
$N (N_z)$	Продольная сила	Растяжение (сжатие)
Q_y Q_x	Поперечная (перерезывающая) сила	Сдвиг (срез), поперечный изгиб
M_x M_y	Изгибающий момент	Изгиб
$M_d (T)$	Крутящий момент	Кручение

Метод сечений- основной метод сопротивления материалов, которым определяют внутренние силовые факторы.

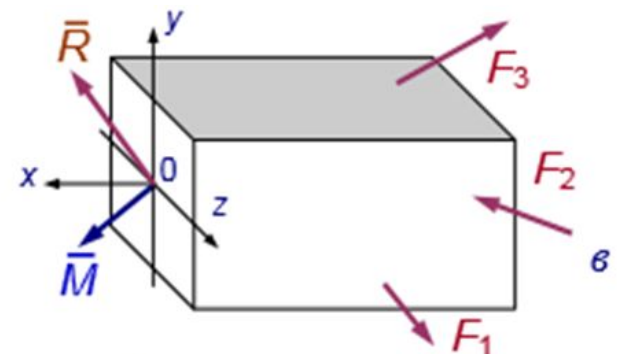
1. **Рассечь** нагруженное тело плоскостью P на две части (рис. а).



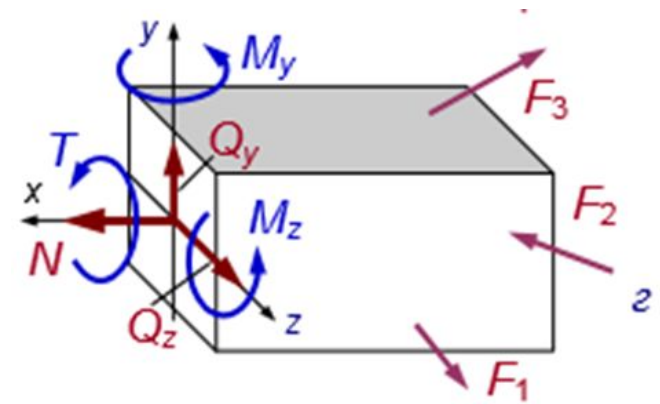
2. **Отбросить** одну из частей (рис. б). Реальное тело представляет собой конгломерат различно ориентированных зерен, от граней которых в разных направлениях действуют элементарные внутренние усилия.



3. **Заменить** действие отброшенной части внутренними усилиями. Главный вектор R , главный момент M спроецировать на главные оси x, y, z (рис. в).



4. Уравнения равновесия позволяют определить внутренние усилия. Всего их шесть: три силы – проекции главного вектора R (рис. г) и три момента – проекции главного момента M :



$\Sigma x = 0;$ $N = \dots$ Продольное усилие

$\Sigma M_x = 0;$ $T = \dots$ Крутящий момент

$\Sigma y = 0;$ $Q_y = \dots$ Поперечное усилие

$\Sigma M_y = 0;$ $M_y = \dots$ Изгибающий момент

$\Sigma z = 0;$ $Q_z = \dots$ Поперечное усилие

$\Sigma M_z = 0;$ $M_z = \dots$ Изгибающий момент

Правило определения внутренних силовых факторов:

внутренние силы N , Q_y , Q_z численно равны алгебраической сумме проекций всех внешних сил (в том числе и реакций), приложенных к брусу по одну сторону от рассматриваемого сечения. Аналогично: внутренние моменты T , M_y , M_z численно равны алгебраической сумме моментов от внешних сил, действующих по одну сторону от рассматриваемого сечения.

Понятие напряжения

Полным механическим напряжением называют отношение равнодействующей внутренних сил dR действующей на малый элемент выбранного сечения к площади этого элемента dA .

$$p = \lim_{dA \rightarrow 0} \frac{dR}{dA}$$

Нормальным напряжением называется отношение нормальных сил dN действующих на малый элемент выбранного сечения к площади этого сечения dA :

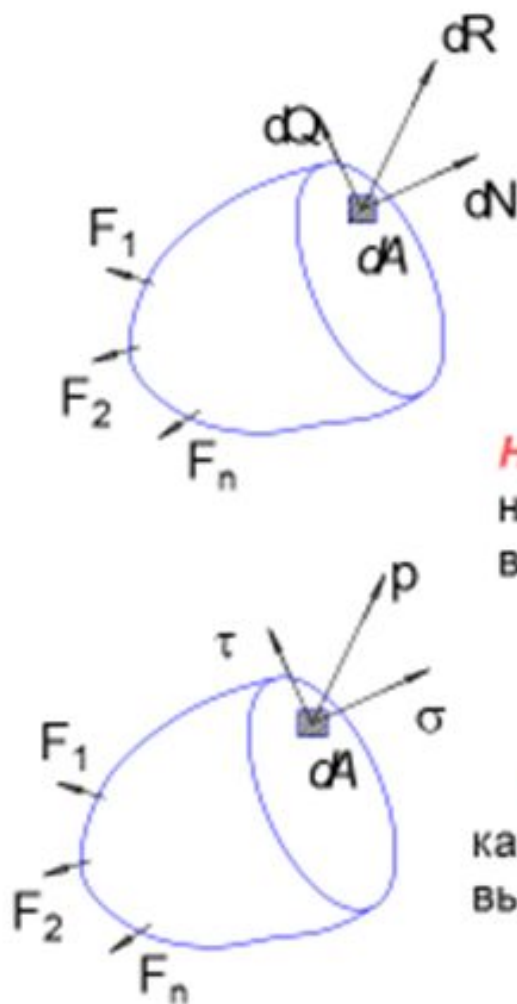
$$\sigma = \lim_{dA \rightarrow 0} \frac{dN}{dA}$$

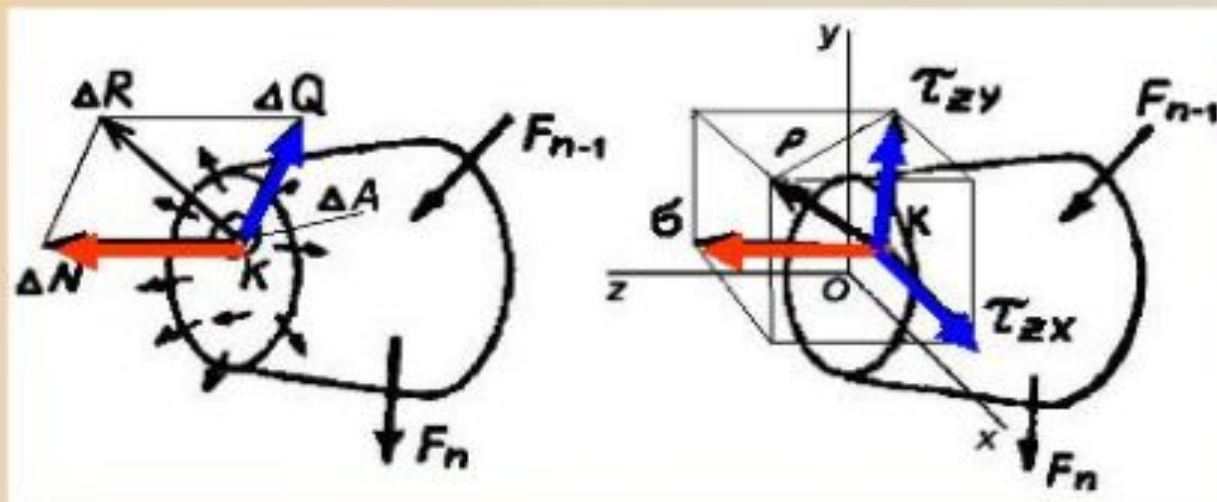
Касательным напряжением называется отношение касательных сил dQ действующих на малый элемент выбранного сечения к площади dA этого элемента.

$$\tau = \lim_{dA \rightarrow 0} \frac{dQ}{dA}$$

Нормальные σ и касательные τ напряжения являются составляющими полного напряжения p :

$$p = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$$





Нормальное напряжение σ , направленное по нормали к плоскости сечения

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta N}{\Delta A} = \frac{dN}{dA}$$

Касательное напряжение τ , лежащее в плоскости сечения:

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta A} = \frac{dQ}{dA}$$

Напряжение нормальное σ – перпендикулярное к сечению, характеризует интенсивность сил отрыва или сжатия частиц элементов конструкции.

Напряжение касательное τ – действующее в плоскости сечения, характеризует интенсивность сил, сдвигающих эти части в плоскости сечения.

Напряжение полное -

$$p = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$$

Единица измерения давления и механического напряжения **паскаль** (обозначение Па).

Паскаль – давление, вызываемое силой 1 Н, равномерно распределенной по поверхности площадью 1 м².

1 Па = 1 Н/м².