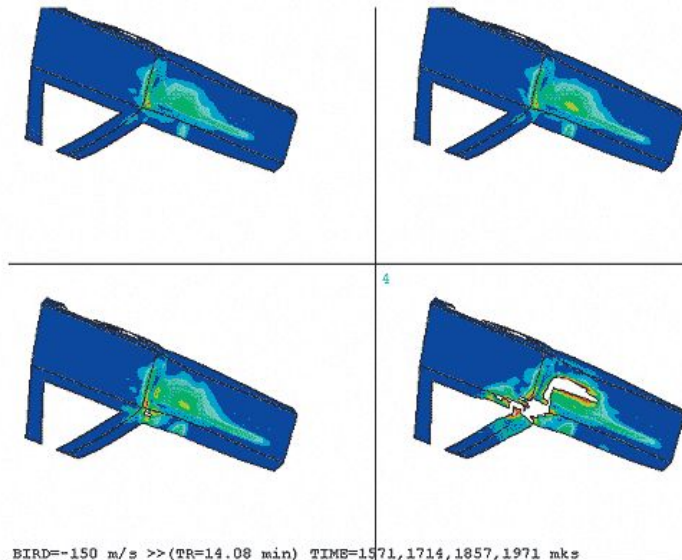


# Общие принципы инженерных расчетов

- Все элементы сооружений или машин должны работать без угрозы поломки или опасного изменения сечений и формы под действием внешних сил, т.е. они должны обладать свойствами ***прочности, жесткости и устойчивости.***

- Размеры этих элементов в большинстве случаев определяет расчет на **прочность**.
- **Прóчность** — свойство материала сопротивляться разрушению под действием внутренних силовых факторов, возникающих под воздействием внешних сил.
- Свойство конструкции выполнять назначение, не разрушаясь в течение заданного времени.



**Жесткость** — способность конструктивных элементов деформироваться при внешнем воздействии без существенного изменения геометрических размеров.

При расчете на жесткость размеры детали определяются из условия, чтобы при действии рабочих нагрузок изменение ее формы и размеров происходило в пределах, не нарушающих функцию конструкции.



Сварная рама увеличивает жесткость конструкции.  
Рёбра жесткости



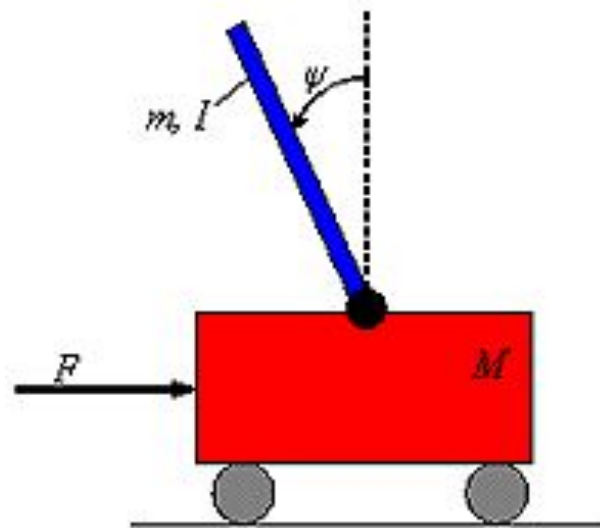
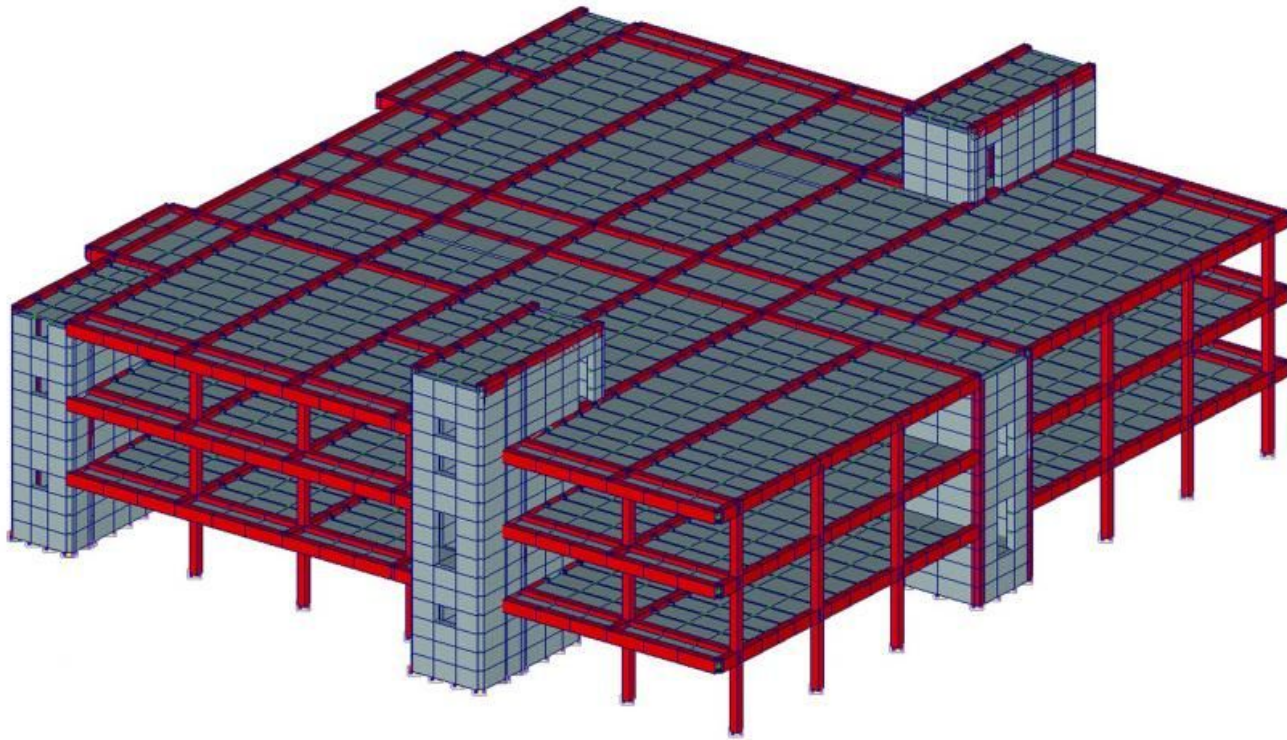
**УСТОЙЧИВОСТЬ — СПОСОБНОСТЬ  
СИСТЕМЫ СОХРАНЯТЬ ТЕКУЩЕЕ  
СОСТОЯНИЕ ПРИ НАЛИЧИИ ВНЕШНИХ  
ВОЗДЕЙСТВИЙ.**

- Расчет на устойчивость должен обеспечить сохранение элементом конструкции *первоначальной (расчетной) формы*



# Расчетная модель

- **Моделью называют совокупность представлений, условий и зависимостей, описывающих объект.**
- При выборе (построении) модели учитывают наиболее значимые и отбрасывают несущественные факторы, которые не оказывают достаточно заметного влияния на условия функционирования элемента конструкции (детали).

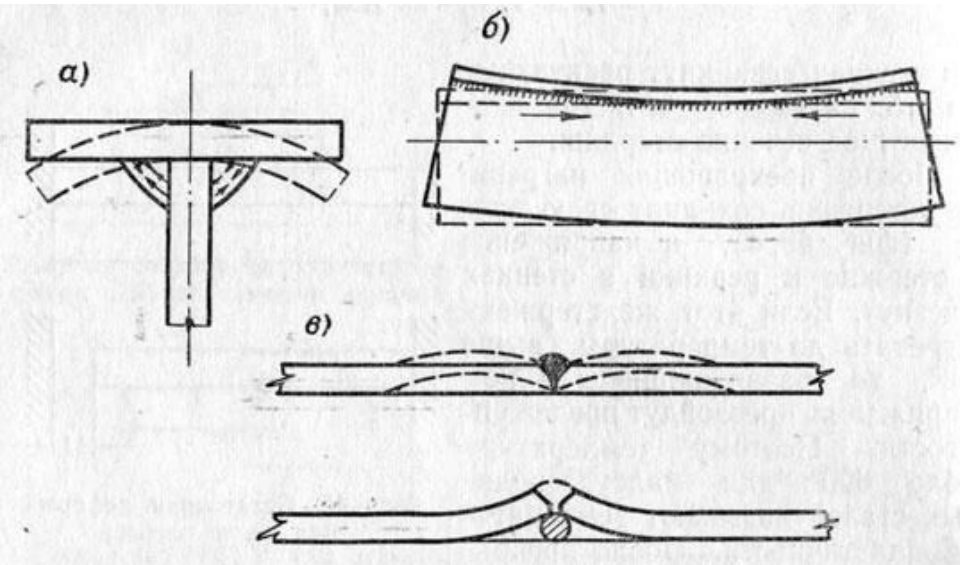


- Для упрощения расчетов элементов конструкций приходится прибегать к ***некоторым допущениям и гипотезам*** о свойствах материалов и характере деформаций.
- Материалы, из которых изготавливают конструкции, считают **однородными, сплошными** и имеющими одинаковые свойства во всех направлениях (**изотропными**).

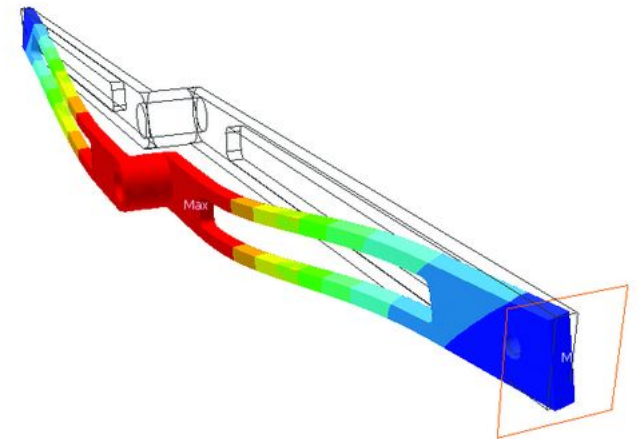


- Основные допущения о характере деформации:
- **перемещения**, возникающие в упругих телах под действием внешних сил, **очень малы** по сравнению с **размерами** рассматриваемых элементов;
- **перемещения** точек упругого тела прямо **пропорциональны действующим нагрузкам** (элементы конструкций, подчиняющихся этому допущению, называют **линейно-деформируемыми**);
- **внешние силы действуют** на тело **независимо** друг от друга (принцип независимости действия сил).

# Перемещения



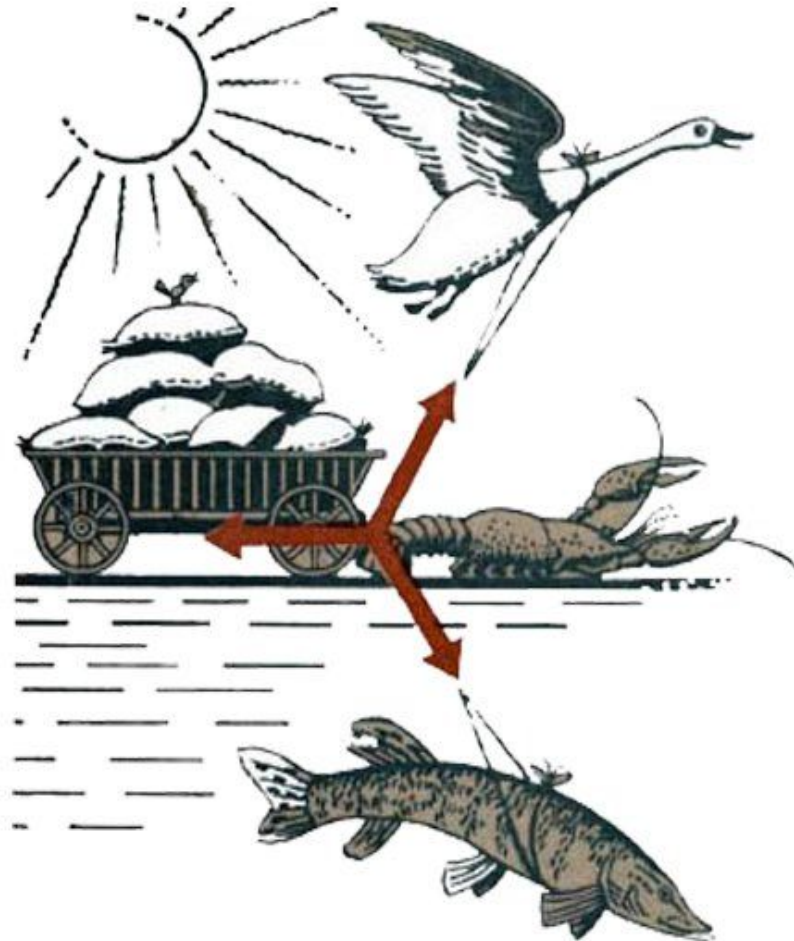
Deformation  
Type: Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
12/12/2006 10:33 AM



# Линейная деформация



# Принцип незалежності сил



- Расчетная модель материала наделяется следующими свойствами:

- **упругостью,**

- **пластичностью,**

- **ползучестью.**

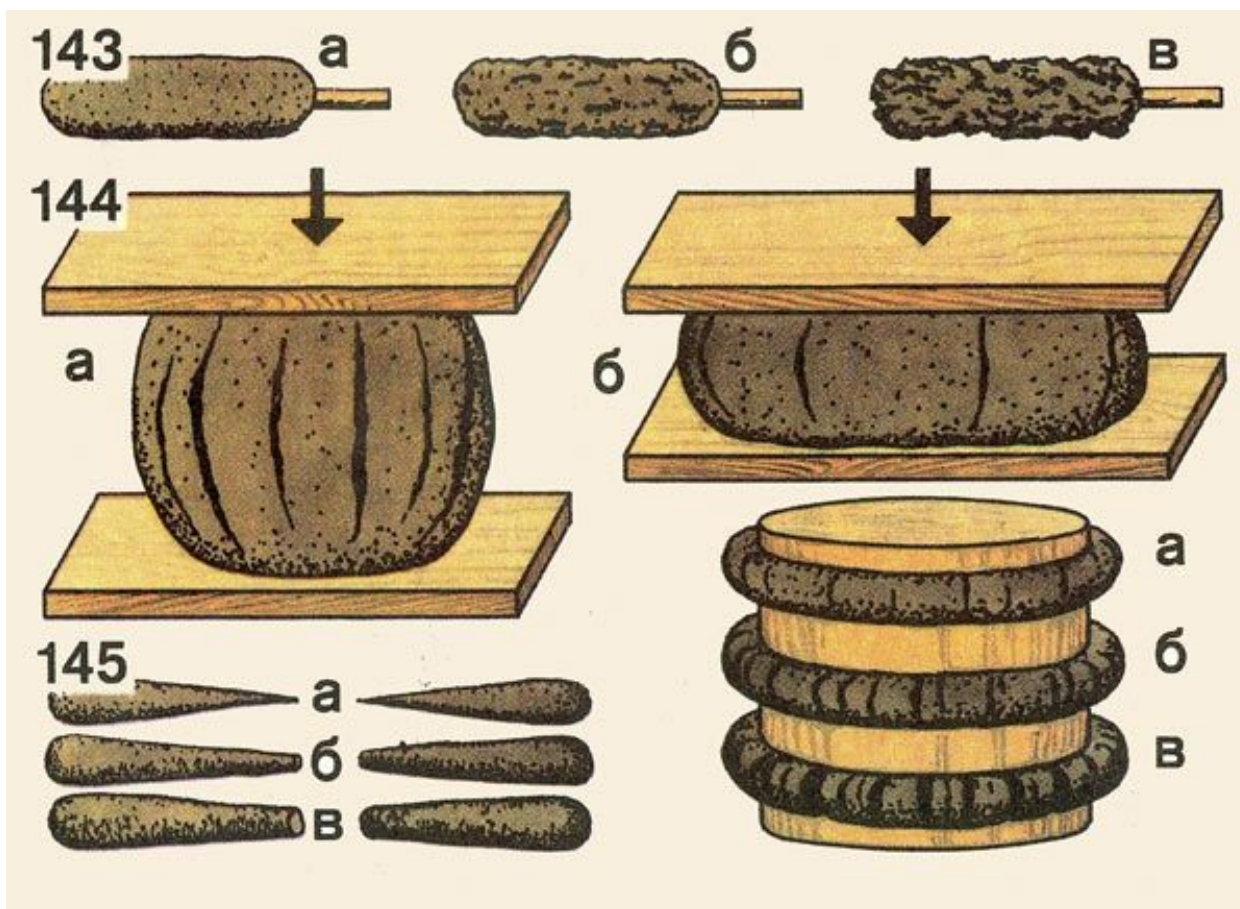
**Упругость называют свойство тела (детали) восстанавливать свою форму после снятия внешней нагрузки.**



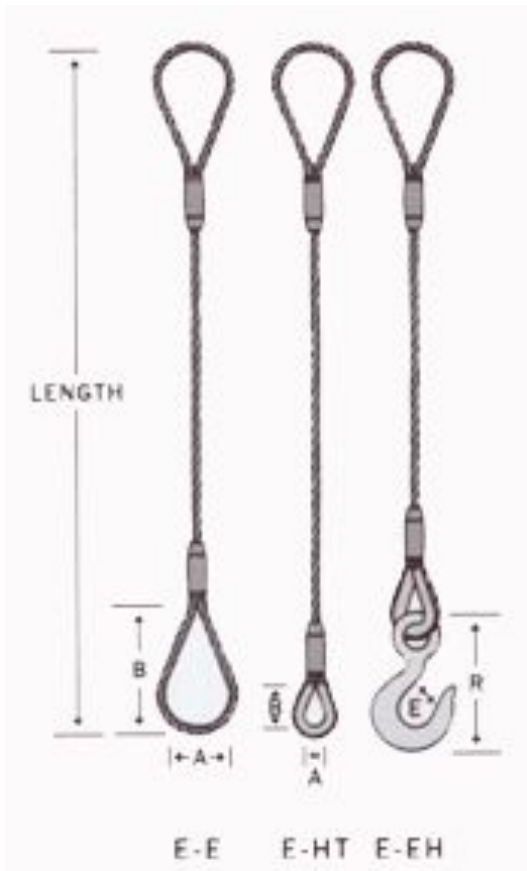


**Пластичностью** называют свойство тела (детали) сохранять после разгрузки полностью или частично деформацию, полученную при нагружении.

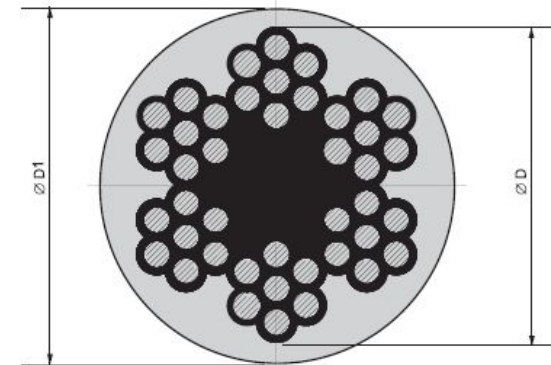
## Пластичность глиняного раствора



**Ползучестью** называют свойство тела (детали) увеличивать со временем деформацию при действии внешних сил (например, вытяжка канатов).



www.shutterstock.com · 57453913





- Все реальные элементы конструкций и машин под действием на них внешних сил изменяют форму и размеры — **деформируются.**
- При этом изменяется межмолекулярное взаимодействие и внутри тела возникают силы, которые противодействуют деформации и стремятся вернуть частицы тела в прежнее положение. Эти внутренние силы называют ***силами упругости.***

**Деформа́ция** (от лат. *deformatio* — «искажение») — изменение взаимного положения частиц тела, связанное с их перемещением относительно друг друга.



# Виды деформаций

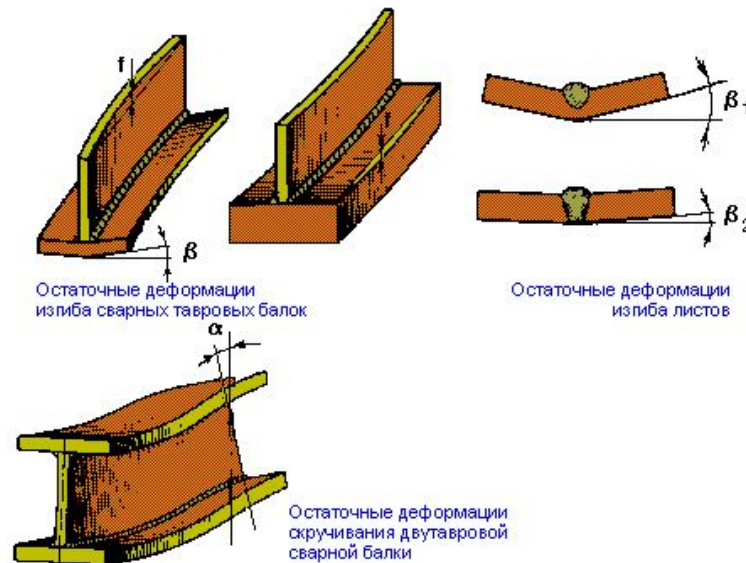
упругие



неупругие -  
пластические



- Нарушением прочности конструкции считают не только ее **разрушение** или **появление трещин**, но и возникновение **остаточных деформаций**.
- При проектировании размеры элементов конструкций назначают таким образом, чтобы возникновение остаточных деформаций было исключено.



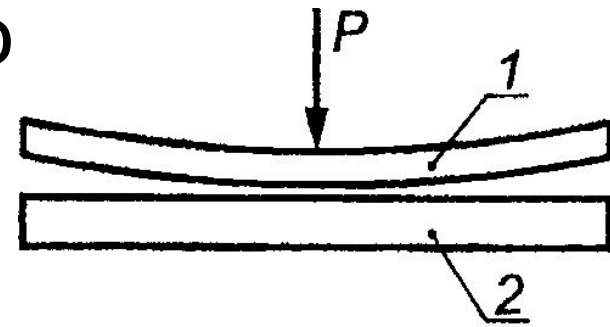


- Упрощения в геометрии детали, приводя ее к схеме:
- стержня (бруса),
- пластинки,
- оболочки, массива (пространственного тела).

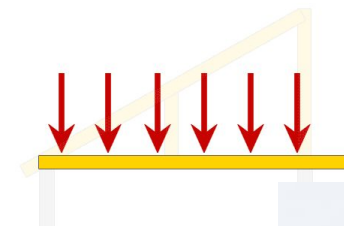


- Силы, действующие на тело, подразделяют условно

- **сосредоточенные,**

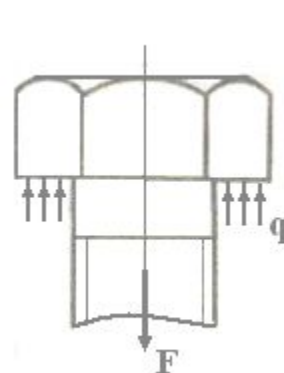
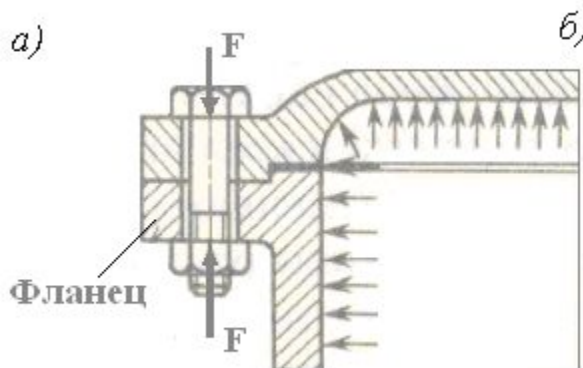
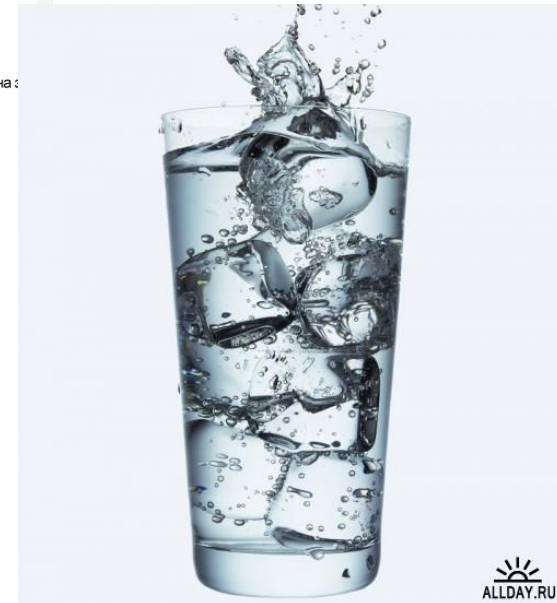


- **распределенные**

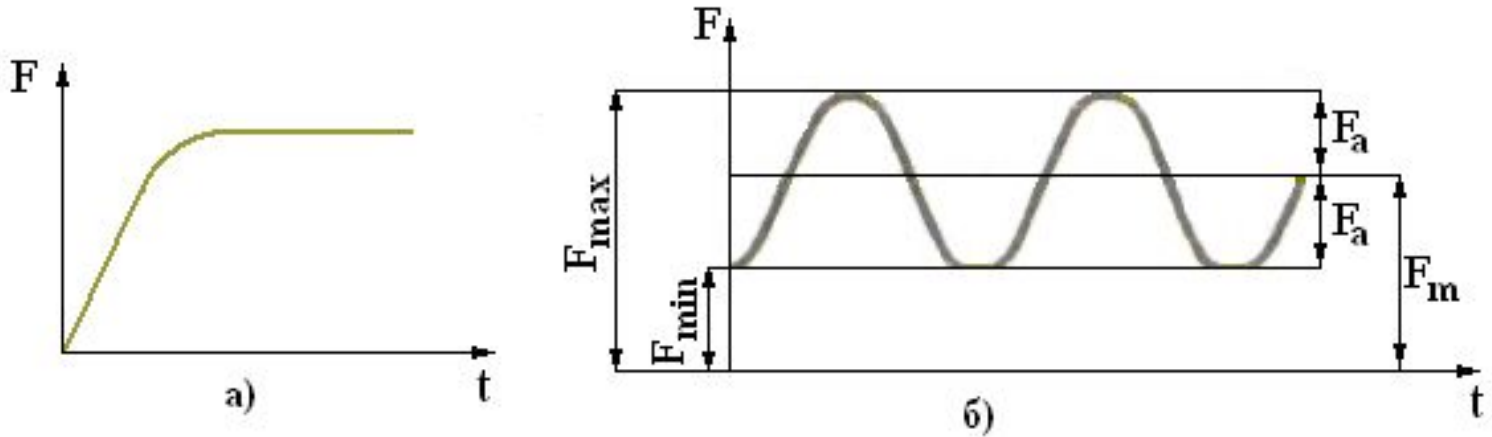


- **объемные (массовы**

Равномерно распределенная нагрузка на :



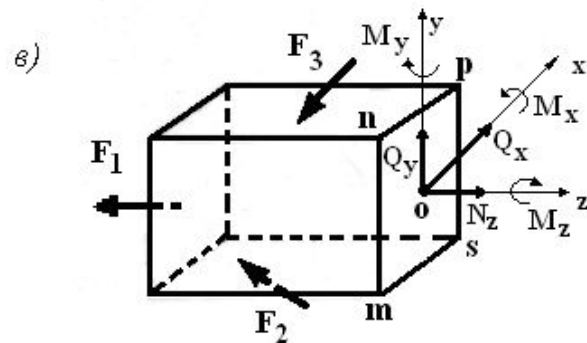
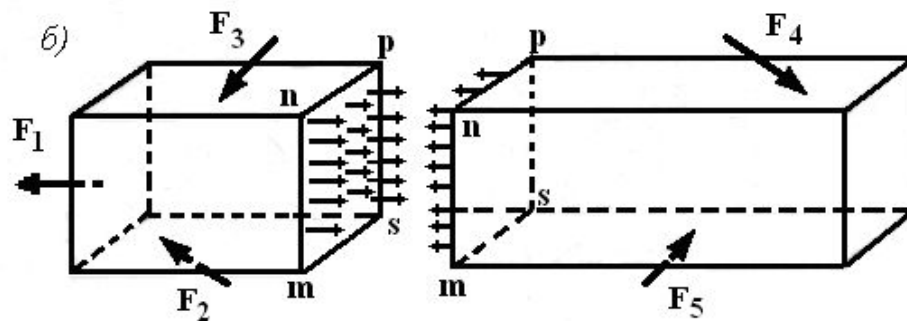
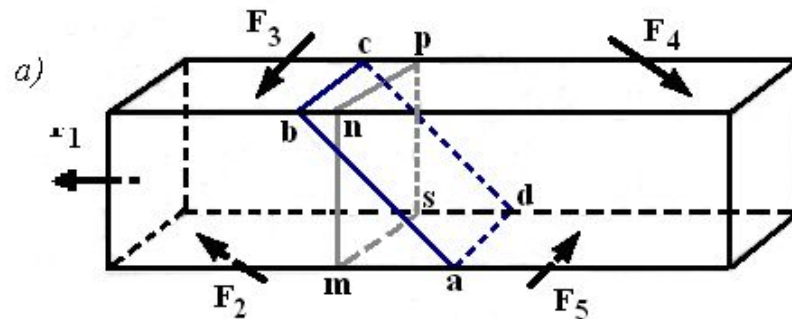
- По характеру изменения во времени нагрузки подразделяют на статические и переменные.



- **Внутренние силы** – это силы межатомного взаимодействия, возникающие при воздействии на тело внешних нагрузок и стремящиеся противодействовать деформации.
- Для расчета элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость необходимо с помощью **метода сечений** определить возникающие внутренние силовые факторы.



# Метод сечений

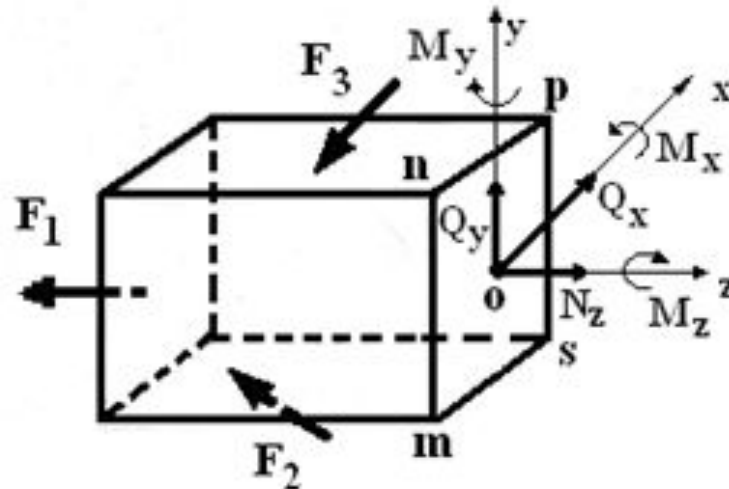


- Поместим в точку  $O$  систему координат  $xuz$ . Разложим главный вектор и главный момент на составляющие, направленные по координатным осям:

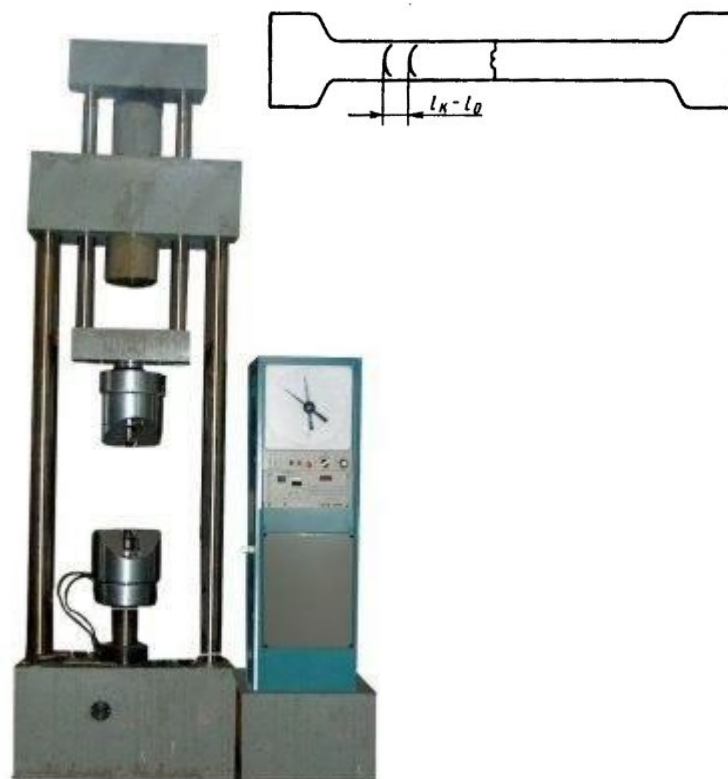
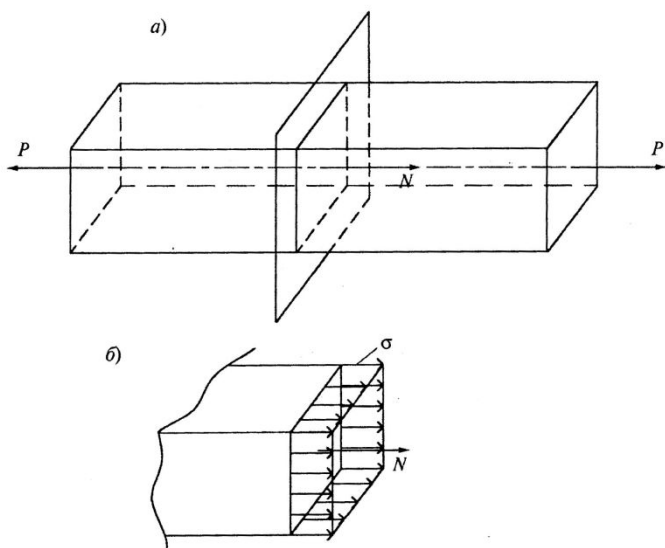
$$\vec{R} = \vec{N}_x + \vec{Q}_y + \vec{Q}_z$$

$$\vec{M} = \vec{M}_x + \vec{M}_y + \vec{M}_z$$

- Составляющая  $N_z$ , называемая **продольной (нормальной)** силой, вызывает деформацию растяжения или сжатия.
- Составляющие  $Q_x$  и  $Q_y$  перпендикулярны нормали и стремятся сдвинуть одну часть тела относительно другой, их называют **поперечными** силами.
- Моменты  $M_x$  и  $M_y$  изгибают тело и называются **изгибающими**.
- Момент  $M_z$  скручивающий тело называют **крутящим**



Составляющая  $N_z$ , называемая **продольной (нормальной) силой**, вызывает деформацию **растяжения или сжатия**.



# Момент $M_z$ скручивающий тело называют **крутящим** **Кручение**

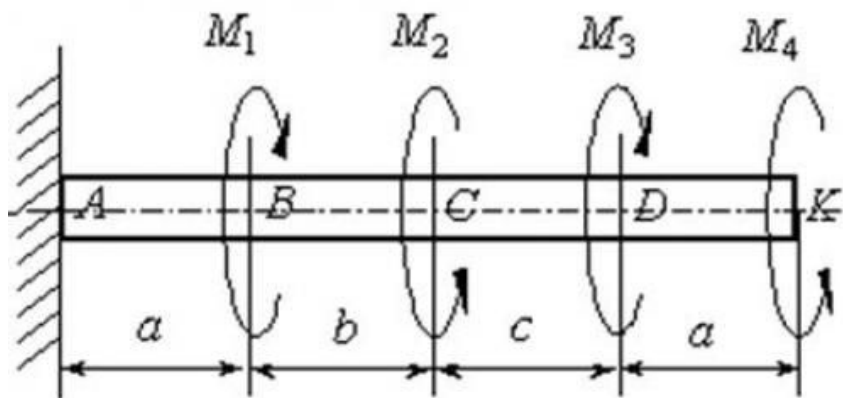
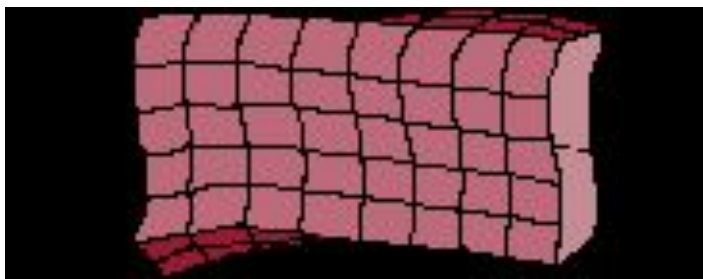
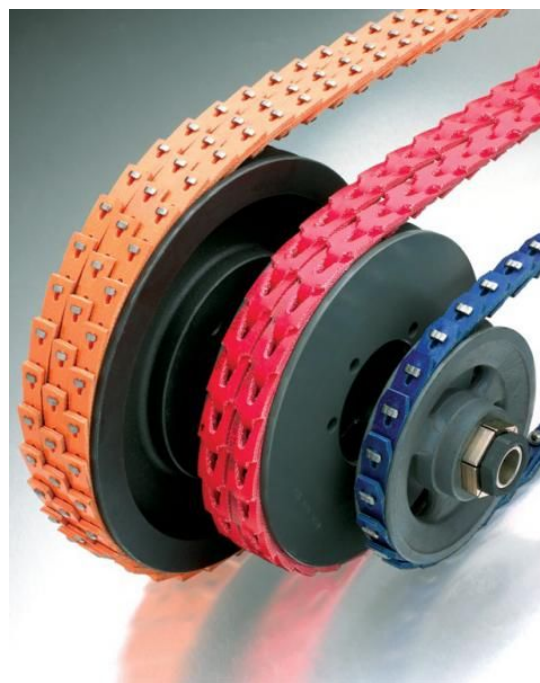


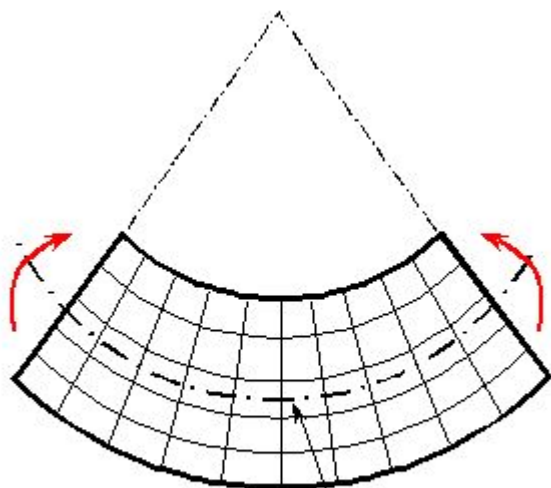
Рис. 4.1



Моменты  $M_x$  и  $M_y$  изгибают  
тело и называются

*изгибающими*

**Изгиб**



Нейтральный слой

Рисунок 2 – Чистый прямой изгиб.

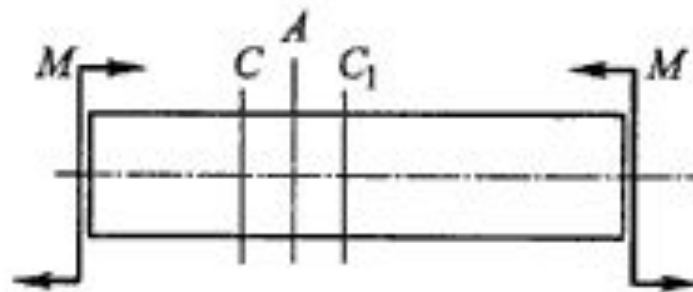
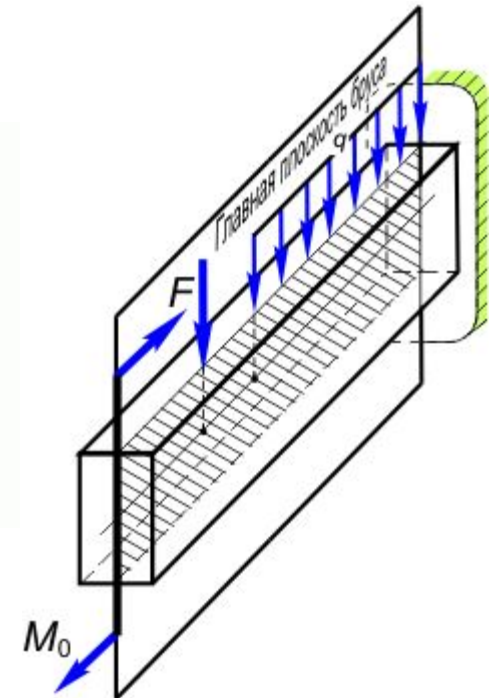
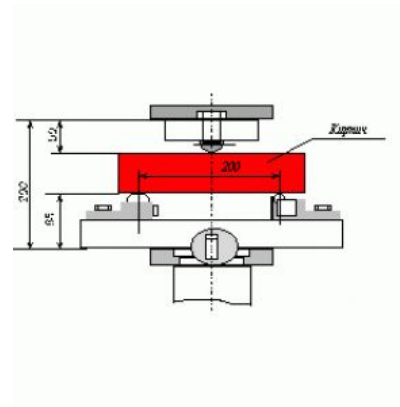


Рис. 8.25

Составляющие  $Q_x$  и  $Q_y$  называют **поперечными** силами.

## Поперечный изгиб.



Отыскать составляющие  
главного вектора и главного  
момента внутренних сил  
позволяют условия равновесия:

$$\sum F_{ix} = 0; \sum F_{iy} = 0; \sum F_{iz} = 0$$

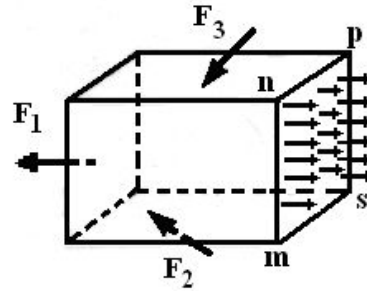
$$\sum M_{ix} = 0; \sum M_{iy} = 0; \sum M_{iz} = 0$$



- ***Для определения внутренних силовых факторов необходимо:***
- Мысленно провести сечение в интересующей нас точке конструкции или стержня.
- Отбросить одну из отсеченных частей и рассмотреть равновесие оставленной части.
- Составить уравнения равновесия для оставленной части и определить из них значения и направления внутренних силовых факторов.

- Эффективными характеристиками для оценки нагруженности деталей будет интенсивность внутренних сил взаимодействия — ***напряжение и деформация.***

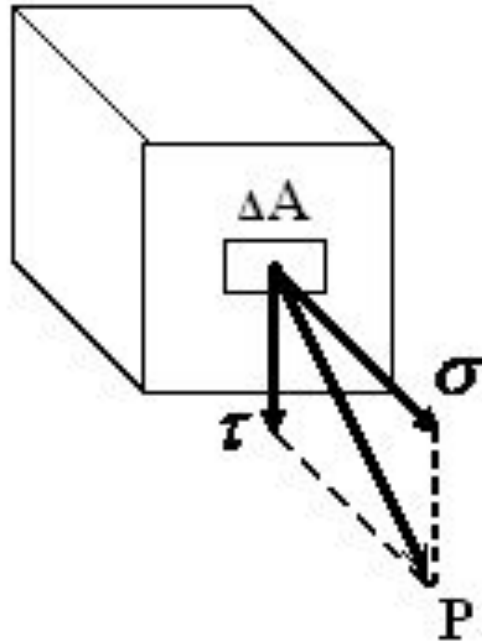
- внутренние силы непрерывно распределены по всему объему.



- В сечении выделим элементарную площадку  $\Delta A$ , а равнодействующую внутренних сил на этой площадке обозначим  $\Delta R$ .
- Отношение равнодействующей внутренних сил  $\Delta R$  на площадке  $\Delta A$  к величине площади этой площадки называется средним напряжением на данной площадке,

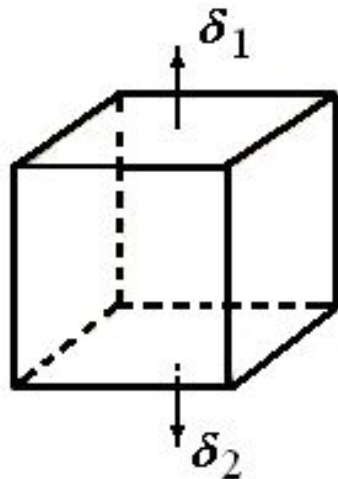
$$p_{cp} = \frac{\Delta R}{\Delta A}$$

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow A} \frac{\Delta N}{\Delta A}; \tau = \lim_{\Delta A \rightarrow A} \frac{\Delta Q}{\Delta A}.$$

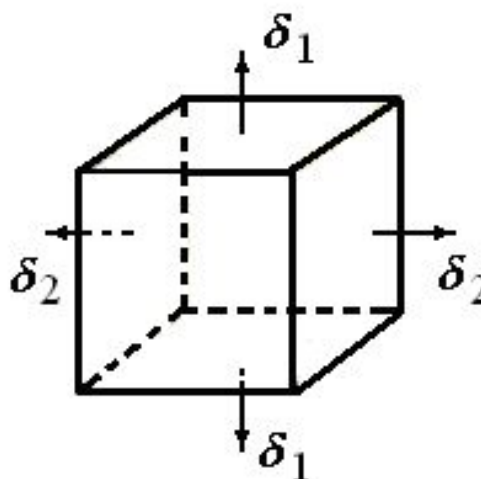


- Для измерения напряжений в Международной системе единиц (СИ) служит ньютон на квадратный метр, названный паскалем Па ( $\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$ ). Так как эта единица очень мала и пользоваться ею неудобно, применяют кратные единицы ( $\text{кН}/\text{м}^2$ ,  $\text{МН}/\text{м}^2$  и  $\text{Н}/\text{мм}^2$ ). Отметим, что  $1 \text{ МН}/\text{м}^2 = 1 \text{ МПа} = 1 \text{ Н}/\text{мм}$  .

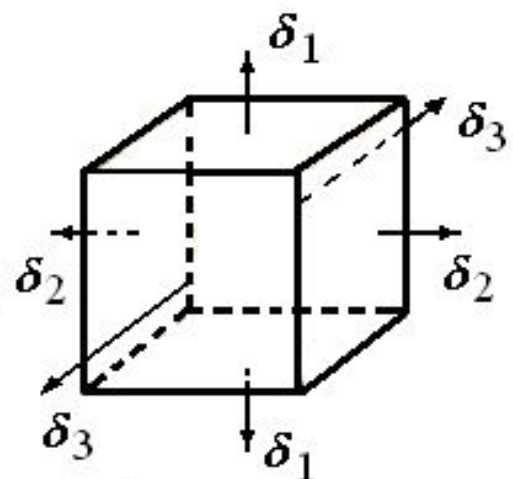
- Для исследования напряженного состояния в окрестности исследуемой точки тела обычно выделяют элемент в виде бесконечно малого параллелепипеда. На его гранях действуют внутренние силы, заменяющие воздействие удаленной части тела и вызывающие появление напряжений.
- виды напряженного состояния в точке: линейное (одноосное) — только одно главное напряжение отлично от нуля, а два других равны нулю (а);
- плоское (двухосное) — два главных напряжения отличны от нуля (б);
- объемное (трехосное) — все главные напряжения отличны



а)



б)



в)

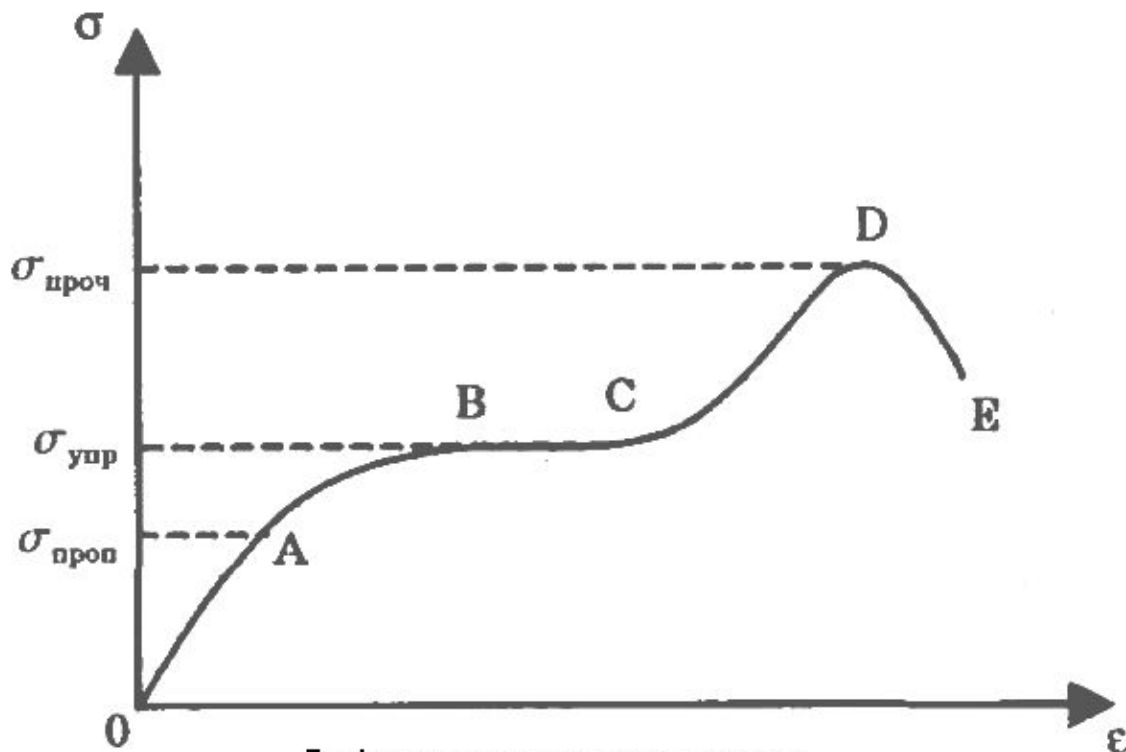


График зависимости механического напряжения от относительного удлинения  
 Участок OA - область пропорциональности:  
 на этом участке выполняется закон Гука.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{пред}}{[n]} ; \quad [\tau] = \frac{\tau_{пред}}{[n]},$$