

## Классификация сил, действующих на элементы конструкций

- **Сосредоточенными силами** называются давления, передающиеся на элемент конструкции через площадку, размеры которой очень малы по сравнению с размерами всего элемента (например, давление колес подвижного состава на рельсы).

При расчетах, благодаря малости площадки, передающей давление, обычно считают сосредоточенную силу **приложенной в точке**. Неточность, вызываемая таким приближённым представлением, настолько мала, что на практике ею можно пренебречь.

Сосредоточенные нагрузки измеряются в **единицах силы**: тоннах, килограммах.

- **Распределёнными нагрузками (равномерными и неравномерными)** называются силы, приложенные непрерывно на протяжении некоторой длины или площади конструкции.

1. *Брус* — любое тело, у которого длина значительно других размеров.

*Пластина* — любое тело, у которого толщина знач меньше других размеров

Распределенные по площади нагрузки выражаются в единицах силы, отнесенных к единице площади ( $t/m^3$ ,  $kg/cm^2$  и т.п.); распределенные по длине элемента — в единицах силы, отнесенных к единице длины ( $kg/m$ ).

- **Нагрузки** могут быть **статические** и **повторно-переменные**. **Статические** нагрузки не меняются со временем или меняются очень медленно.

Например, собственный вес сооружения.

При действии статических грузов проводится **расчет на прочность**.

**Повторно-переменные** нагрузки многократно меняют значение или значение и знак.

Например, вес поезда, идущего по мосту.

Результаты воздействия таких нагрузок на элементы конструкции оказываются иными, чем статических, и материал иначе сопротивляется этим воздействиям.

Действие таких нагрузок вызывает усталость металла. Расчет ведут на **выносливость**

## Деформации и напряжения

- Как элементы конструкций, так и конструкции в целом при действии внешних сил в большей или меньшей степени **изменяют свои размеры и форму** и в результате могут **разрушиться**. Это изменение называется **деформацией**.
- **Упругими деформациями** называются такие изменения формы и размеров элементов, которые **исчезают** после удаления вызвавших их сил, т.е. **прежняя форма полностью восстанавливается**.

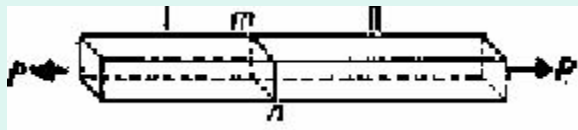
Эти деформации связаны лишь с упругими искажениями решетки атомов. Упругие деформации наблюдаются до тех пор, пока величина внешних сил не превзошла известного предела



- Если же внешние силы перешли этот предел, и после их удаления **форма и размеры элемента не восстанавливаются** в первоначальном виде - оставшиеся разности размеров называются **остаточными деформациями**.

Эти деформации в кристаллических материалах связаны с необратимыми перемещениями одних слоев кристаллической решетки относительно других. При удалении внешних сил сместившиеся слои атомов сохраняют свое положение.

- В элементах конструкции под действием внешних сил (к внешним силам относят активные силы и реакции опор) возникают **внутренние силы**, сопровождающие деформацию материала. Эти внутренние силы сопротивляются стремлению внешних сил разрушить элемент конструкции, изменить его форму, отделить одну его часть от другой. Они стремятся восстановить прежнюю форму и размеры деформированной части конструкции.

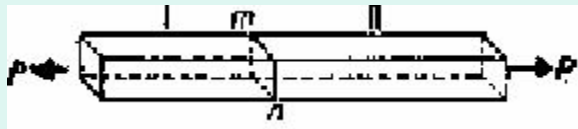


Чтобы численно характеризовать степень воздействия внешних сил необходимо научиться измерять и вычислять величину внутренних межатомных сил, возникших как результат деформации. Для этого пользуются **методом сечений**

## Метод сечений

- Метод сечений заключается в мысленном рассечении тела плоскостью и рассмотрении равновесия любой из отсеченных частей

Стержень находится под действием двух равных и прямо противоположных сил  $P$ . Мысленно разделим его на две части I и II плоскостью  $mn$ . Под действием сил  $P$  обе половины стержня стремятся разъединиться и удерживаются вместе за счет сил взаимодействия между атомами, находящимися по обе стороны плоскости  $mn$



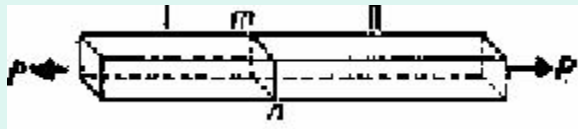
*Метод сечений* позволяет определить величину внутреннего силового фактора в сечении, но **не дает возможности установить закон распределения внутренних сил по сечению.**

Для оценки прочности необходимо определить величину силы, приходящуюся на любую точку поперечного сечения.

- Внутренняя сила взаимодействия, приходящаяся на единицу площади, выделенную в какой-либо точке сечения  $mn$ , называется **напряжением** в этой точке по проведенному сечению и измеряется в единицах силы, отнесенных к единице площади:  $кг/см^2$ ,  $кг/мм^2$  и т. д

Напряжения, действующие от части // на / и от / на //, по закону действия и противодействия равны между собой и уравнивают систему внешних сил, приложенных к телу.

- **Т.о.** величина напряжений в каждой точке и является мерой внутренних сил, которые возникают в материале как результат деформации, вызванной внешними силами
- Нормальное (перпендикулярное) к площадке напряжение обозначают буквой  **$\sigma$** , и называют его **нормальным напряжением**



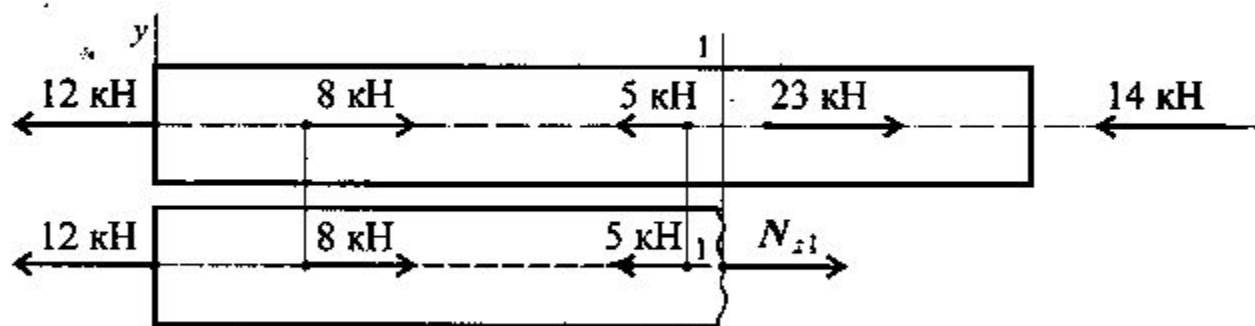
Пример 1. Определить величину продольной силы в сечении 1-1

*Решение*

Используем уравнение равновесия  $\sum_0^n F_{kz} = 0$ .

Рассматривая левую часть бруса, определяем  $N_{z1} = -12 + 8 - 5 = \mathbf{9}$  кН

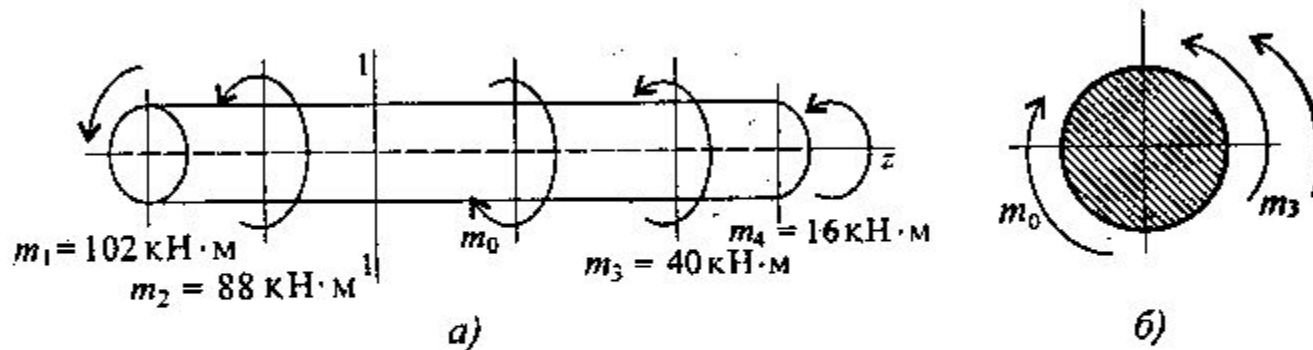
Рассматривая правую часть бруса, определяем  $N_{z1} = 23 - 14 = \mathbf{9}$  кН



Величина продольной силы в сечении не зависит от того, **ка** часть бруса рассматривается.

Пример 2. Определить внутренний силовой фактор в сечении 1-1

Решение



Используем уравнение равновесия  $\sum m_z = 0$ .

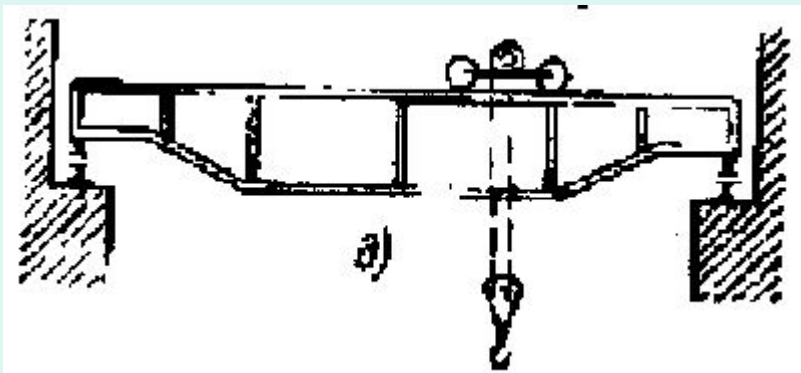
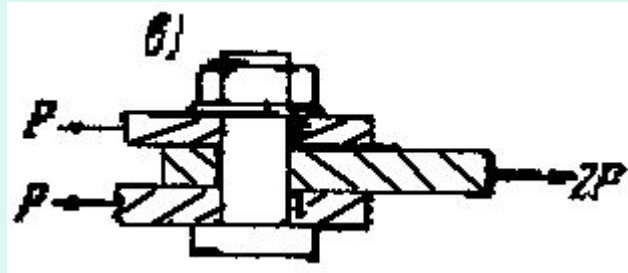
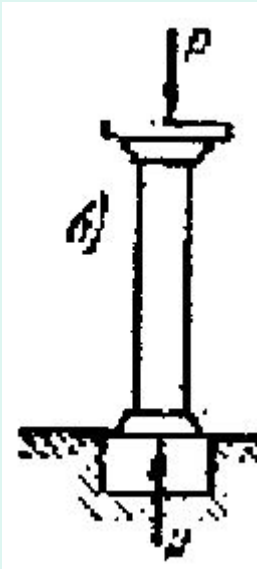
$$m_0 = m_1 + m_2 + m_3 + m_4; \quad m_0 = 246 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Рассматриваем правую часть бруса. На отсеченную часть бруса принято смотреть со стороны отброшенной части

Получаем  $M_z = 246 - 40 - 16 = 190 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .



- Примеры нагрузок:



Основными типами деформаций являются:

- Растяжение или сжатие
- Перерезывание (срез)
- Кручение
- Изгиб

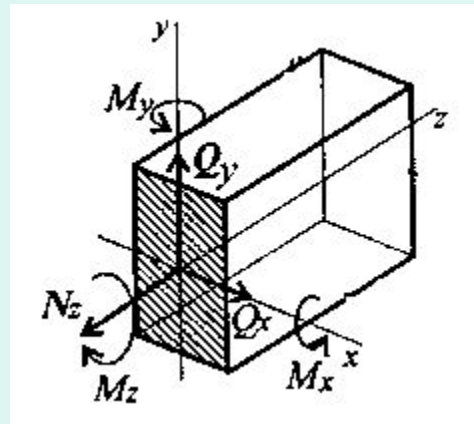
Эти, отдельно взятые деформации называются **простыми**

В случае, когда элементы конструкции испытывают два и более простых типов деформаций их называют **сложными деформациями**

- При каждом из этих видов деформаций существуют способы для их вычисления, а также способы определения напряжений, подбора материала и поперечных сечений элементов конструкции.

В общем случае все действующие на тело силы можно привести к следующим.

- Используется система координат, связанная с телом. Чаще **про дольную ось детали обозначают  $z$** , начало координат совмещают с левым краем и размещают в центре тяжести сечения



- $N_z$  — **продольная сила**, действующих на отсеченную часть бруса; вызывает **растяжение или сжатие**
- силы  $Q_x$  и  $Q_y$  — **поперечные силы**, действующих на отсеченную часть; вызывают **сдвиг сечения**
- $M_z$  — **крутящийся момент**, вызывает **скручивание** бруса
- моменты  $M_x$  и  $M_y$  - **изгибающие моменты** вызывают **изгиб** бруса в соответствующих плоскостях

**Нормальное напряжение** характеризует

- сопротивление сечения **растяжению или сжатию**.

**Касательное напряжение**

- характеризует сопротивление сечения **сдвигу**.
- **Сила  $N$  (продольная)** вызывает появление **нормального** напряжения  **$\sigma$**
- **Силы  $Q_x$  и  $Q_y$  (поперечные силы)** вызывают появление **касательных** напряжений  **$\tau$**
- **Моменты  $M_x$  и  $M_y$  (изгибающие моменты)** вызывают появление **нормальных** напряжений  **$\sigma$** , переменных по сечению
- **Крутящий момент  $M_z$**  вызывает сдвиг сечения вокруг продольной оси, поэтому появляются **касательные** напряжения  **$\tau$** .

# Основные критерии качества и работоспособности машин

- Основным критерием качества машин является **НАДЁЖНОСТЬ**
- **Надёжность** - это свойства объекта (изделия) выполнять и течение заданного времени или заданной наработки свои функции, сохраняя в заданных пределах эксплуатационные показатели. Это комплексное свойство, которое включает в себя:
  - безотказность,*
  - долговечность,*
  - ремонтпригодность,*
  - сохраняемость*
- Способность выполнять заданные функции, сохраняя значение заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией называется **РАБОТОСПОСОБНОСТЬЮ**
- Нарушение работоспособности машины называется **ОТКАЗОМ**.

- **Безотказность** – это свойство изделий сохранять работоспособность в течение заданной наработки **без вынужденных перерывов**. Это свойство особенно важно для машин, отказы которых связаны с опасностью для жизни людей (н-р, самолеты)
- **Долговечность** - это свойство изделий сохранять работоспособное состояние до предельного состояния **с необходимыми перерывами для технического обслуживания**
- **Ремонтопригодность** – это приспособленность изделий к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов
- **Сохраняемость** - свойство изделия сохранять безотказность, долговечность и ремонтпригодность после и в течение установленного срока хранения и транспортирования
- **Работоспособность** машины прежде всего связана с **безотказностью и долговечностью**

## Критерии работоспособности:

### 1. Прочность –

способность материала детали воспринимать нагрузки, не разрушаясь и без значительных остаточных деформаций

### 2. Жесткость –

способность материала деталей сопротивляться изменению формы и размеров при нагрузках

Жесткость соответствующих деталей обеспечивает требуемую точность машины, нормальную работу ее узлов.

### 3. Износостойкость –

свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию при трении

Результат изнашивания называется износом.

**Изнашиванием** называется процесс отделения материала с поверхности твердого тела при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и формы тела.

#### 4. **Теплостойкость –**

способность конструкции работать в пределах заданных температур в течение заданного времени

#### 5. **Выносливость –**

способность конструкции длительное время выдерживать переменные нагрузки

#### 6. **Виброустойчивость –**

способность конструкции работать в заданном диапазоне режимов без недопустимых колебаний

**Т.о. расчеты деталей машин** сводятся к расчетам:

- *на прочность* (обеспечивает неразрушение конструкции)
- *на жесткость* (обеспечивает деформации конструкции под нагрузкой в пределах допустимых норм)
- *на износостойкость* (обеспечивает сохранение размеров и формы тела при трении)
- *на теплостойкость* (обеспечивает работоспособность конструкции в пределах заданных температур)
- *на выносливость* (обеспечивает необходимую долговечность конструкции)
- *на виброустойчивость* (обеспечивает сохранение необходимой формы равновесия)

# Основные гипотезы и допущения

## 1. Допущения о свойствах материалов:

- Материалы **однородные** (в любой точке материалы имеют одинаковые физико-механические свойства)
- Материалы представляют **сплошную среду** (кристаллическое строение и микроскопические дефекты не учитываются)
- Материалы **изотропны** (механические свойства не зависят от направления нагружения)

Принятие таких допущений упрощает расчет, но в реальных материалах эти допущения выполняются лишь отчасти, поэтому все эти упрощения принято компенсировать, вводя **коэффициент запаса прочности  $S$**



Расчеты ведут, используя **принцип начальных размеров**:

**При работе конструкции деформации должны оставаться упругими**: при расчетах считают, что размеры под нагрузкой не должны изменяться, т.к. упругие деформации малы по сравнению с геометрическими размерами детали

**!!! При расчетах аксиомы теоретической механики используются ограниченно:**

- 1. При расчетах реальных деформируемых тел не следует заменять распределенную нагрузку сосредоточенной**
- 2. Нельзя переносить пару сил** в другую точку детали,
- 3. Нельзя перемещать сосредоточенную силу** вдоль линии действия,
- 4. Нельзя систему сил заменять равнодействующей** при определении перемещений

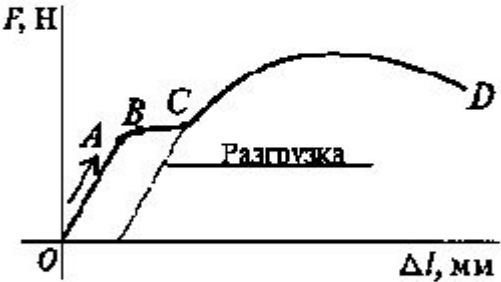
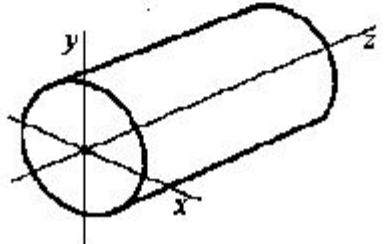
**так как все вышеперечисленное меняет распределение внутренних сил в конструкции.**

Тема : Основные положения,  
метод сечений, напряжения

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется прочностью, жесткостью?
2. Какие нагрузки принято считать сосредоточенными?
3. Какие нагрузки принято считать распределенными?
4. Что называется деформацией?
5. Какие деформации называют упругими? Какие деформации называют остаточными?
6. При каких деформациях выполняется закон Гука? Сформулируйте закон Гука.
7. Что такое принцип начальных размеров?
8. В чем заключается допущение о сплошном строении материалов, об их однородности и изотропности?
9. Какие силы в сопротивлении материалов считают внешними? Какие силы являются внутренними?
10. Какими методами определяют внешние силы? Как называют метод для определения внутренних сил?
11. Сформулируйте метод сечений.

12. Что называют **внутренними силовыми факторами**? Сколько в общем случае может возникнуть внутренних силовых факторов?
13. Как обозначается и как определяется **продольная сила** в сечении?
14. Как обозначаются и как определяются **поперечные силы**?
15. Как обозначаются и определяются **изгибающие и крутящий моменты**?
16. Какие **деформации** вызываются каждым из внутренних силовых факторов?
17. Что называют **напряжением**?
18. Как по отношению к площадке **направлены нормальное и касательные напряжения**? Как они обозначаются?
19. Какие напряжения возникают в поперечном сечении при действии **продольных сил**?
20. Какие напряжения возникают при действии **поперечных сил**?
21. Какое явление называют **текучестью**?

В о п р о с ы	О т в е т ы	К о д
1. Как называется способность элемента конструкции сопротивляться упругим деформациям?	Прочность	1
	Жесткость	2
	Устойчивость	3
	Износостойкость	4
2. Представлена диаграмма растяжения материала. Назвать участок упругих деформаций. 	OA	1
AB	2	
BC	3	
OF	4	
3. Какой внутренний силовой фактор возникает в поперечном сечении бруса при кручении? 	N	1
Q <sub>y</sub>	2	
M <sub>z</sub>	3	
M <sub>y</sub>	4	

5. Какие механические напряжения в поперечном сечении бруса при нагружении называют нормальными?

Возникающие при нормальной работе

1

Направленные перпендикулярно площадке

2

Направленные параллельно площадке

3

Лежащие в площадке сечения

4