

Лекция 1

Сопротивление материалов является частью более общей науки – механики твердого деформируемого тела, в которую входят: теория упругости, теории пластичности и ползучести, теория сооружений, строительная механика, механика разрушения и др.



Задачей сопротивления материалов является изучение методов расчета простейших элементов конструкций и деталей машин на прочность, жесткость и устойчивость.

Прочностью называется способность элемента конструкции сопротивляться воздействию приложенных к нему сил не разрушаясь.

Жесткостью называется способность элемента конструкции сопротивляться воздействию приложенных к нему сил, получая лишь малые упругие деформации.

Устойчивостью называется способность элемента конструкции сохранять первоначальную форму равновесия под действием приложенных сил.

Реальные тела не являются абсолютно твердыми и под действием приложенных к ним сил изменяют свою первоначальную форму и размеры, то есть **деформируются**. Деформации тела, исчезающие после снятия внешних сил, называются **упругими**, а не исчезающие – **остаточными** или **пластическими**.

Определение размеров деталей или внешних нагрузок, при которых исключается возможность разрушения деталей, является целью расчета на прочность.

Определение размеров деталей или внешних нагрузок, при которых исключается возможность появления недопустимых с точки зрения нормальной работы конструкции деформаций этих деталей, является целью расчета на жесткость.

Лекция 1 (продолжение)

Реальный объект и расчетная схема Схематизация свойств материала

Реальный объект, освобожденный от несущественных особенностей, не влияющих заметным образом на работу системы в целом, называется расчетной схемой. Переход от реального объекта к расчетной схеме осуществляется путем схематизации свойств материала, системы приложенных сил, геометрии реального объекта, типов опорных устройств и т.д.

Реальные материалы обладают разнообразными физическими свойствами и характерной для каждого из них структурой.

С целью упрощения расчетов в сопротивлении материалов используются следующие **допущения** о свойствах материала.

1. Материал считается **однородным**, если его свойства во всех точках одинаковы.
2. Материал считается **изотропным**, если его свойства во всех направлениях одинаковы.
3. Материал обладает свойством **идеальной упругости**, вследствие которой деформируемое тело полностью восстанавливает свою форму и размеры после снятия нагрузки независимо от величин нагрузок и температуры тела.
4. Форма и размеры упругого тела меняются прямо **пропорционально изменению нагрузок**, то есть подчиняется закону Гука (1660 г.).
5. Материал обладает свойством **сплошности**, то есть способностью сплошь (без пустот) заполнять пространство, ограниченное поверхностью тела. Вследствие этого материал считается непрерывным, что позволяет использовать для определения напряжений и деформаций математический аппарат дифференциального и интегрального исчисления.
6. Упругие тела являются относительно жесткими, благодаря чему **перемещения точек тела весьма малы по сравнению** с размерами самого тела. Эта гипотеза служит основанием для использования при расчете начальных (исходных) размеров тела (по недеформированной схеме).

Дополнение

Изотропными являются аморфные материалы, такие как стекло и смолы.

Анизотропными являются пластмассы, текстолит и т.п.

Металлы являются поликристаллическими телами, состоящими из большого

количества зерен, размеры которых очень малы (порядка 0,01 мм).

Каждое зерно является анизотропным, но вследствие малых размеров зерен

и беспорядочного их расположения металлы проявляют свойство изотропии.

Схематизация геометрии реального объекта

– упрощает геометрию реально существующих тел, составляющих конструкцию.

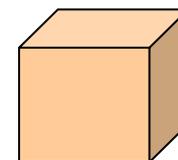
Большинство сооружений, механизмов и машин можно расчленить на отдельные тела простой геометрической формы:

1. Брус - тело, два измерения которого малы по сравнению с третьим (стержни, стойки, валы, балки). Брус может иметь различную форму поперечного сечения (круглое, кольцевое, прямоугольное, коробчатое, двутавровое и др.). Поперечное сечение образуется при разрезе бруса плоскостью, перпендикулярной продольной оси, а продольная ось является линией, соединяющей центры тяжести поперечных сечений, и может быть прямой или криволинейной. Брус является основным объектом рассмотрения в курсе сопротивления материалов.

Следующие тела являются объектами рассмотрения в других разделах механики твердого деформируемого тела (теория пластин и оболочек, теория упругости и др.):

2. Оболочка, пластина - тело, одно измерение которого мало по сравнению с двумя другими (тонкостенные резервуары, оболочки перекрытия, плиты, стенки).

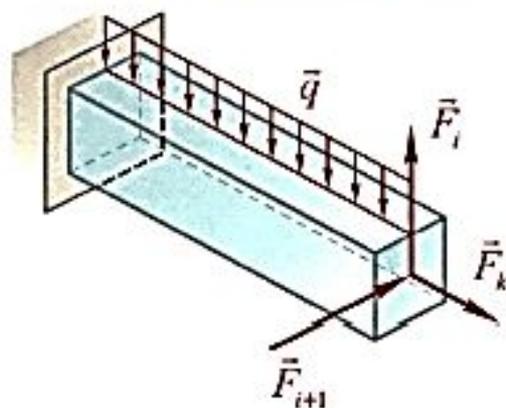
3. Массив - тело, все три измерения которого мало отличаются друг от друга (фундаментные блоки, шарик подшипника, тело гравитационной плотины).



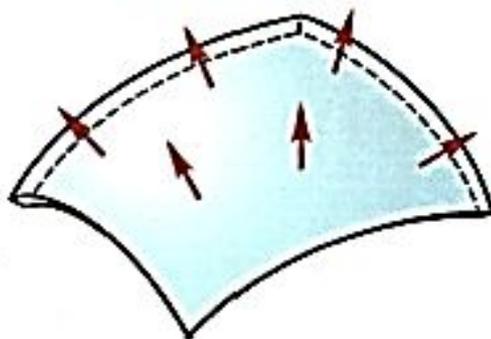
Деформируемое твердое тело — тело, изменения формы которого (деформации) под действием нагрузок малы и не изменяют характеристик самих нагрузок.

Изучаются соотношения нагрузок и деформаций для тел, один из размеров которых существенно отличается от двух других.

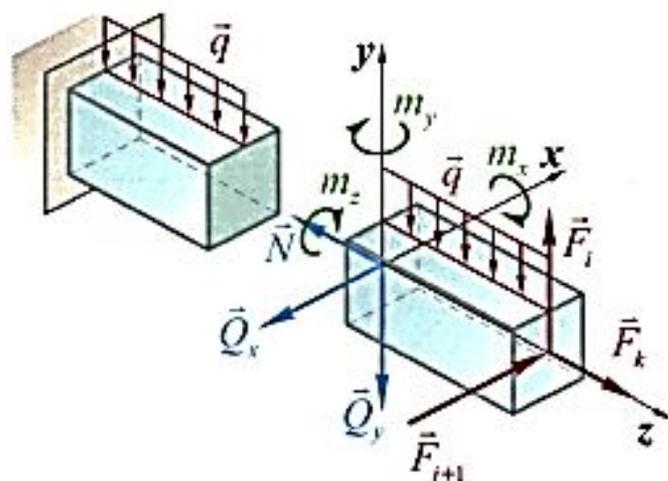
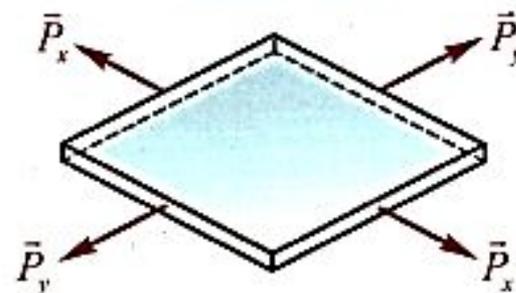
Брус, стержень, вал



Оболочка



Пластина



Основополагающим является **метод сечений**:

рассматривается равновесие части тела, отсеченной от другой его части плоским сечением. Силы взаимодействия между частями называются внутренними; при вычислении их характеристик используются уравнения равновесия какой-либо из частей тела:

$$\sum F_{ix} - Q_x = 0; \quad \sum F_{iy} - Q_y = 0; \quad \sum F_{iz} - N = 0;$$

$$\sum \text{mom}_x \bar{F}_i - m_x = 0; \quad \sum \text{mom}_y \bar{F}_i - m_y = 0; \quad \sum \text{mom}_z \bar{F}_i - m_z = 0.$$

$\{\bar{F}_i\}_n$ — система сил, действующих на отсеченную часть.

Схематизация силового воздействия

– представляет модель механического действия **внешних сил** на объект от других тел или сред. К внешним силам относятся также и **реакции связей**, определяемые методами теоретической механики.

Схематизация силового воздействия сводится к рассмотрению трех типов нагрузки:

Сосредоточенная сила – сила, рассматриваемая в курсе теоретической механики как вектор, характеризуемый модулем (величиной), направлением действия и точкой приложения. Здесь такая сила является условной, поскольку механическое взаимодействие деформируемых тел не может осуществляться в точке (площадь контакта не равна нулю). Условность состоит в том, что в случае малости площадки контакта по сравнению с размерами объекта, **сила считается приложенной в точке**. Если же определяются контактные напряжения, например, в головке рельса, то учитывается фактическое распределение нагрузки на рельс по площадке контакта, размеры которой зависят от величины сжимающей силы (равнодействующей давления). Сосредоточенная сила измеряется в ньютонах (Н).

Объемные силы – силы, распределенные по объему (силы тяжести, силы инерции), приложенные к каждой частице объема. Для этих сил схематизация часто состоит в задании простого закона изменения этих сил по объему. Объемные силы определяются их интенсивностью, как предел отношения равнодействующей

сил в рассматриваемом элементарном объеме к величине этого объема, стремящегося к нулю: и измеряются в Н/м³.

$$f = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta V}$$

Классификация сил

По характеру воздействия на сооружения внешние силы делятся на статические и динамические.

Динамическая нагрузка быстро изменяется

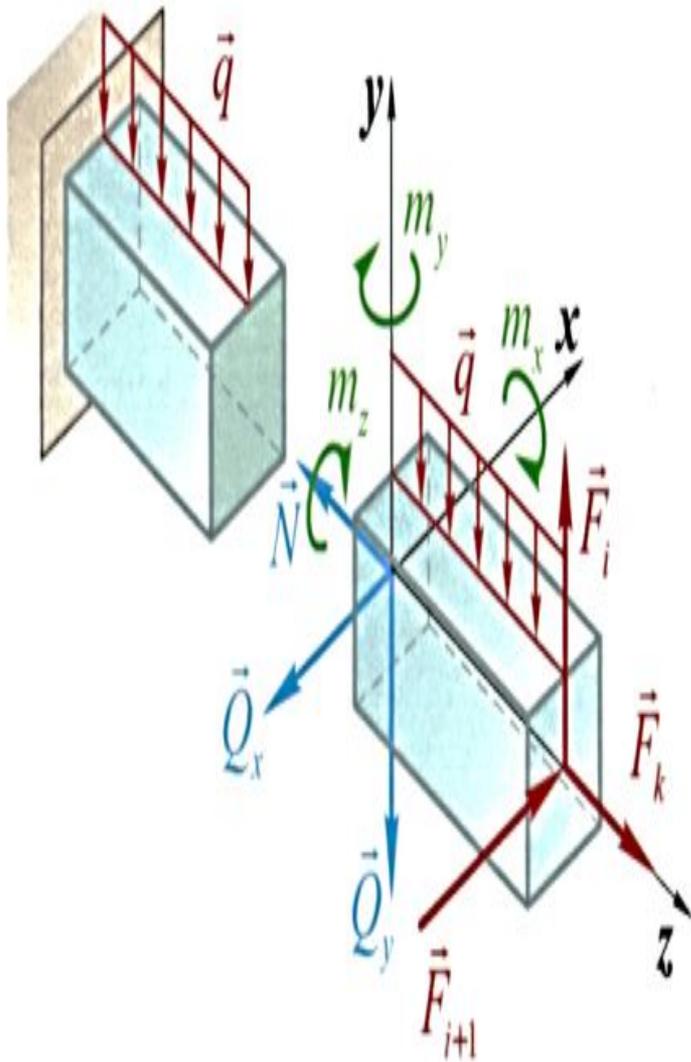
во времени (при движении подвижного состава, колебания, удар). При медленном изменении нагрузки можно пренебречь силами инерции и

деформациями, возникающими в объекте, и такая нагрузка может условно считаться **статической**. По времени действия на сооружения нагрузки

делятся на **постоянные** (вес пролетного строения, вес мостового полотна) и **временные** (нагрузка от проходящего подвижного состава, ветровая

или снеговая нагрузка). Временные нагрузки регламентируются специальными документами (СНиП, ТУ).

- **Внутренние силы** – Под действием **внешних сил** на объект происходит изменение расстояний между частицами (атомами) рассматриваемого тела и сил взаимодействия между ними.
- В результате возникают так называемые **внутренние силы**, которые можно определить **методом сечений**:

F_{i+1} 

Основопологающим является **метод сечений**:

рассматривается равновесие части тела, отсеченной от другой его части плоским сечением. Силы взаимодействия между частями называются внутренними; при вычислении их характеристик используются уравнения равновесия какой-либо из частей тела:

$$\sum F_{ix} - Q_x = 0; \quad \sum F_{iy} - Q_y = 0; \quad \sum F_{iz} - N = 0;$$

$$\sum \text{mom}_x \vec{F}_i - m_x = 0; \quad \sum \text{mom}_y \vec{F}_i - m_y = 0; \quad \sum \text{mom}_z \vec{F}_i - m_z = 0.$$

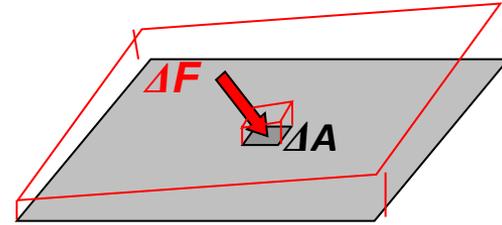
$\{\vec{F}_i\}_n$ — система сил, действующих на отсеченную часть.

Лекция 1 (продолжение)

Поверхностные силы – силы, распределенные по поверхности (давление жидкости, газа или другого тела), характеризующиеся интенсивностью давления, как предел отношения равнодействующей сил на рассматриваемой элементарной площадке к величине площади этой площадки, стремящейся к нулю:
и измеряются в Н/м².

Для этих сил схематизация часто состоит в задании простого закона изменения этих сил по поверхности.

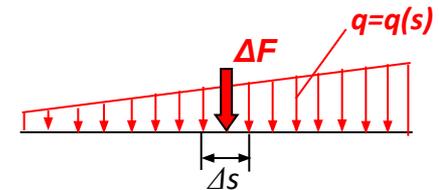
$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

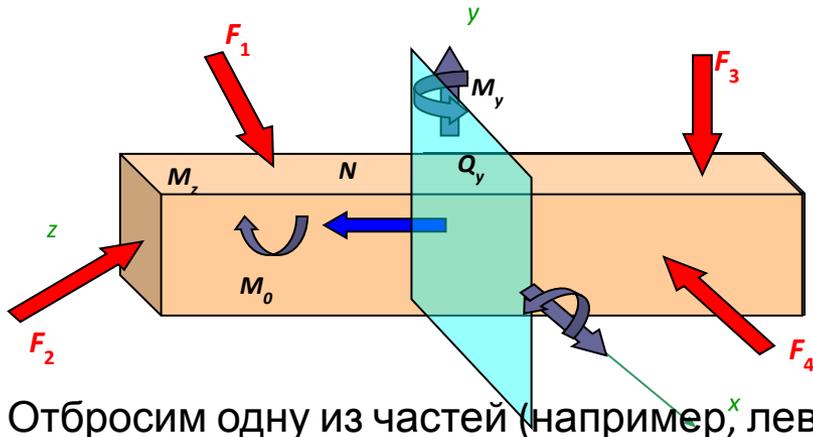


Линейно распределенная нагрузка – силы, распределенные по некоторой линии (длине), характеризуемая интенсивностью нагружения, как предел отношения равнодействующей сил на рассматриваемой элементарной длине линии к величине длины этой линии, стремящейся к нулю:
и измеряются в Н/м.

Для этих сил условность состоит в представлении области контакта в виде линии нулевой толщины. Характер изменения часто задается в виде простого закона (постоянного, линейного).

$$q = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta s}$$





1. Пусть брус под действием сил F_1, F_2 , находится в равновесии. Для рассматриваемого объекта удовлетворяются уравнения равновесия:

2. Проведем сечение плоскостью, совпадающей с поперечным сечением бруса, в котором отыскиваются внутренние силы.

3. Отбросим одну из частей (например, левую) и заменим ее действие на оставшуюся часть бруса совокупностью реактивных сил, распределенных некоторым образом по поверхности поперечного сечения.

4. Полученную систему внутренних сил можно упростить приведением к главному вектору и главному моменту, выбрав в качестве центра приведения центр тяжести поперечного сечения.

5. Разложим главный вектор и главный момент на составляющие по осям x, y, z : R_x, R_y, R_z и M_x, M_y, M_z .

6. Полученные компоненты имеют в сопротивлении материалов специальные названия, соответствующие видам деформации: $R_z = N$ – нормальная сила, $R_x = Q_x, R_y = Q_y$ – поперечные силы и M_z – крутящий момент, M_x, M_y – изгибающие моменты.

7. Поскольку оставленная часть бруса должна остаться в равновесии, полученные внутренние силовые факторы могут быть определены: из уравнений равновесия, составленных для этой части:

$$\begin{aligned} \sum X_i &= 0; & \sum M_{xi} &= 0; \\ \sum Y_i &= 0; & \sum M_{yi} &= 0; \\ \sum Z_i &= 0; & \sum M_{zi} &= 0. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_x + \sum X_i^{\text{оставл. части}} &= 0; & M_x + \sum M_{xi}^{\text{оставл. части}} &= 0; \\ Q_y + \sum Y_i^{\text{оставл. части}} &= 0; & M_y + \sum M_{yi}^{\text{оставл. части}} &= 0; \\ N + \sum Z_i^{\text{оставл. части}} &= 0; & M_z + \sum M_{zi}^{\text{оставл. части}} &= 0. \end{aligned}$$

Или, как легко можно доказать:

$$\begin{aligned} Q_x &= \sum X_i^{\text{отброш. части}}; & M_x &= \sum M_{xi}^{\text{отброш. части}}; \\ Q_y &= \sum Y_i^{\text{отброш. части}}; & M_y &= \sum M_{yi}^{\text{отброш. части}}; \\ N &= \sum Z_i^{\text{отброш. части}}; & M_z &= \sum M_{zi}^{\text{отброш. части}}. \end{aligned}$$