

Тема: Основные зависимости для определения прочности конструкций

1. КЛАССИФИКАЦИЯ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИЙ
2. ПОНЯТИЕ О ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕНИЯХ
3. ПЛАН РЕШЕНИЯ ОСНОВНОЙ ЗАДАЧИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ И ДЕТАЛЕЙ МАШИН
4. ТИПЫ ДЕФОРМАЦИЙ

1. Классификация сил, действующих на элементы конструкций

При работе сооружений и машин на их части действуют внешние нагрузки. Действие этих нагрузок части машин передают друг другу.

Например. Плотина воспринимает свой собственный вес и давление удерживаемой ею воды и передаёт эти силы на основание. Стальные фермы моста воспринимают от колёс через рельсы вес поезда и передают его на каменные опоры, последние, в свою очередь, передают нагрузку на грунт основания. Давление пара в цилиндре паровой машины передаётся на шток поршня. Сила тяги паровоза передаётся поезду через стяжку, соединяющую тендер с вагонами.

Силы, воспринимаемые элементами конструкции, представляют собой либо **объёмные силы**, действующие на каждый элемент объёма (собственный вес), либо **силы взаимодействия** между рассматриваемым элементом и соседними или этим элементом и прилегающей к нему средой (вода, пар, воздух).

Говоря, что к той или другой **части конструкции приложена внешняя сила**, мы будем понимать под этим термином **передачу давления (движения) на рассматриваемую часть от окружающей её среды или от соседних частей конструкции.**

Строго говоря, вес тела есть также сила взаимодействия между телом и землёй.

Классификация сил

Классификацию сил можно произвести по нескольким признакам. Например, физика рассматривает классификацию сил по природе их происхождения (гравитационные силы, ядерные силы, электромагнитные силы, силы трения и т.д.).

С точки зрения воздействия на части конструкции сооружения или машины силы можно подразделить на *сосредоточенные* и *распределённые* силы.

Сосредоточенные силы

Сосредоточенными силами называются давления, передающиеся на элемент конструкции через площадку, размеры которой очень малы по сравнению с размерами всего элемента.

Например давление колёс подвижного состава на рельсы.

При расчётах, благодаря малости площадки, передающей давление, обычно считают сосредоточенную силу приложенной в точке.

Надо помнить, что это — приближённое представление, вводимое лишь для упрощения расчёта. *Через точку никакого давления фактически передать нельзя.* Однако неточность, вызываемая таким приближённым представлением, настолько мала, что ею обычно на практике можно пренебречь.

Сосредоточенные нагрузки измеряются в единицах силы (в ньютонах в системе СИ).

Распределенные силы

Распределёнными нагрузками называются силы, приложенные непрерывно на протяжении некоторой длины или площади конструкции.

Например. Слой песка одинаковой толщины, насыпанный на тротуар моста, представляет собой нагрузку, равномерно распределённую по некоторой площади; при неодинаковой толщине слоя мы получим неравномерно распределённую сплошную нагрузку. Собственный вес балки какого-либо перекрытия представляет собой нагрузку, распределённую по длине элемента.

Распределённые по площади нагрузки выражаются в единицах силы, отнесённых к единице площади (н/см^2 , н/мм^2 , МПа и т.п.); распределённые по длине элемента — в единицах силы, отнесённых к единице длины (н/м).

Постоянные и временные нагрузки

Нагрузки можно разделить также на *постоянные и временные*.

***Постоянные нагрузки* действуют во всё время существования конструкции, например собственный вес сооружения.**

***Временные нагрузки* действуют на конструкцию лишь в течение некоторого промежутка времени. Примером может служить вес поезда, идущего по мосту.**

По характеру действия нагрузки можно разделить на *статические и динамические*.

Статические нагружают конструкцию постепенно. Будучи приложены к сооружению, они не меняются или меняются незначительно. Таково большинство нагрузок в гражданских строительных сооружениях и гидротехнических сооружениях. При передаче статических нагрузок на конструкцию все её части находятся в равновесии; ускорения элементов конструкции отсутствуют или настолько малы, что ими можно пренебречь.

Если же эти ускорения значительны и изменение скорости элементов машины или другой конструкции происходит за сравнительно небольшой период времени, то мы имеем дело с приложением *динамических нагрузок*.

Примерами динамических нагрузок могут служить внезапно приложенные нагрузки, *ударные и повторно-переменные*.

Внезапно приложенные нагрузки передаются на сооружение сразу полной своей величиной. Таковы давления колёс паровоза, входящего на мост.

Ударные нагрузки возникают при быстром изменении скорости соприкасающихся элементов конструкции, например при ударе бабы копра о сваю при её забивке.

Повторно-переменные нагрузки действуют на элементы конструкции, значительное число раз повторяясь. Таковы, например, повторные давления пара, попеременно растягивающие и сжимающие шток поршня и шатун паровой машины. Во многих случаях нагрузка представляет собой комбинацию нескольких видов динамических воздействий.

В дальнейшем мы в первую очередь займёмся *статическими действующими силами*, когда вопрос о подборе сечения и материала для каждой части конструкции решается наиболее просто.

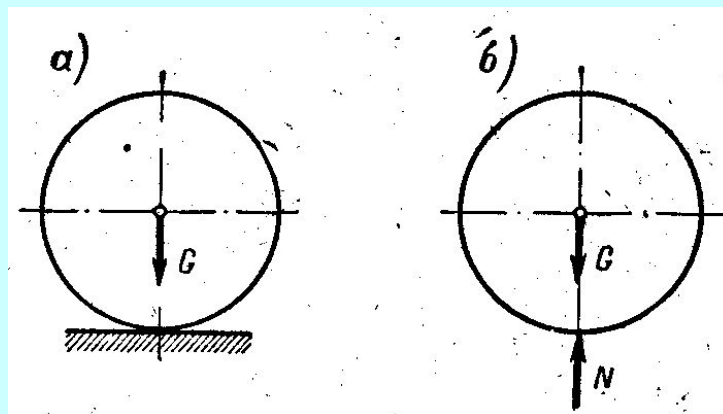
Некоторые случаи действия *динамических нагрузок*, которые на практике встречаются, не менее часто, чем статические, требуют особого изучения, так как и результаты воздействия таких нагрузок на элемент конструкции оказываются иными, чем статических, и материал иначе сопротивляется этим воздействиям.

Заканчивая классификацию сил, действующих на элемент конструкции, можно выделить воздействие тех её частей, на которые этот элемент опирается; эти силы называются *реакциями*; в начале расчёта они оказываются неизвестными и определяются из условия, что каждая часть конструкции находится в равновесии под действием всех приложенных к ней сил и *реакций*.

СИЛЫ РЕАКЦИЙ

Реакцией связи называется сила или система сил, выражающая механическое действие связи на тело.

Одним из основных, положений механики является *принцип освобождаемости* (аксиома теоретической механики) *твердых тел от связей, согласно которому несвободное твердое тело можно рассматривать как свободное, на которое, кроме задаваемых сил, действуют реакции связей.*



Пусть, например, на гладкой неподвижной горизонтальной плоскости покоится шар (рис. а). Плоскость, ограничивая движение шара, является для него связью.

Если мысленно освободить шар от связи (рис. б), то для удержания его в покое к нему в точке касания с плоскостью нужно приложить силу N , равную весу шара G по модулю и противоположную ему по направлению. Сила N и будет реакцией плоскости. Тогда шар, освобожденный от связи, будет свободным телом, на которое действует задаваемая сила G и реакция плоскости N .

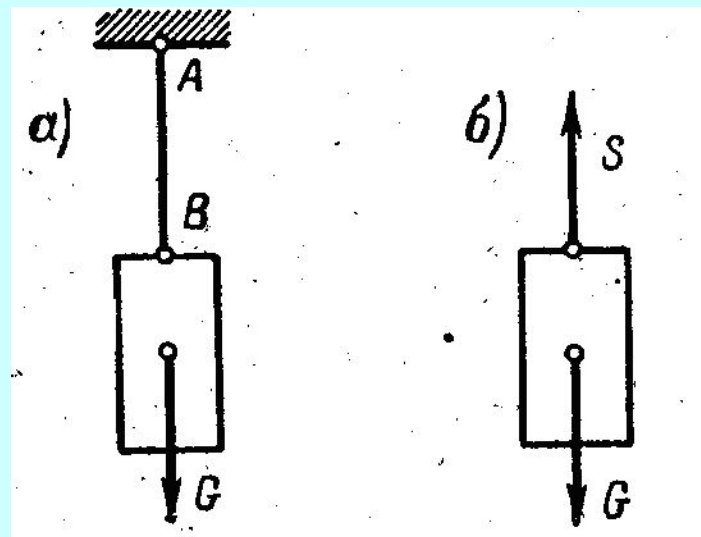
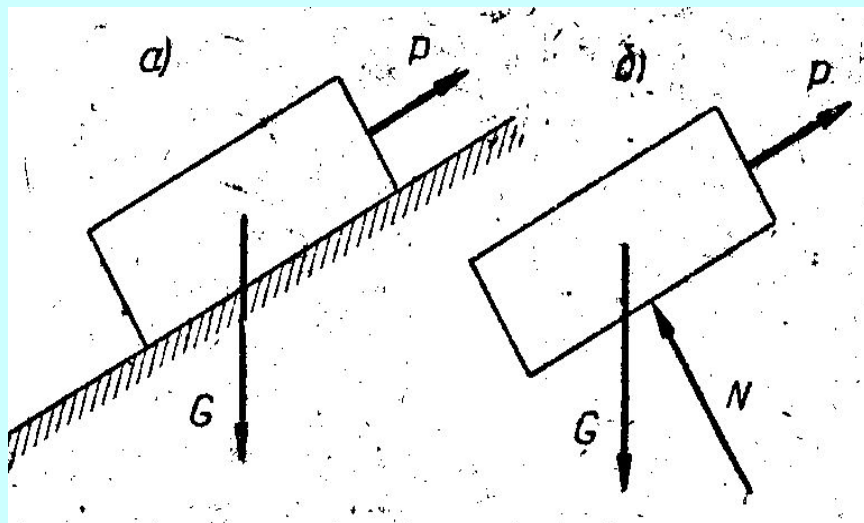
СИЛЫ РЕАКЦИЙ

Гладкая плоскость не противодействует перемещению тела вдоль плоскости под действием задаваемых сил (рис. 1, а), но не допускает его перемещения в направлении, перпендикулярном к плоскости. Поэтому действие плоскости на тело выражается нормальной реакцией N (рис. 1, б).

Реакция гладкой плоскости направлена перпендикулярна к плоскости.

Если к концу В нити АВ, прикрепленной в точке А, подвесить, груз весом G (рис. 2, а), то реакция S нити будет приложена к грузу в точке В, равна по модулю его весу G , и направлена вертикально вверх (рис. 2, б).

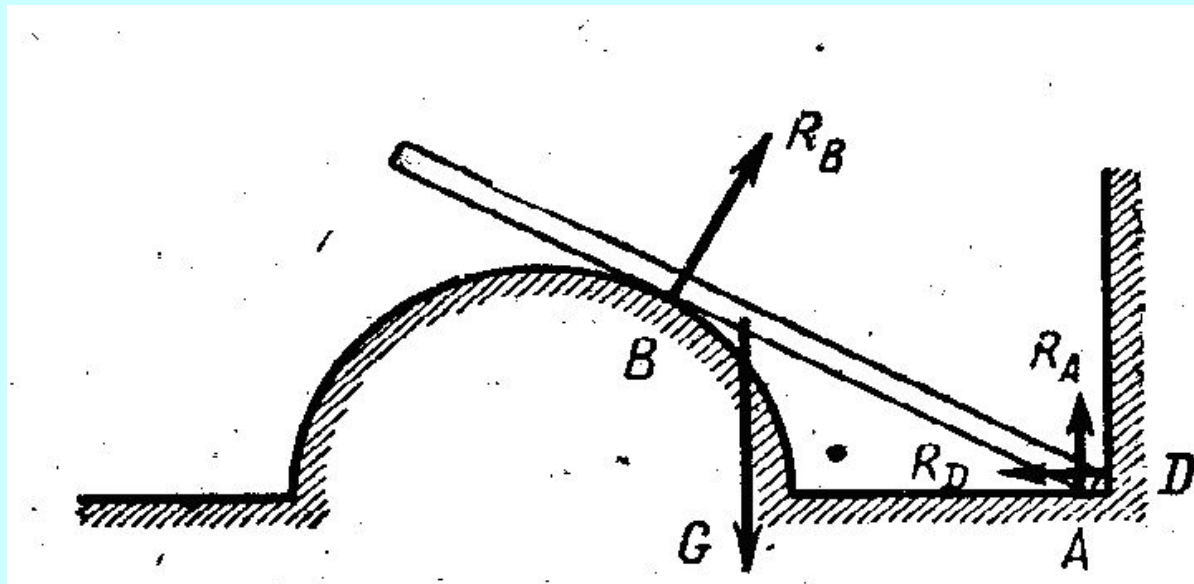
Реакция нити направлена вдоль нити.



СИЛЫ РЕАКЦИЙ

12

Пусть балка весом G в точке B опирается на гладкую поверхность, а в точках A и D на гладкие горизонтальную и вертикальную плоскости (рис.). Тогда, реакции опорной поверхности и опорных плоскостей будут иметь указанные на рисунке три направления.



СИЛЫ РЕАКЦИЙ

Для определения каждой реакции нужно знать три ее элемента: модуль, направление и точку приложения. Точка приложения реакции, как правило, бывает известна. Направление же реакций известно лишь для некоторых типов связей.

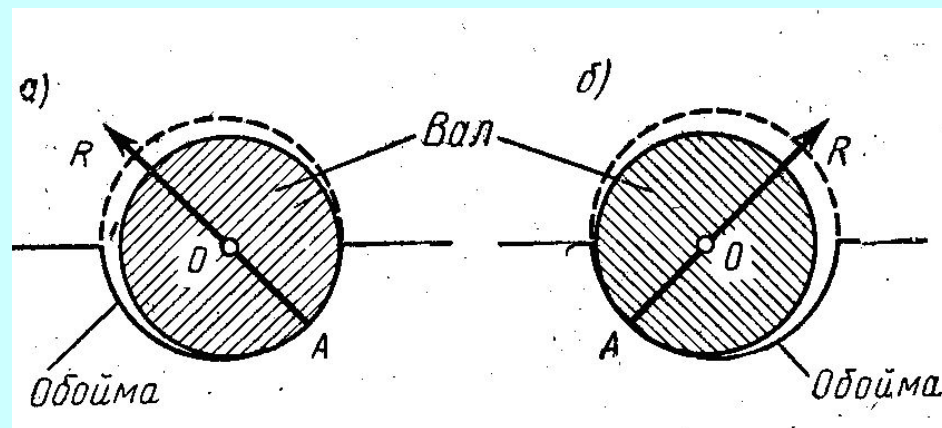
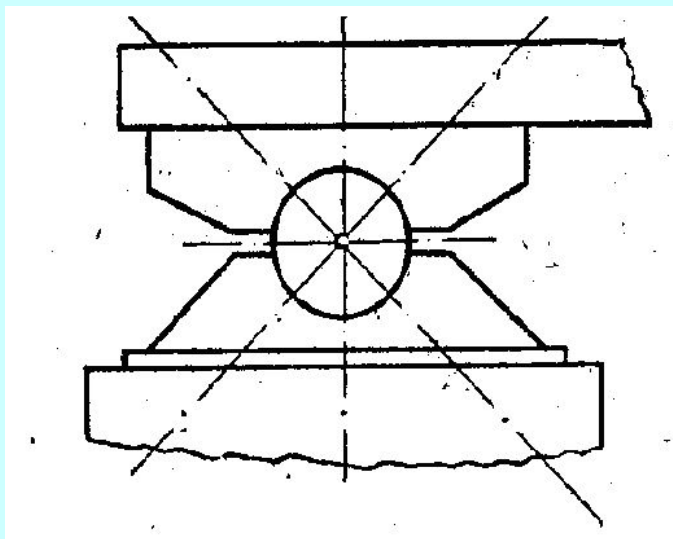
Если существуют два взаимно перпендикулярных направления на плоскости, в одном из которых связь препятствует перемещению тела, а в другом нет, то направление ее реакции противоположно первому направлению.

Так, например, гладкая горизонтальная плоскость препятствует перемещению шара вертикально вниз и не препятствует его горизонтальному перемещению. В этом случае реакция плоскости направлена вверх. Так же определяется направление реакции нити.

Гладкая поверхность, на которую опирается балка некоторой точке В, препятствует перемещению балки по нормали к поверхности вниз и не препятствует перемещению вдоль оси балки. Поэтому реакция этой поверхности направлена по нормали к поверхности вверх

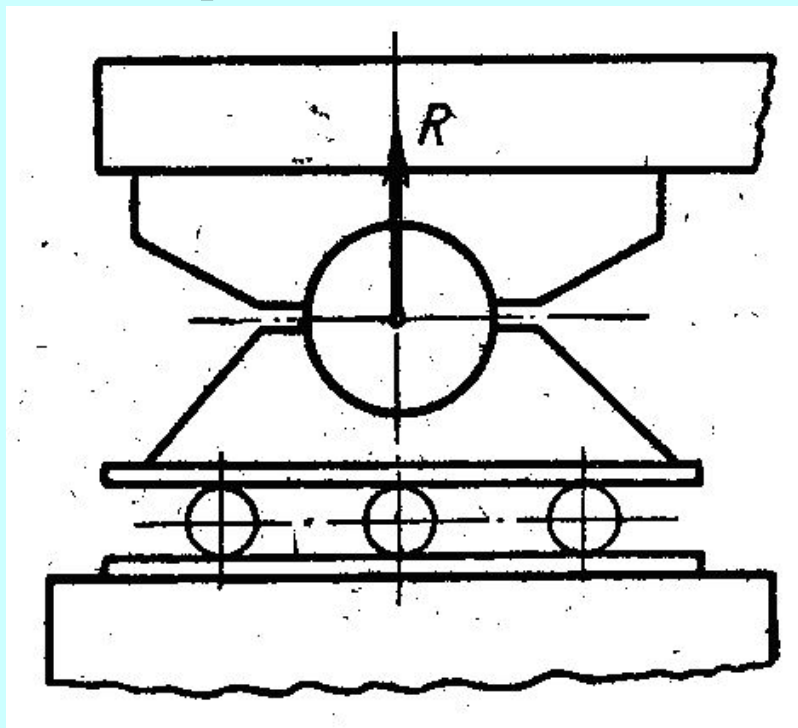
Рассмотрим два основных типа опор балок и их реакции.

На рисунке 1 изображена **шарнирно-неподвижная опора**, которая препятствует любому поступательному движению балки, но дает ей возможность свободно поворачиваться вокруг оси шарнира. По своей конструкции такая шарнирная опора состоит из двух обойм, из которых одна закреплена на балке, а другая — на неподвижной поверхности. Эти обоймы соединяются при помощи цилиндрического валика (на рис. 1 показано среднее сечение конструкции). В зависимости от действующих сил валик может прижиматься к различным точкам обоймы. Реакция R шарнирно-неподвижной опоры проходит через центр шарнира O и точку соприкосновения A (рис.2), но ее модуль и направление не известны.



Второй тип опор балок.

Шарнирно-подвижная опора, нижняя обойма которой поставлена на катки, не препятствует перемещению балки параллельно опорной плоскости (см. рисунок). Если не учитывать трения катков, то линию действия реакции такой опоры следует считать проходящей через центр шарнира перпендикулярно к опорной плоскости. Таким образом, *не известен лишь модуль этой реакции*.



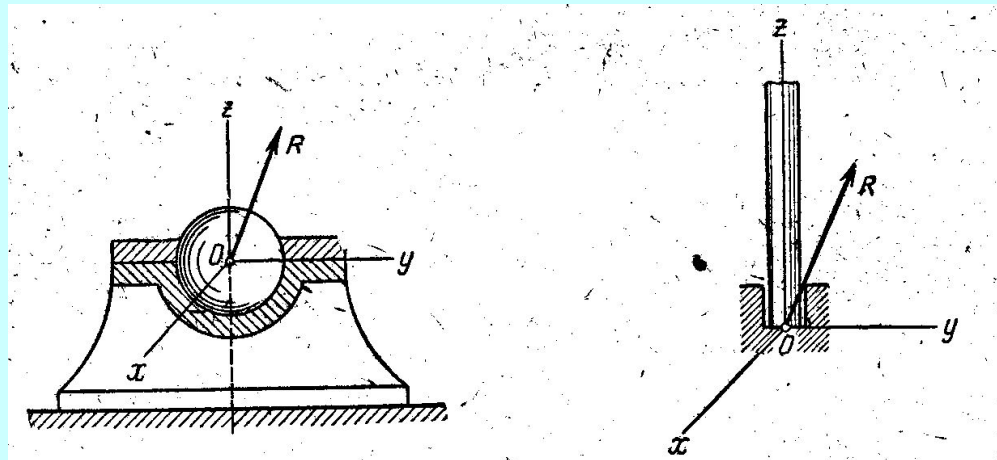
СИЛЫ РЕАКЦИЙ

Шаровой шарнир (рис. 1) представляет собой шар, который может вращаться как угодно внутри сферической полости. Центр шара остается неподвижной точкой, через которую проходит линия действия реакции.

Подпятник (рис. 2) представляет собой совокупность цилиндрического шарнира, рассмотренного на рис. 6 и 7, и упорной плоскости. Подпятник закрепляет одну из точек твердого тела так, что она не может совершать никаких перемещений в пространстве. Линия действия реакции R подпятника проходит через эту точку.

Модули реакций шарового шарнира и подпятника и их направления в пространстве не известны.

Определение модулей и направлений реакций различных связей является основным содержанием задач статики в теоретической механике.

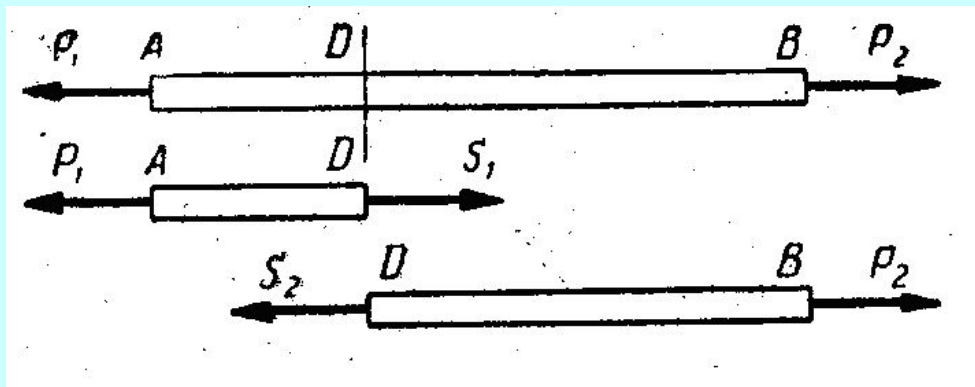


ВНУТРЕННИЕ СИЛЫ

В курсе теоретической механики обычно рассматривают только действие внешних сил на абсолютно твердое тело. Однако при расчете различных конструкций иногда необходимо определять и внутренние силы, возникающие в растянутых и сжатых стержнях. Для определения внутренних усилий в стержнях воспользуемся так называемым методом сечений, дающим возможность принимать внутренние силы за внешние силы. Рассмотрим сущность этого метода.

Пусть стержень AB весом которого пренебрегаем, растягивается двумя равными по модулю силами P_1 и P_2 , приложенными к его концам (рис. 11). Рассечем мысленно стержень, разделив его на две произвольные части AD и DB . На часть AD действуют две уравнивающиеся силы: внешняя сила P_1 и внутреннее усилие S_1 , заменяющее действие отброшенной части стержня. Из второй аксиомы следует, что внутреннее усилие: S_1 направлено по оси стержня и равно по модулю силе P_1 . Внутреннее усилие S_1 выражающее действие отброшенной части DB на рассматриваемую AD , является по отношению к рассматриваемой части стержня внешней силой.

Аналогично на часть DB , кроме силы P_2 , действует внутреннее усилие S_2 , заменяющее действие части AD .

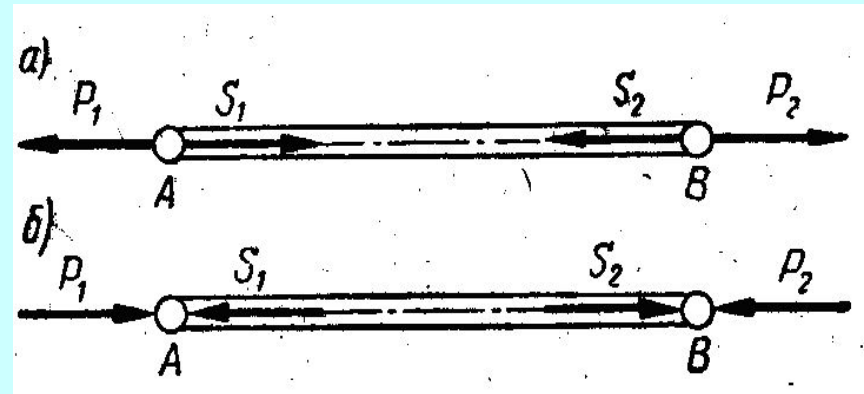
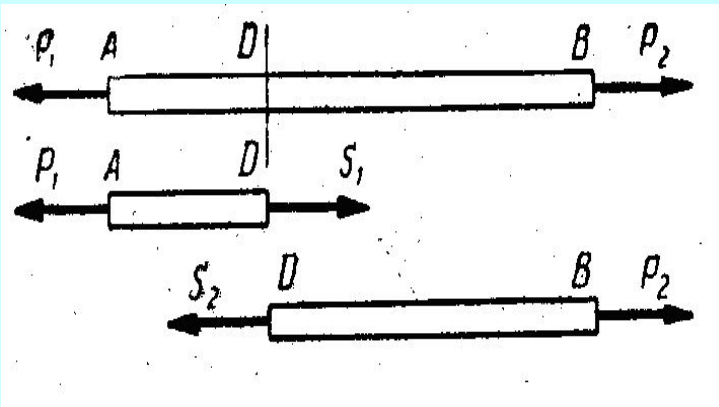


ВНУТРЕННИЕ СИЛЫ

Если стержень АВ растягивается (рис. 2, а) или сжимается (рис. 2, б) силами P_1 и P_2 , то на тела, вызывающие его растяжение или сжатие, со стороны стержня действуют реакции S_1 и S_2 .

При этом *реакции растянутого стержня равны по модулю задаваемым силам и направлены по оси стержня от его концов внутрь стержня.*

Реакции сжатого стержня равны по модулю задаваемым силам и направлены по оси стержня к его концам. Так как реакции и внутренние усилия по модулю равны, то для определения усилия в стержне достаточно определить его реакцию.



В теоретической механике (статике) изучается равновесие абсолютно твёрдого тела; этого представления о материале достаточно для решения поставленной в статике задачи — определения условий, при которых возможно взаимное уравнивание приложенных к телу сил. При проектировании и конструировании деталей машин, точно также как и при изучении сопротивления материалов, действию этих сил, такого грубо приближённого представления о свойствах материала уже недостаточно; мы должны учесть, что абсолютно твёрдых тел в природе не существует.

Как элементы конструкций, так и конструкции в целом при действии внешних сил в большей или меньшей степени изменяют свои размеры и форму и в конце концов могут разрушиться. Это изменение носит общее название — *деформация*.

Величины и характер деформаций связаны со структурой, строением применяемых нами материалов. Все эти материалы могут быть разбиты на два класса: *кристаллические* и *аморфные*.

Кристаллические материалы состоят из громадного количества очень малых кристаллических зёрен. Каждое из этих зёрен представляет собой систему атомов, размещённых на весьма близких расстояниях друг от друга правильными рядами. Эти ряды образуют так называемую *кристаллическую решётку*.

В *аморфных* материалах мы не имеем правильного расположения атомов. Атомы удерживаются в равновесии силами взаимодействия. Деформация тел происходит за счёт изменения расположения атомов, их сближения или удаления.

УПРУГИЕ И ОСТАТОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ

Деформации разделяются на *упругие* и *остаточные*.

Упругими деформациями называются такие изменения формы и размеров элементов, которые исчезают после удаления вызвавших их сил, — тело полностью восстанавливает свою прежнюю форму. Эти деформации связаны лишь с упругими искажениями решётки атомов. Опыт показывает, что упругие деформации наблюдаются, пока величина внешних сил не превзошла известного предела.

Если же внешние силы перешли этот предел, то 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 решётки относительно других. При удалении внешних сил сместившиеся слои атомов сохраняют своё положение.

Смещение атомов при деформации материала под действием внешних сил сопровождается изменением сил взаимодействия между атомами — сил притяжения и отталкивания.

УПРУГИЕ И ОСТАТОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ

В элементах конструкции под действием внешних сил возникают дополнительные *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 на деформированный элемент, нам необходимо научиться измерять и вычислять величину внутренних межуатомных сил, возникших как результат деформации, вызванной определёнными внешними силами.

Для этого в сопротивлении материалов пользуются так называемым методом сечений, который мы поясним на примере.

МЕТОД СЕЧЕНИЙ

Представим себе стержень (см. рисунок) под действием двух равных и прямо противоположных сил P и мысленно разделим его на две части I и II плоскостью mn . Под действием сил P обе половины стержня стремятся разъединиться и удерживаются вместе за счёт сил взаимодействия между атомами, находящимися по обе стороны плоскости mn . Равнодействующая этих сил взаимодействия называется усилием, передающимся через сечение mn от одной части стержня на другую, и обратно. Внутренняя сила взаимодействия, приходящаяся на единицу площади, выделенную у какой-либо точки сечения mn , называется *напряжением* в этой точке по проведённому сечению. Напряжения, действующие от части II на I и от I на II, по закону равенства действия и противодействия равны между собой.



МЕТОД СЕЧЕНИЙ

Через одну и ту же точку стержня можно провести целый ряд сечений, разделяющих стержень различным образом на две части. Величина и направление напряжений, передающихся в *рассматриваемой точке* от одной части на другую, будут различными в зависимости от того, как проведён разрез.

Таким образом, нельзя говорить о напряжении, не указывая сечения, через которое происходит передача этого напряжения. Поэтому говорят о «напряжении по такой-то площадке, по такому-то сечению». Так как напряжение представляет собой силу, *приходящуюся на единицу* площади, то оно измеряется в единицах силы, отнесённых к единице площади: н/см^2 , н/мм^2 , МПа и др.

Обозначать напряжения в дальнейшем мы будем буквами p , σ и τ ; обозначение p применяется при любом наклоне напряжения к рассматриваемой площадке, буквой σ обозначают напряжение *нормальное* к площадке, а τ — лежащее в её плоскости, так называемое *касательное* напряжение.

МЕТОД СЕЧЕНИЙ

Величина напряжений в каждой точке и является мерой внутренних сил, которые возникают в материале как результат деформации, вызванной внешними силами. Усилие, передающееся от части I стержня на II (рис.), удерживает часть II в равновесии, т. е. уравнивает систему внешних сил, приложенных к части II.

Усилие же может быть выражено через искомые напряжения; если мы выделим элемент площади dF в проведённом сечении, то элементарное усилие, действующее на эту часть площади, будет равно $p dF$, при этом p — напряжение в той точке, где выделен элемент площади. Сумма этих элементарных усилий и даст полное усилие, передающееся через проведённое сечение.



МЕТОД СЕЧЕНИЙ

Таким образом, для вычисления напряжений надо мысленно разделить рассматриваемый элемент конструкции сечением на две части и составить условия равновесия для системы сил, приложенных к одной из отсечённых частей. Эта система будет включать в себя внешние силы, приложенные к выделенной части стержня, а также усилие, передающееся через проведённое сечение и выраженное через искомые напряжения. В этом и состоит метод сечений, которым в дальнейшем мы будем постоянно пользоваться.

Заметим, что в сопротивлении материалов термин «напряжение» применяется очень часто вместо термина «внутренние силы взаимодействия между частями стержня». Поэтому мы будем говорить о «равномерном или неравномерном распределении напряжений по сечению», об «усилии как сумме напряжений». Надо помнить, что эти выражения являются в известной мере условными, например, для вычисления усилия нельзя просто суммировать напряжения в разных точках; надо, как это указано выше, вычислить в каждой точке сечения *элементарное усилие*, передающееся через малую площадку dF , а потом суммировать уже эти слагаемые. Резюмируя сказанное, можно сказать, что результатом действия внешних сил на элементы конструкции является возникновение в них деформаций, сопровождаемых напряжениями.

Сопротивление материалов, изучая зависимость между внешними силами, с одной стороны, и вызванными ими деформациями и напряжениями — с другой, даёт возможность решить стоящую перед инженером задачу — противопоставить действию внешних сил стержень достаточных размеров и из наиболее подходящего материала.

Рассмотрим план этого решения.

3. План решения основной задачи определения прочности конструкции

27

При выборе размеров и материала для того или иного элемента конструкции мы должны обеспечить известный запас против возможности его разрушения или остающегося изменения формы. Элемент должен быть так спроектирован, чтобы наибольшие напряжения, возникающие в нём при его работе, были, во всяком случае, меньше тех, при которых материал разрушается или получает остаточные деформации.

Величина напряжений, достижение которых обуславливает разрушение материала, называется *пределом прочности* или *временным сопротивлением*; его мы будем обозначать теми же буквами, что и напряжения, но с индексом «в». Величина же напряжений, при превышении которых материал получает незначительные, заранее обусловленные, остаточные деформации, называется *пределом упругости*. Эти величины являются механическими характеристиками сопротивления материала разрушению и остаточному изменению формы.

Чтобы обеспечить сооружение от риска разрушения, мы должны допускать в его элементах напряжения, которые будут по своей величине составлять лишь часть предела прочности материала.

Величину допускаемых напряжений обозначают той же буквой, что и напряжение, но заключённой в прямые скобки; она связана с пределом прочности r_b равенством

$$[p] = r_b / k,$$

где k — так называемый *коэффициент запаса прочности* — число, показывающее, во сколько раз допущенные нами в конструкции напряжения меньше предела прочности материала.

Коэффициент k будем в дальнейшем называть просто коэффициентом запаса. Величина этого коэффициента колеблется на практике в пределах от 1,7—1,8 до 8—10 и зависит от условий, в которых работает конструкция.

Обозначая наибольшие напряжения, которые возникнут при действии внешних сил в проектируемом элементе, буквой p_{max} , мы можем выразить основное требование, которому должны удовлетворять материал и размеры этого элемента, неравенством

$$p_{max} \leq [p]. \quad (1.1)$$

Это — так называемое *условие прочности*: действительные напряжения должны быть не больше допускаемых.

Теперь мы можем составить план решения задач на прочность конструкций.

Необходимо:

- 1) выяснить величину и характер действия всех внешних сил, приложенных к проектируемому элементу, включая и реакции;
- 2) выбрать материал, наиболее отвечающий назначению конструкции и характеру действия внешних сил, и установить величину допускаемого напряжения;
- 3) задаться размерами поперечного сечения элемента в числовой или алгебраической форме и вычислить величину наибольших действительных напряжений p , которые в нём возникнут;
- 4) написать условие прочности $p_{max} \leq [p]$ и, пользуясь им, найти величину поперечных размеров элемента или проверить достаточность уже принятых.

В последнее время при проектировании и конструировании элементов машин эта схема решения задачи на прочность в некоторых случаях видоизменяется. Встречаются конструкции, в которых *запас прочности для всей конструкции в целом* оказывается большим, чем для *материала в наиболее напряжённом месте*. Исчерпание грузоподъёмности материала в этом месте иногда не влечёт за собой исчерпания грузоподъёмности всей конструкции в целом.

Условие прочности для материала $p_{max} \leq [p]$ заменяется в этих случаях условием прочности для всей конструкции в целом:

$$P \leq P_{\text{доп}} = P_v / k_1,$$

где P — нагрузка, действующая на конструкцию;

$P_{\text{доп}}$ — её допустимая величина;

P_v — предельная, разрушающая всю конструкцию нагрузка.

План решения задачи определения прочности конструкции

Таким образом, расчёт по допускаемым напряжениям заменяется расчётом по допускаемым нагрузкам.

В этом случае необходимо:

- 1) выяснить величину и характер действия всех внешних сил, приложенных к конструкции;
- 2) выбрать материал, наиболее отвечающий назначению конструкции и характеру внешних сил, и установить величину коэффициента запаса прочности;
- 3) задаться размерами поперечных сечений элементов сооружения в числовой или алгебраической форме и установить допускаемую нагрузку;
- 4) написать условие прочности: $P \leq P_{\text{доп}} = P_v / k_1$ и пользуясь им, найти величину поперечных размеров элементов конструкции или проверить достаточность уже принятых.

В ряде случаев, как мы увидим дальше, оба метода решения дают совпадающие результаты.

Мы будем, как правило, пользоваться общепринятым пока методом расчёта по допускаемым напряжениям, но параллельно будем излагать и способ расчёта по допускаемым нагрузкам в особенности там, где он даёт отличные от первого способа результаты.

В большинстве случаев условие прочности должно быть дополнено проверками на устойчивость и жёсткость. Первая проверка должна обеспечить невозможность общего изменения элементами конструкции намеченной для них формы равновесия, вторая — должна ограничить их деформации.

При решении задач сопротивления материалов (проверка конструкции на прочности) приходится применять и методы теоретической механики, и экспериментальные методы. При определении внешних сил приходится основываться на уравнениях статики; в случае статически неопределимых конструкций необходимо производить вычисление деформаций материала, что возможно лишь при наличии надёжных результатов лабораторных опытов, в которых определялись зависимости между деформациями и силами или напряжениями.

Установление допускаемых напряжений требует знания предела прочности материала и других его механических характеристик, что может быть получено также при помощи экспериментальных исследований материала в специальных лабораториях испытания материалов. Наконец, вычисление действительных напряжений требует как применения методов математического анализа и механики, так и использования опытных данных. Таким образом, сопротивление материалов включает в себя две области: одну — аналитическую, основанную на механике и математике, другую — экспериментальную. Обе эти области тесно между собой переплетаются.

При проектировании и конструировании машин использование науки «Сопротивление материалов» нельзя рассматривать как дисциплину, которая занимается только теоретическим вычислением напряжений в каком-то однородном упругом теле. Решение задач, изучаемых в сопротивлении материалов, возможно лишь при *наличии результатов экспериментального* исследования механических свойств реальных материалов в связи с их структурой, методами их изготовления и обработки.

Установив общий план решения задач сопротивления материалов, мы можем теперь перейти к отдельным видам этих задач. Их можно разбить на несколько групп в зависимости от типа деформаций.

Основными типами деформаций являются (см. рис.):

1) растяжение или сжатие (а и б); примеры — работа цепей, канатов, тросов, растянутых и сжатых стержней в фермах, колонн;

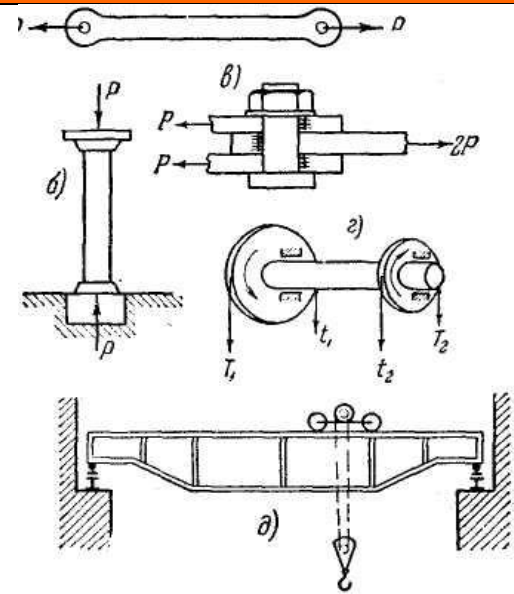
2) перерезывание (в) — работа болтов, заклёпок;

3) кручение — работа валов (г);

4) изгиб — работа всякого рода балок (д).

Эти четыре типа деформаций называются простыми.

Для простоты мы будем сначала рассматривать лишь те элементы сооружений и машин, которые представляют собой так называемые призматические стержни с прямой осью. Таким стержнем мы будем называть тело, все поперечные сечения которого одинаковы; центры тяжести этих сечений лежат на одной прямой, называемой осью стержня. В дальнейшем мы рассмотрим стержни и с переменным сечением и с криволинейной осью.



В конструкциях встречается и более сложная работа элементов, когда они испытывают два и более типов деформаций одновременно, например, растяжение или сжатие с изгибом, изгиб с кручением и т. д.; в этих случаях мы имеем дело с так называемой сложной деформацией. Для каждого из этих видов деформаций мы установим способы для вычисления напряжений, подбора материала и поперечных размеров элементов конструкции, а также способы для вычисления деформаций.