

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.

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**.

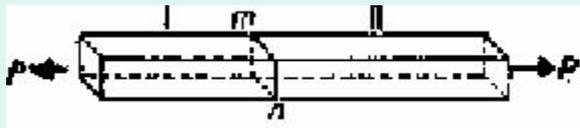
Эти деформации связаны лишь с упругими искажениями решетки атомов. Упругие деформации наблюдаются до тех пор, пока величина внешних сил не превзошла известного предела



- 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.

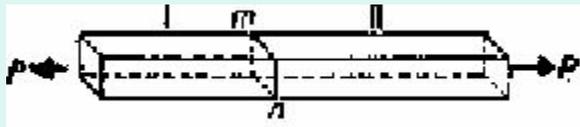


Чтобы численно характеризовать степень воздействия внешних сил необходимо научиться измерять и вычислять величину внутренних межатомных сил, возникших как результат деформации. Для этого пользуются **методом сечений**

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



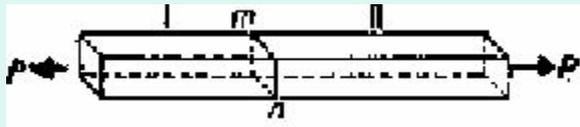
Метод сечений позволяет определить величину внутреннего силового фактора в сечении, но **не дает возможности установить закон распределения внутренних сил по сечению.**

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 **σ** , и называют его **нормальным напряжением**

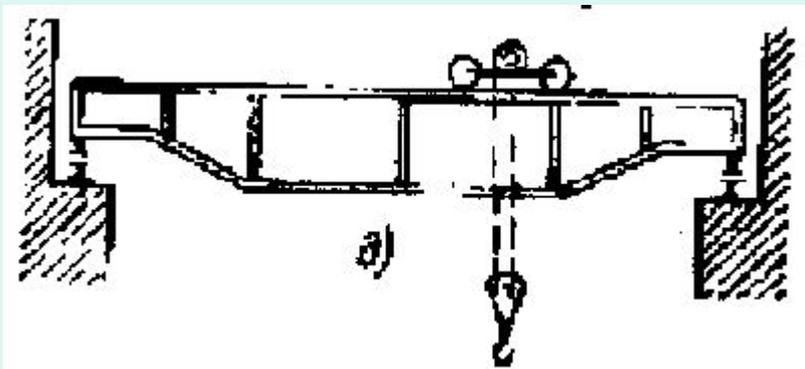
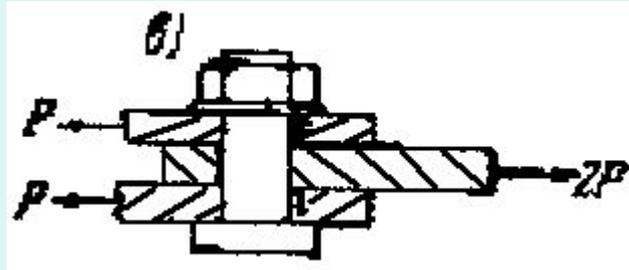
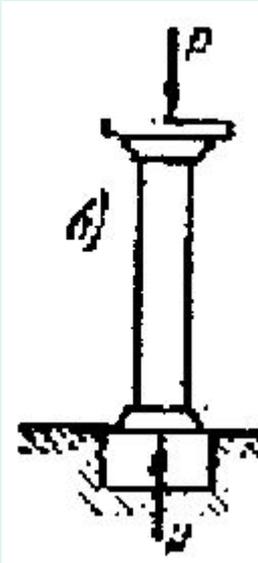
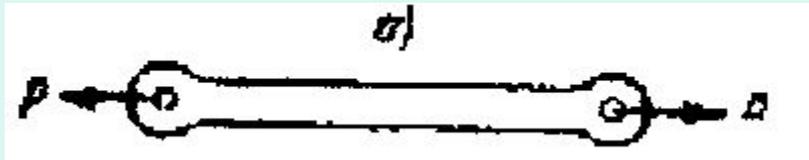


!!! При расчетах аксиомы теоретической механики используются ограниченно:

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.

- Примеры нагрузок:



Основными типами деформаций являются:

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

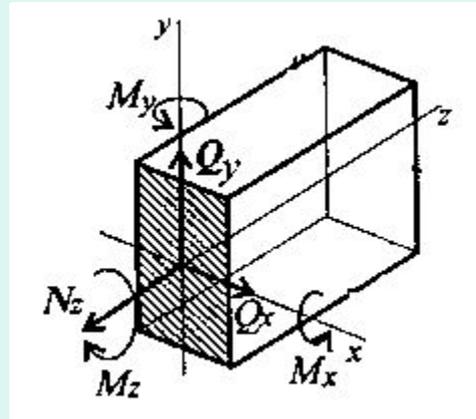
Эти, отдельно взятые деформации называются **простыми**

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 равнодействующим.

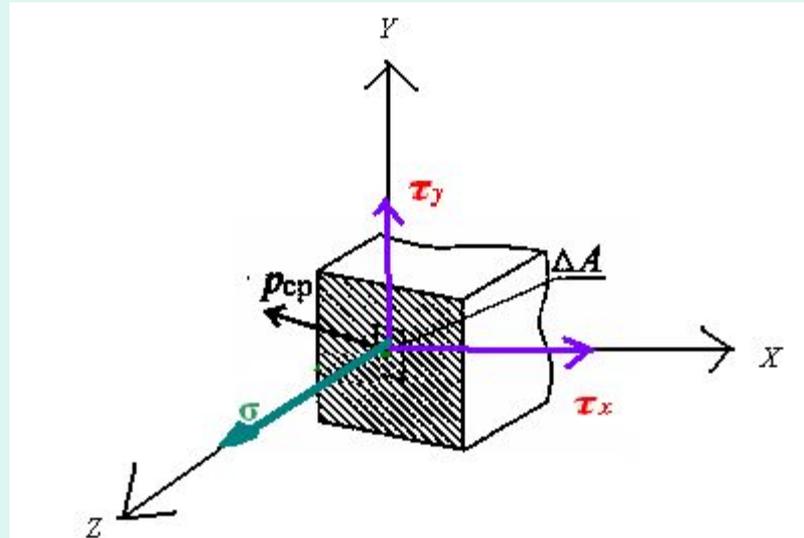
- Используется система координат, связанная с телом. Чаще **про дольную ось детали обозначают z** , начало координат совмещают с левым краем и размещают в центре тяжести сечения



- 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

- Направление напряжения ρ совпадает с направлением внутренней силы в этом сечении. Вектор ρ называют **полным напряжением**.

Обозначив векторами τ_x и τ_y — векторы, лежащие в площадке сечения (**касательным напряжениями**) и вектором σ — вектор, направленный перпендикулярно площадке (**нормальные напряжения**),



получим пространственный вектор ρ (полное напряжение) — в виде трех составляющих:

$$\rho = \sqrt{\sigma^2 + \tau_x^2 + \tau_y^2}$$

Нормальное напряжение характеризует

- сопротивление сечения **растяжению или сжатию**.

Касательное напряжение

- характеризует сопротивление сечения **сдвигу**.

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

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**

Диаграмма деформаций и диаграмма механических характеристик

- Все материалы под нагрузкой **деформируются**, т. е. меняют форму и размеры:

Рассмотрим график испытаний малоуглеродистой стали на растяжение. Зависимость между приложенным усилием и деформацией:



Особые точки диаграммы: 1, 2, 3, 4, 5:

- точка 1 соответствует **пределу пропорциональности**: после нее прямая линия (прямая пропорциональность) заканчивается и переходит в кривую; **От точки 0 до точки 1 - деформация прямо пропорциональна нагрузке**, т.е. выполняется закон Гука. Считают, что **все материалы** подчиняются закону Гука.- допущение о деформациях!

- от точки 2 до точки 5 деформации быстро нарастают и образец разрушается.

Если прервать испытания до точки 2, образец вернется к исходным размерам. Эта область называется **областью упругих деформаций**.

Упругие деформации полностью исчезают после снятия нагрузки.

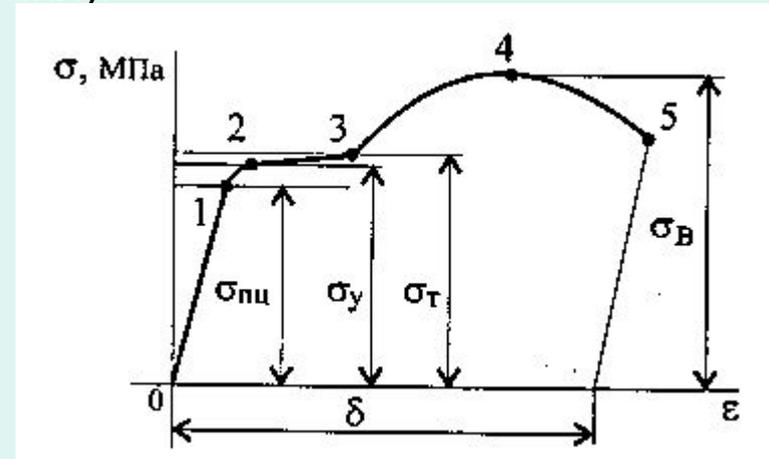
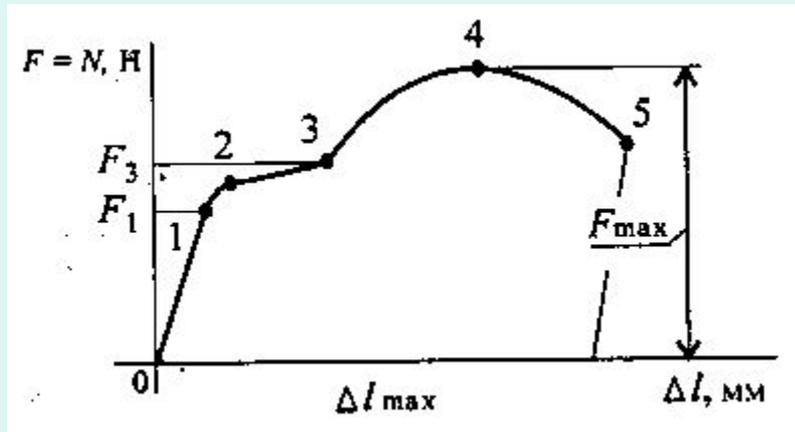


При продолжении испытания **после точки 2** образец уже не возвращается к исходным размерам, деформации начинают накапливаться. В **точке А** образец несколько сжимается по линии АВ, параллельной линии 01.

Деформации после точки 2 называются **пластическими**, они полностью не исчезают - их называют **остаточными**.

Возникновение пластических деформаций относят к нарушению прочности, хотя на практике бывают случаи, когда местные пластические деформации считаются допустимыми.

При построении **диаграммы механических характеристик** рассчитываются величины, имеющие условный характер. Усилия в каждой из точек делят на величину начальной площади поперечного сечения ($A_0 = \pi d^2/4$ — начальная площадь сечения).



- **точка 1** соответствует **пределу пропорциональности**: деформация прямо пропорциональна нагрузке $\sigma_{пп} = F_1 / A_0$
- **точка 2** соответствует **пределу упругости** материала: материал теряет упругие свойства: способность вернуться к исходным размерам $\sigma_y = F_2 / A_0$
- **точка 3** завершает участок, на котором образец **без увеличения нагрузки** сильно деформируется. Это явление называют **текучестью**; Текучесть — удлинение при постоянной нагрузке $\sigma_t = F_3 / A_0$
- **точка 4** соответствует **максимальной нагрузке**, в этот момент на образце образуется «*шейка*» — резкое уменьшение площади поперечного сечения. Зона называется **зоной упрочнения**, а напряжение в этой точке называют **временным сопротивлением разрыву**, или **условным пределом прочности**.

$$\sigma_b = F_{max} / A_0.$$

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

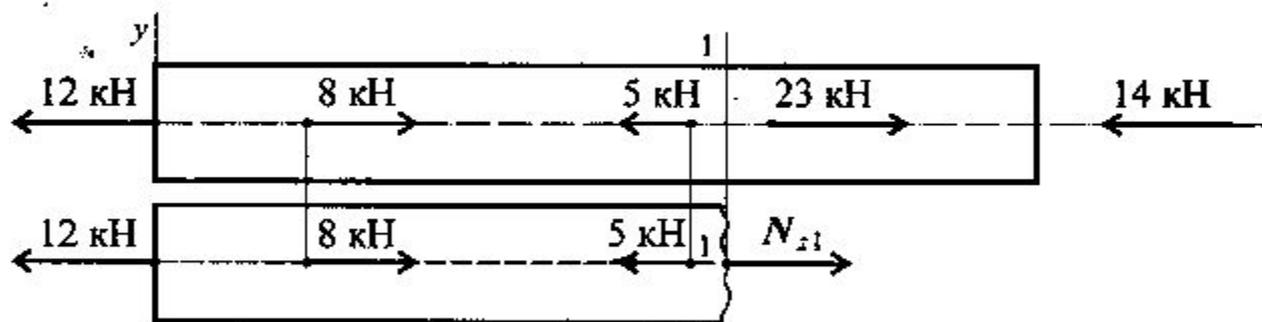
Пример 1. Определить величину продольной силы в сечении 1-1

Решение

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

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

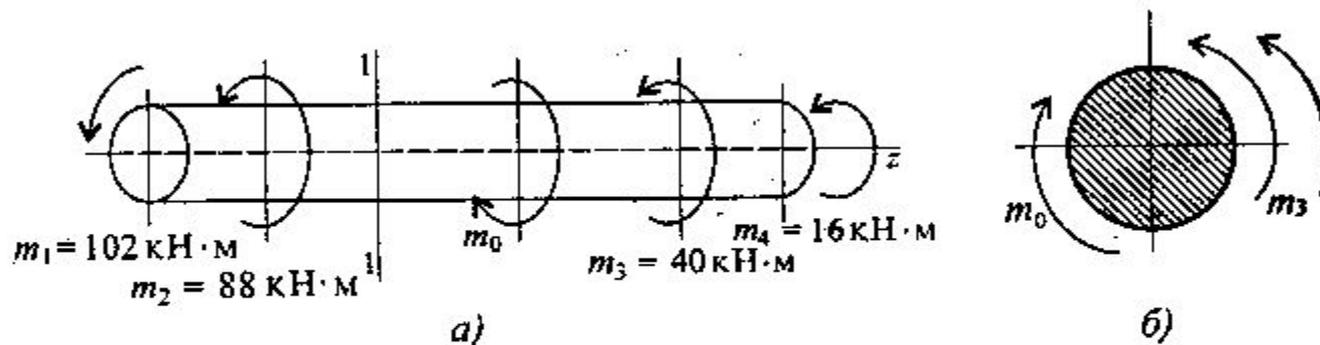
Рассматривая правую часть бруса, определяем $N_{z1} = 23 - 14 = \mathbf{9}$ кН



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

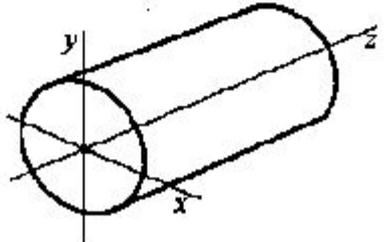
Получаем $M_z = 246 - 40 - 16 = 190 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

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_y	2
	M_z	3
	M_y	4

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

Возникающие при нормальной работе

1

Направленные перпендикулярно площадке

2

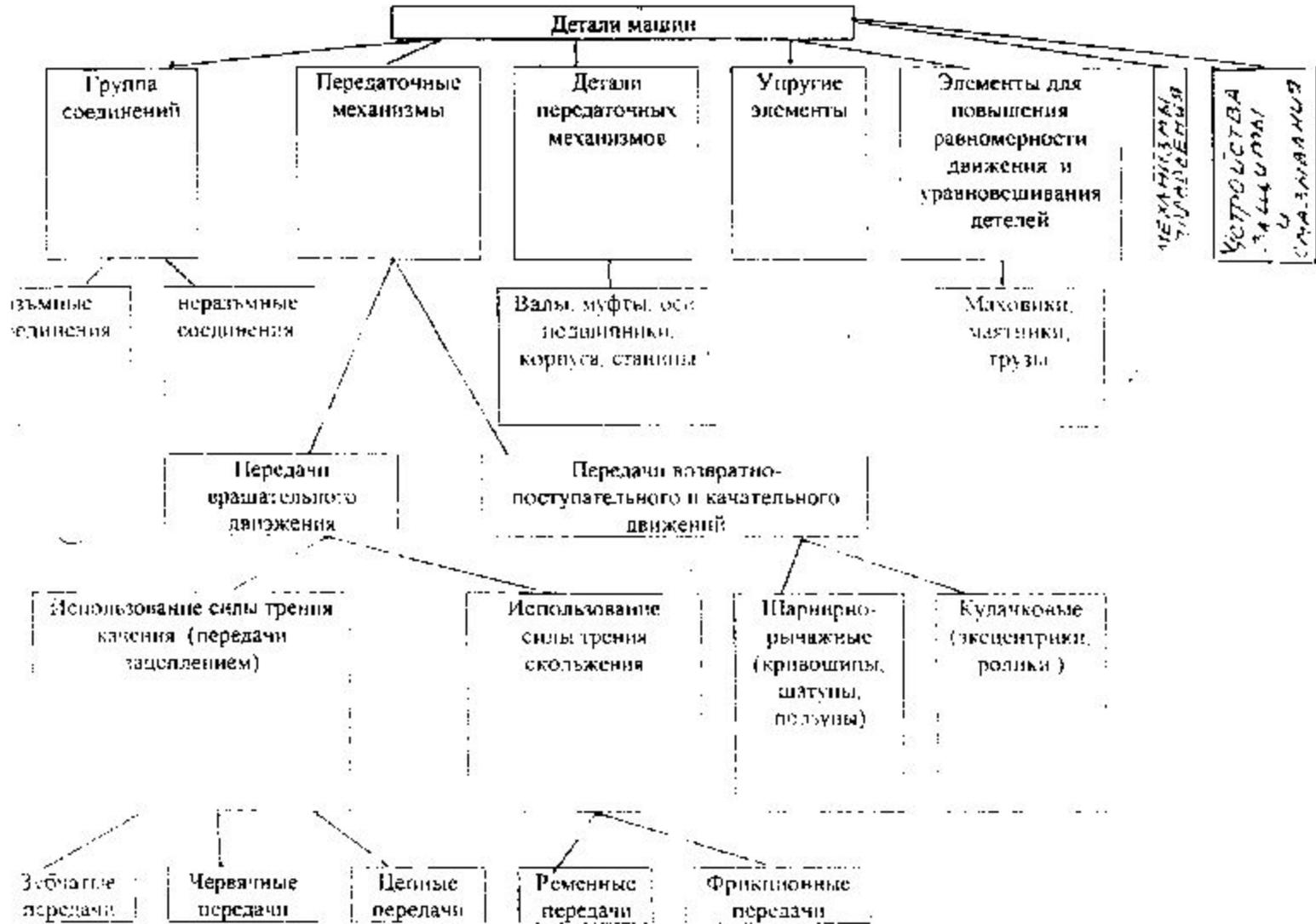
Направленные параллельно площадке

3

Лежащие в площадке сечения

4

Классификация деталей машин



В таблице Классификация деталей машин даны следующие детали и сборочные единицы:

- **подшипник червячного редуктора**
- **винт**
- **зубчатое колесо**
- **паровой котел из листового металла, соединенных между собой сваркой**
- **штифт**
- **пропеллер самолета**
- **фрикционный вариатор**
- **шпонка**
- **пружина**
- **лопатка турбины**
- **шкив ременной передачи**
- **кривошип**
- **кулачок**
- **рессора**

записать их в предполагаемые разделы таблицы