

Тема 17. Условия равновесия твёрдого тела

Равновесие механической системы – это такое состояние системы, находящейся под действием внешних сил, при котором все её точки находятся в состоянии покоя по отношению к рассматриваемой системе отсчёта.

Виды равновесия: устойчивое, неустойчивое, безразличное (рисунок 17.1).

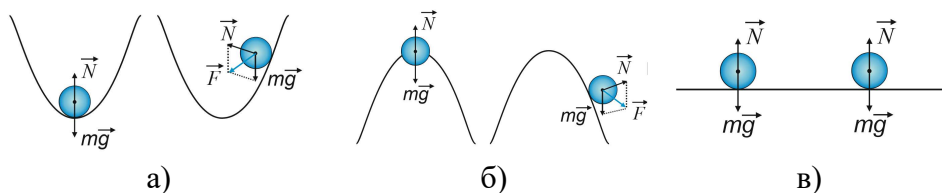


Рисунок 17.1. Виды равновесия: устойчивое (а), неустойчивое (б) и безразличное (в)

Условия равновесия:

$$\begin{cases} \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0, \\ \pm M_1 \pm M_2 \pm \dots \pm M_n = 0, \end{cases}$$

где $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ – силы, которые действуют на тело;

$M_1, M_2, \dots, M_n$ – моменты этих сил относительно оси вращения.

Знак «+» пишут, если сила стремится повернуть тело по часовой стрелке, знак «-», если сила стремится повернуть тело против часовой стрелки.

Устойчивое равновесие – это равновесие, при котором тело, выведенное из состояния равновесия, стремится вернуться в начальное положение (рисунок 17.1, а).

Неустойчивое равновесие – это равновесие, при котором тело, выведенное из этого состояния, стремится увеличить отклонение от точки неустойчивого равновесия (рисунок 17.1, б).

Безразличное равновесие – это равновесие, при котором равнодействующая сила равна нулю (рисунок 17.1, в).

Равновесие твёрдого тела, установленного на опоре

На практике физическое тело опирается не на точку, а на некоторую поверхность, которая имеет определенную площадь опоры. Площадь опоры – это площадь внутри контура опоры (линия, которая охватывает все площадки опоры (рисунок 17.2)).

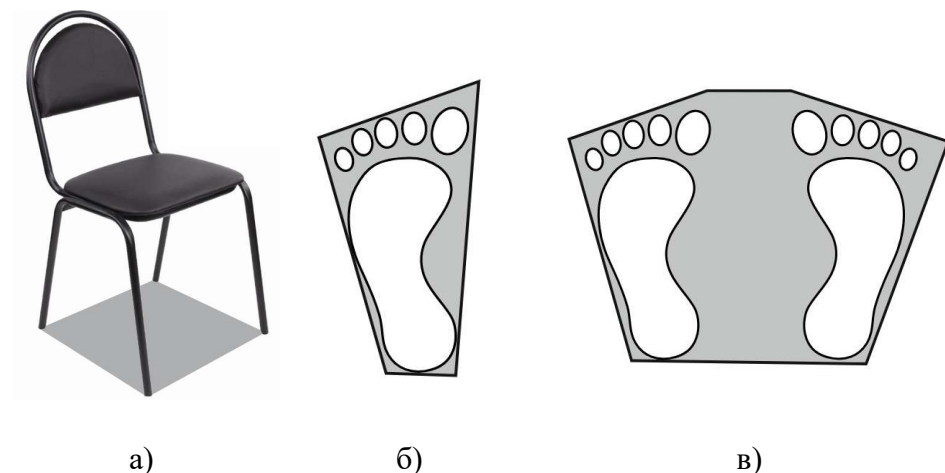


Рисунок 17.2. Площадь опоры стула (а), человека, стоящего на одной ноге (б), стоящего на двух ногах (в)

Если проекция центра масс тела находится внутри контура опоры (линия действия силы тяжести не выходит за пределы площади опоры), то равновесие твёрдого тела будет устойчивым (рисунок 17.3, а, б).

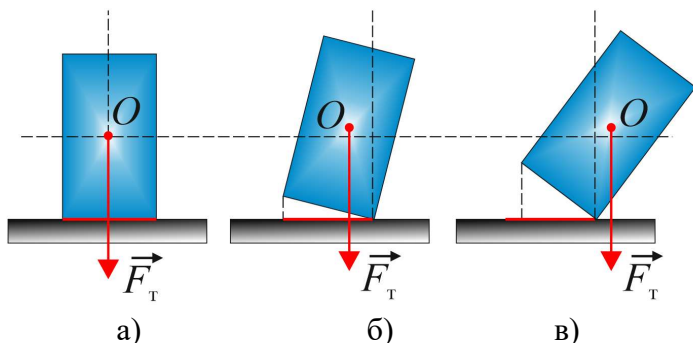


Рисунок 17.3. Равновесие устойчивое (а, б) и неустойчивое (в)

Если проекция центра масс тела выходит за контур опоры (линия действия силы тяжести выходит за пределы площади опоры), то равновесие твёрдого тела будет неустойчивым (рисунок 17.3, в).

Равновесие тела человека

Человек обычно находится в ограниченно-устойчивом равновесии.

Для того чтобы сохранить устойчивое равновесие, человеку надо, чтобы проекция его центра тяжести, попадала на площадь, занимаемую обеими ступнями. Поэтому, чем шире площадь опоры и чем ниже расположен центр тяжести, тем устойчивее равновесие тела (рисунок 17.4).

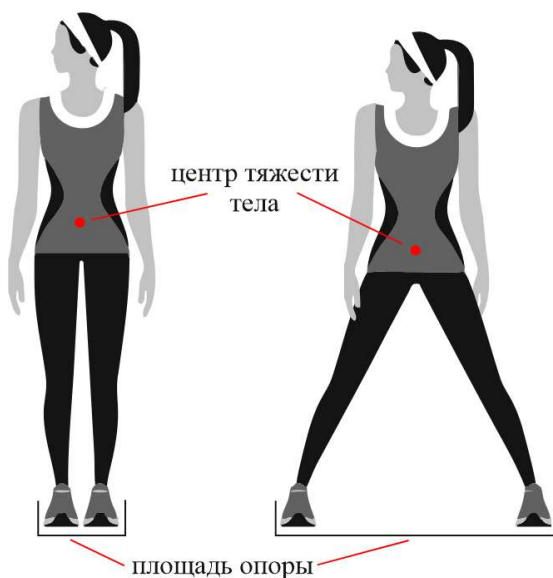


Рисунок 17.4. Зависимость устойчивости равновесия от площади опоры человека

Если проекция центра тяжести выходит за пределы площади опоры, например, во время наклона тела вперед или в стороны, то состояние равновесия сохраняется за счёт силы мышечных сокращений. Падению противодействуют мышцы задней поверхности голени, а также пальцы стопы.

Чтобы оценить степень устойчивости равновесия тела человека, используют коэффициент устойчивости $K_{уст}$ и углы устойчивости и равновесия.

Коэффициент устойчивости – показатель статической устойчивости равновесия тела. Он характеризует способность тела сопротивляться нарушению равновесия:

$$K_{уст} = \frac{M_{уст}}{M_{опр}},$$

где $M_{уст}$ – момент устойчивости тела относительно оси вращения;

$M_{опр}$ – опрокидывающий момент относительно оси вращения.

Для сохранения положения устойчивого равновесия тела коэффициент устойчивости должен быть больше или равен единице:

$$K_{уст} = \frac{M_{уст}}{M_{опр}} \geq 1.$$

Момент устойчивости тела (момент силы тяжести)

$$M_{уст} = F_T \cdot l_T = mgl_T,$$

где m – масса тела;

g – ускорение свободного падения;

l_T – плечо силы тяжести (рисунок 17.5).

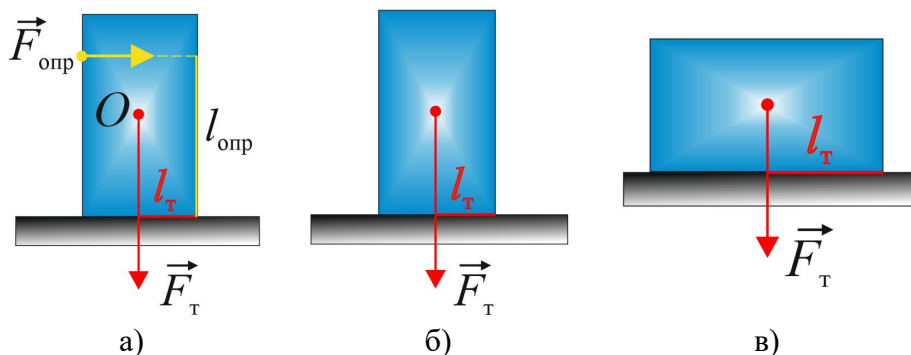


Рисунок 17.5. Момент устойчивости и опрокидывания тела (а), зависимость момента устойчивости от линейных размеров тела (б, в)

Следовательно, чем больше масса тела, тем оно более устойчиво.

Тело, которое имеет большие линейные размеры, имеет большее плечо силы и, следовательно, больший момент устойчивости (рисунок 17.5, б).

Опрокидывающий момент $M_{\text{опр}}$ равен произведению опрокидывающей силы $F_{\text{опр}}$ на плечо опрокидывающей силы $l_{\text{опр}}$ относительно оси вращения (рисунок 17.5, а):

$$M_{\text{опр}} = F_{\text{опр}} \cdot l_{\text{опр}}.$$

Опрокидывающий момент будет тем больше, чем больше приложенная сила и плечо опрокидывающей силы.

Способность тела восстанавливать равновесие характеризуют углы устойчивости и угол равновесия.

Угол устойчивости – это угол, который образуется двумя отрезками: один идёт из центра масс вертикально вниз, второй из центра масс к граничным точкам опоры (рисунок 17.6).

Угол равновесия – это сумма углов устойчивости в одной плоскости:

$$\angle \gamma = \angle \alpha + \angle \beta.$$

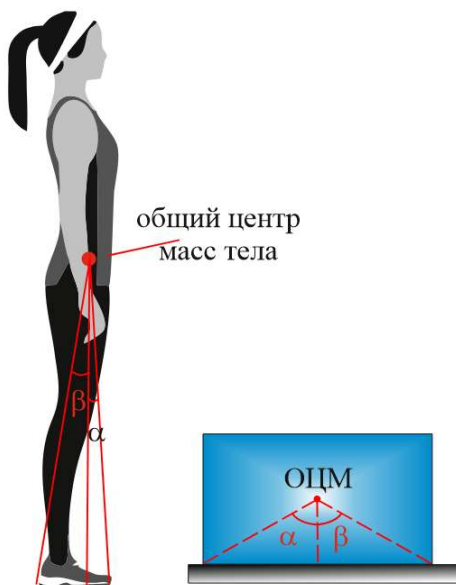


Рисунок 17.6. Углы устойчивости тела

Углы устойчивости и равновесия зависят от высоты расположения центра масс тела и ширины основания. Чем ниже расположен центр масс тела и больше размер стопы, тем больше динамическая устойчивость равновесия тела в выбранной плоскости.

В статическом положении тела человека углы устойчивости в сагиттальной плоскости в переднем и заднем направлении составляют $\angle \alpha = 8^\circ$, а $\angle \beta = 9^\circ \Rightarrow \angle \gamma = 17^\circ$. Это примерные значения, которые зависят от размера стопы человека, его роста, осанки и других характеристик.

Способы поддержания равновесия тела человека

Механика тела – это способы, которые использует тело человека, чтобы не потерять равновесие во время движения.

Биомеханика в медицине изучает способы объединения усилий костно-мышечной, нервной системы и вестибулярного аппарата, которые направлены на поддержку равновесия.

Вертикальное положение тела человека в пространстве возможно только при сохранении равновесия.

Для того чтобы обеспечить устойчивое равновесие тела, необходимо определенное отношение центра тяжести тела к площади опоры.

1. Устойчивое равновесие тела возможно только тогда, когда центр тяжести при любом изменении положения тела будет проецироваться на площадь опоры.

2. Чем больше площадь опоры, тем устойчивее равновесие. Для стоящего человека это достигается путем расстановки стоп на расстояние ≈ 30 см и выдвижения одной стопы немного вперед.

3. Равновесие будет более устойчивым, если центр тяжести сместить ближе к площади опоры. Например, можно немного согнуть ноги в коленях или присесть.

4. Сохранить равновесие тела и снизить нагрузку на позвоночник помогает правильная осанка:

- плечи и бедра должны находиться в одной плоскости;
- спина должна быть прямая;
- суставы и мышцы нижних конечностей должны выполнять максимальную работу при движении щадя позвоночник и мышцы спины.

5. При движении, которое сопровождается подъёмом тяжёлого груза необходимо поворачивать всё тело, а не только плечевой пояс. Это предотвратит опасность нефизиологичного смещения позвоночника.

6. Подъём тяжести следует заменять перекатыванием или поворотом, где это возможно.