ЛЕКЦИЯ 1

Введение

Развитие современной техники ставит перед инженерами самые разнообразные задачи, связанные с расчетом различных сооружений (зданий, мостов, каналов, плотин и т. п.), с проектированием, производством и эксплуатацией всевозможных машин, механизмов, двигателей и, в частности, таких объектов, как автомобили, тепловозы, морские и речные суда, самолеты, ракеты, космические корабли и т. п. Несмотря на многообразие всех этих проблем, решения их в определенной части основываются на некоторых общих принципах и имеют общую научную базу. Объясняется это тем, что в названных задачах значительное место занимают вопросы, требующие изучения законов движения или равновесия тех или иных материальных тел.

Наука об общих законах движения и равновесия материальных тел и о возникающих при этом взаимодействиях между телами называется **теоретической механикой.** Теоретическая механика представляет собой одну из научных основ современных технических дисциплин.

Механикой в широком смысле этого слова называется наука, посвященная решению любых задач, связанных с изучением движения или равновесия тех или иных материальных тел и происходящих при этом взаимодействий между телами. В качестве материальных объектов помимо дискретных тел могут выступать среды – например, жидкость или газ и поля, поэтому круг объектов, изучаемых механикой очень широк.

В зависимости от физических свойств этих объектов и их размеров всю механику можно разделить на классическую или ньютонову и неклассическую.

Неклассическая механика –это действительно часть физики, в которой исследуются объекты микро- и макромира с учетом пространственно-временной зависимости.

Классическая механика имеет дело с объектами, протяженность которых приблизительно и с точностью до нескольких порядков заключена в интервале от 10^{-10} до 10^{10} метра. При их изучении свойства пространства и времени можно считать постоянными. В зависимости от особенностей модели реальных объектов классическая механика делится на теоретическую механику – с моделью абсолютно твердого тела и механику сплошной среды с моделью деформируемого тела.

Основным методом исследования в механике является **гипотетико – дедуктивный анализ,** т.е. выдвигается гипотезы, которая подтверждается или опровергается опытом.

Схематически место механики в системе естествознания можно определить так:

При этом механика деформируемого тела или механика сплошной среды, образующая ядро этой науки, окружена тремя сегментами, представляющими собой теоретическую механику, неклассическую механику микро- и макромира и прикладную механику, которые примыкают соответственно: к математике, физике и практике в широком смысле этого слова.

Под прикладной механикой понимают раздел механики, в котором ее выводы и методы применяют для решения задач проектирования, строительства и эксплуатации сооружений.

Теоретическая механика представляет собою часть механики, в которой изучаются общие законы движения и взаимодействия материальных тел, т.е. те законы, которые, например, справедливы и для движения Земли вокруг Солнца, и для полета ракеты или артиллерийского снаряда и т.п.

Под движением в механике понимается механическое движение, т.е. происходящее с течением времени изменение взаимного положения материальных тел в пространстве.

Механическим взаимодействием между телами называется тот вид взаимодействия, в результате которого происходит изменение движения этих тел или изменение их формы (деформация). Величина, являющаяся количественной мерой механического взаимодействия тел, называется в механике силой (имеющая величину, направление, точку приложения).

Основной задачей теоретической механики является изучение общих законов движения и равновесия материальных тел под действием приложенных к ним сил.

По характеру рассматриваемых задач теоретическую механику принято разделять на статику, кинематику и динамику.

Статика рассматривает частный случай механического движения, когда оно не зависит от времени – рассматривается равновесие твердого тела, загруженного системой сил и находящегося в состоянии покоя.

Кинематика рассматривает внешнюю сторону механического движения независимо от причин, вызвавших его. Это не что иное, как геометрия в четырехмерном пространстве, где время играет роль четвертого измерения.

Если известно положение движущейся точки в каждый момент времени, то кинематика позволяет построить ее траекторию и определить такие кинематические параметры, как скорость или ускорение.

Динамика исследует общий случай механического движения твердого тела с учетом причин, вызвавших его.

Термин «механика» появляется в сочинениях одного из выдающихся философов древности Аристотеля (384—322 до н. э.), значение которого определяло «сооружение», «машина», «изобретение».

В древние времена, когда запросы производства сводились главным образом к удовлетворению нужд строительной техники, начинает развиваться учение о так называемых простейших машинах (блок, ворот, рычаг, наклонная плоскость) и общее учение о равновесии тел (статика). Обоснование начал статики содержится уже в сочинения одного из великих ученых Архимеда (287 – 212 г. но н. э.).

В России на развитие первых исследований по механике большое влияние оказали труды гениального ученого и мыслителя М. В. Ломоносова (1711—1765). Из многочисленных отечественных ученых, внесших значительный вклад в развитие различных областей теоретической механики, прежде всего, должны быть названы: М. В. Остроградский (1801—1861), которому принадлежит ряд важных исследований по аналитическим методам решения задач механики; П. Л. Чебышев (1821—1894), создавший новое направление в исследовании движения механизмов; С. В. Ковалевская (1850—1891), решившая одну из труднейших задач динамики твердого тела; И. В. Мещерский (1859—1935), заложивший основы механики тел переменной массы; К. Э. Циолковский (1857—1935), сделавший ряд фундаментальных открытий в теории реактивного движения; А. Н. Крылов (1863—1945), разработавший теорию корабля и много внесший в развитие теории гироскопических приборов.

Выдающееся значение для развития механики имели труды «отца русской авиации» Н. Е. Жуковского (1847—1921) и его ближайшего ученика С. А. Чаплыгина (1869—1942). Характерной чертой в творчестве Н. Е. Жуковского было приложение методов механики к решению актуальных технических задач. Большое влияние идеи Н. Е. Жуковского оказали и на преподавание теоретической механики в высших технических учебных заведениях нашей страны.

Элементы векторной алгебры

В теоретической механике рассматриваются такие величины как сила, моменты силы относительно точки и оси, момент пары сил, скорость, ускорение и другие, которые являются векторными величинами, т. е. имеющие величину, направление, точку приложения. Эти величины можно представить в виде векторов и т. о. они являются векторными величинами

Понятие вектора

Для определенности рассматривается прямоугольная декартова система координат.

Вектор - это направленный отрезок, который характеризуется длиной и направлением.αα

Операции над векторами. Вектора можно складывать и умножать на число. $\bar{a}+\bar{b}=\bar{c}$ - сумма двух векторов есть вектор. $\vec{a}\,k = \vec{b}$ - произведение вектора на действительное число есть вектор $\bar{a}+\bar{0}=\bar{a}$ - существует нулевой вектор

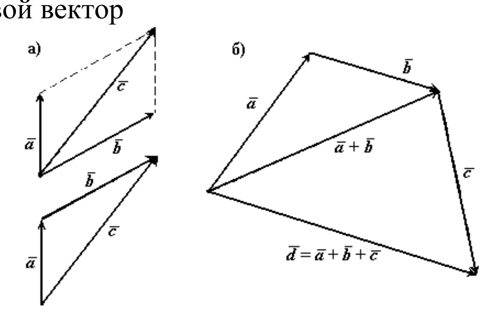

Рис.1

В математике все вектора являются свободными, их можно переносить параллельно самим себе. В сумме двух векторов (рис.1,*а*) начало второго вектора можно поместить в конец первого вектора, тогда сумму двух векторов можно представить как вектор, имеющий начало в начале первого вектора, а конец в конце второго вектора. Применяя это правило для суммы нескольких векторов (рис.1,*б*) получаем, что суммой нескольких векторов является вектор замыкающий ломаную линию, состоящую из слагаемых векторов.

1.Операции над векторами подчиняются следующим законам (рис.2):

$$\bar{a}+\bar{b}=\bar{b}+\bar{a} \qquad \bar{a}+\left(\bar{b}+\bar{c}\right)+\bar{c}=\bar{a}+b+\bar{c}$$
$$\alpha\cdot(\beta\cdot\bar{a})=(\alpha\cdot\beta)\cdot\bar{a} \qquad (\alpha+\beta)\cdot\bar{a}=\alpha\cdot\bar{a}+\beta\cdot\bar{a}$$
$$\alpha\cdot\left(\bar{a}+\bar{b}\right)=\alpha\cdot\bar{a}+\alpha\cdot\bar{b} \qquad 0\cdot\bar{a}=\bar{0}$$

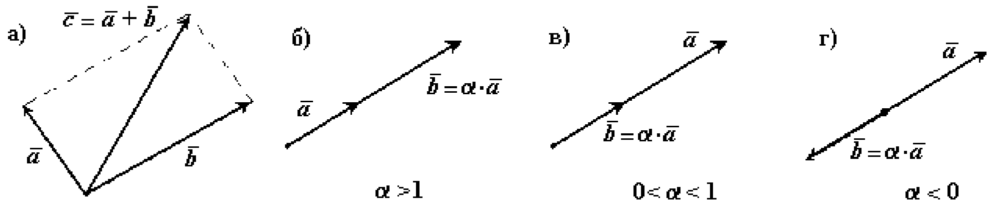

Рис.2

2.Правые и левые системы координат.

Декартовы системы координат делятся на два вида: правую и левую.

Рассмотрим декартовы системы координат на плоскости (рис. 3).

При повороте оси *Ox* правой системы координат на 90° против часовой стрелки она совпадает с осью *Oy* .

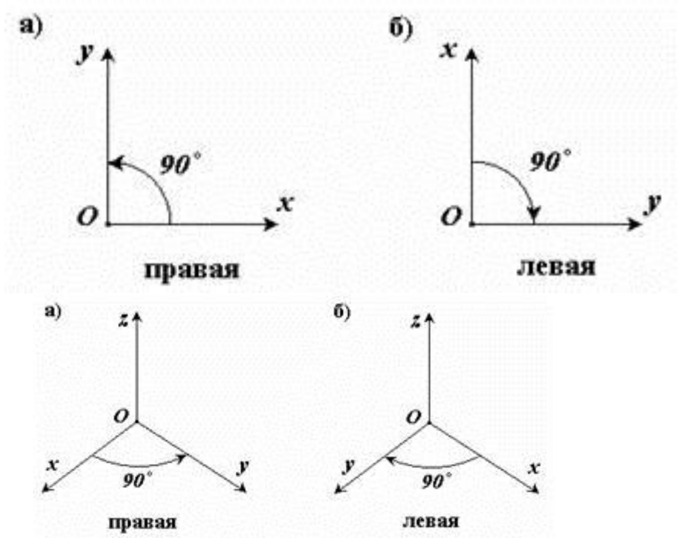

Рис.3 Рис.4

Рассмотрим декартовы системы координат в пространстве (рис.4).

При повороте оси *Ox* правой системы координат вокруг оси *Oz* на 90^0 против часовой стрелки она совпадает с осью *Oy*. В дальнейшем будем рассматривать правую декартову систему координат.

3. Длина, проекции и направляющие косинусы вектора.

Единичные вектора вдоль осей *Ox*, *Oy* и *Oz* образуют систему единичных (или базисных) векторов. Любой вектор, имеющий начало в точке *O*, можно представить как сумму $\bar{a} = a_x \cdot \bar{\imath} + a_y \cdot \bar{\jmath} + a_z \cdot \bar{k}$, числа ($a_x$, a_y, a_z) - проекции вектора $\bar{a}$ на оси координат (рис.5).

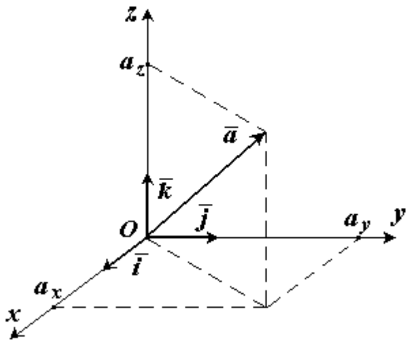

Рис.5

Длина (или модуль) вектора $\bar{a}$ определяется формулой $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$ и обозначается *a* или $|\bar{a}|$.

Проекцией вектора на ось называется скалярная величина, которая определяется отрезком, отсекаемым перпендикулярами, опущенными из начала и конца вектора на эту ось. Проекция вектора считается положительной (+), если направление ее совпадает с положительным направлением оси, и отрицательной (-), если проекция направлена в противоположную сторону (рис.6).

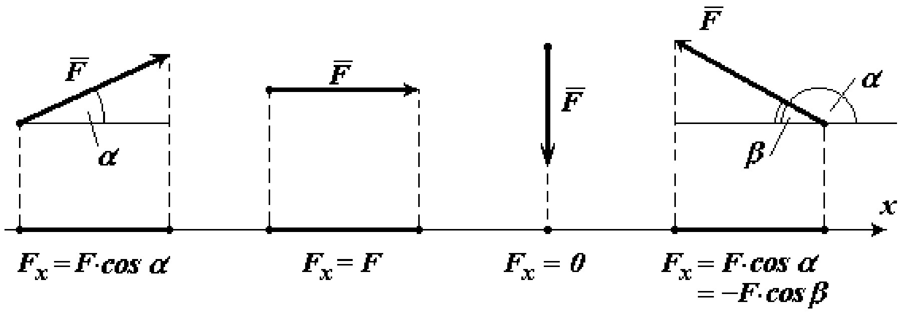

Рис.6

Направляющими косинусами $cos\alpha, cos\beta, cos\gamma$ вектора называются косинусы углов между вектором и положительными направлениями осей *Ox*, *Oy* и *Oz* соответственно.

$$cos\alpha = \frac{a_x}{a} \quad cos\beta = \frac{a_y}{a} \quad cos\gamma = \frac{a_z}{a}$$

Любая точка пространства с координатами (*x*, *y*, *z*) м. б. задана своим радиус-вектором

$$\bar{r} = x \cdot \bar{\imath} + y \cdot \bar{\jmath} + z \cdot \bar{k}$$

Координаты (*x*, *y*, *z*) - это проекции вектор $\bar{r}$ на оси . координат.

4.Скалярное произведение двух векторов. Имеются два вектора $\bar{a}$ и $\bar{b}$: $\bar{a} = (a_x, a_y, a_z)$, $\bar{b} = (b_x, b_y, b_z)$.

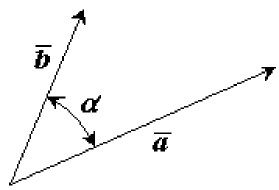

Рис.7

Результатом скалярного произведения двух векторов $\bar{a}$ и $\bar{b}$ является скалярная величина (число). Записывается как $\bar{a}\cdot\bar{b}$ или ($\bar{a}$,$\bar{b}$). Скалярное произведение двух векторов равно $\bar{a}\cdot\bar{b} = |\bar{a}|\cdot|\bar{b}|\cdot\cos(\alpha)$ (либо $\bar{a}\bar{b} \; = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$).

5.Векторное произведение двух векторов. Имеются два вектора $\bar{a}$ и $\bar{b}$: $\bar{a} = (a_x, a_y, a_z), \bar{b} = (b_x, b_y, b_z)$.

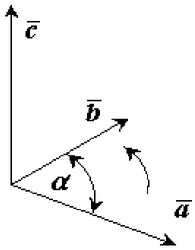

Рис.8

Результатом векторного произведения двух векторов $\bar{a}$ и $\bar{b}$ является вектор $\bar{c}$, которое записывается как $\bar{a}\times\bar{b}$ или [$\bar{a},\bar{b}$.].

Векторное произведение двух векторов - это вектор $\bar{c}$, перпендикулярный к обоим этим векторам, и направленный так, чтобы с его конца поворот вектора $\bar{a}$ к вектору $\bar{b}$ был виден против часовой стрелки).

Длина (или модуль) векторного произведения равна $|\bar{a}\times\bar{b}| = |\bar{a}|\cdot|\bar{b}|\cdot\sin(\alpha)$.

Векторное произведение двух векторов вычисляется через их проекции следующим образом:

$$\bar{c} = \bar{a}\times\bar{b} = \begin{vmatrix} \bar{\imath} & \bar{\jmath} & \bar{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_y & a_z \\ b_y & b_z \end{vmatrix}\cdot\bar{\imath} + \begin{vmatrix} a_z & a_x \\ b_z & b_x \end{vmatrix}\cdot\bar{\jmath} + \begin{vmatrix} a_x & a_y \\ b_x & b_y \end{vmatrix}\cdot\bar{k} =$$

$$= (a_y\cdot b_z - a_z\cdot b_y)\cdot\bar{\imath} + (a_z\cdot b_x - a_x\cdot b_z)\cdot\bar{\jmath} + (a_x\cdot b_y - a_y\cdot b_x)\cdot\bar{k}$$

$$c_x = (a_y\cdot b_z - a_z\cdot b_y);\; c_y = (a_z\cdot b_x - a_x\cdot b_z);\; c_z = (a_x\cdot b_y - a_y\cdot b_x).$$

Основные понятия статики

Статикой называется раздел механики, в котором излагается общее учение о силах и изучается условия равновесия материальных тел, находящихся под действием сил.

Твердое тело. В статике и вообще в теоретической механике все тела считаются абсолютно твердыми. То есть предполагается, что эти тела не деформируются, не изменяют свою форму и объем, какое бы действие на них не было оказано. **Материальной точкой** будет называться абсолютно твердое тело, размерами которого можно пренебречь.

Исследованием движения нетвердых тел – упругих, пластичных, жидких, газообразных, занимаются другие науки (сопротивление материалов, теория упругости, гидродинамика и т.д.).

Под равновесием будем понимать состояния покоя тела по отношению к другим материальным телам.

Основные понятия:

1. Величина, являющаяся количественной мерой механического взаимодействия материальных тел, называется в механике **силой.**

В Международной системе единиц (СИ) силу измеряют в ньютонах (Н), килоньютонах (кН).

Сила является величиной векторной.

Ее действие на тело определяется:

1) численной величиной или модулем силы, 2) направлением силы, 3) точкой приложения силы (рис.9).

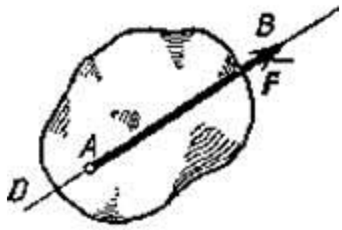

Рис.9

Силу, как и другие векторные величины, изображают в виде направленного отрезка со стрелкой на конце, указывающей его направление.

Прямая, вдоль которой направлена сила, называется **линией действия силы.**

Понятия «линия действия» и «направление» близки, но не тождественны. По линии действия можно определить направление с точностью до противоположного. Аналогично связаны понятия «модуль» и «величина» для вектора. В тексте вектор силы обозначается латинскими буквами $\bar{F}, \bar{R}, \bar{P}$ и др., с черточками над ними. Если черточки нет, значит у силы известна только ее численная величина - модуль.

Предполагается, что действие силы на тело не изменится, если ее перенести по линии действия в любую точку тела (твердого тела). Поэтому вектор силы называют **скользящим вектором**. Если силу перенести в точку, не расположенную на этой линии, действие ее на тело будет совсем другим.

2. Совокупность сил, действующих на какое-нибудь твердое тело, будем называть **системой сил.**

3. Тело, не скрепленное с другими телами, которому из данного положения можно сообщить любое перемещение в пространстве, называется **свободным.**

4. Если одну систему сил, действующих на свободное твердое тело, можно заменить другой системой, не изменяя при этом состояния покоя или движения, в котором находится тело, то такие две системы сил называются **эквивалентными.** Например, если системы сил, изображенных на рис. 10.1,*а* и рис. 10.1,*б,* уравновешены, то эти две системы сил будут эквивалентны друг другу.

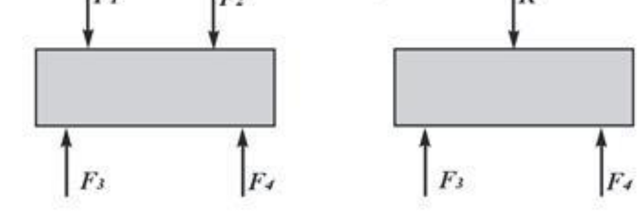

Рис.10.1. Система сил. а – заданная система сил; б– эквивалентная система сил

5. Система сил, под действием которой свободное твердое тело может находиться в покое, называется **уравновешенной или эквивалентной нулю.**
6. Если данная система сил эквивалентна одной силе, то эта сила называется **равнодействующей данной системы сил.** Таким образом, равнодействующая - это сила, которая одна заменяет действие данной системы сил на твердое тело. Так как система сил F_1 и F_2 эквивалентна одной силе R (рис. 10.1,б), то сила R называется равнодействующей данной системы сил. Силы F_1 и F_2 в свою очередь могут называться составляющими силы R.
7. Сила, равная равнодействующей по модулю, прямо противоположная ей по направлению и действующая вдоль той же прямой, называется **уравновешивающей силой.**
8. Силы, действующие на твердое тело, можно разделить на внешние и внутренние. **Внешними** называются силы, действующие на частицы данного тела со стороны других материальных тел. **Внутренними** называются силы, с которыми частицы данного тела действуют друг на друга.
9. Сила, приложенная к телу в какой-нибудь одной его точке, называется **сосредоточенной.** Силы, действующие на все точки данного объема или данной части поверхности тела, называются **распределенными.** Понятие о сосредоточенной силе является условным, так как практически приложить силу к телу в одной точке нельзя. Силы, которые в механике рассматриваются как сосредоточенные, представляют собою по существу равнодействующие некоторых систем распределенных сил. В частности, обычно рассматриваемая в механике сила тяжести, действующая на данное твердое тело, представляет собою равнодействующую сил тяжести его частиц. Линия действия этой равнодействующей проходит через точку, называемую центром тяжести тела.

Аксиомы статики

Все теоремы и уравнения статики выводятся из нескольких исходных положений, принимаемых без математических доказательств и называемых аксиомами или принципами статики. Аксиомы статики представляют собою результат обобщений многочисленных опытов и наблюдений над равновесием и движением тел, неоднократно подтвержденных практикой. Часть из этих аксиом является следствиями основных законов механики, с которыми мы познакомимся в динамике.

Аксиома 1. Если на свободное абсолютно твердое тело действуют две силы, то тело может находиться в равновесии тогда и только тогда, когда эти силы равны по модулю ($F_1 = F_2$) и направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны (рис.11).

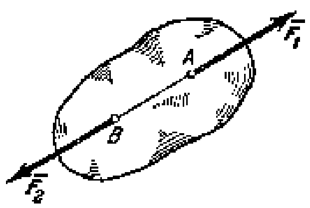

Рис.11

Аксиома 1 определяет простейшую уравновешенную систему сил, так как опыт показывает, что свободное тело, на которое действует только одна сила, находиться в равновесии не может.

Аксиома 2. Действие данной системы, сил на абсолютно твердое тело не изменится, если к ней прибавить или от нее отнять уравновешенную систему сил.

Эта аксиома устанавливает, что две системы сил, отличающиеся на уравновешенную систему, эквивалентны друг другу.

Следствие из 1-й и 2-й аксиом. Действие силы на абсолютно твердое тело не изменится, если перенести точку приложения силы вдоль ее линии действия в любую другую точку тела.

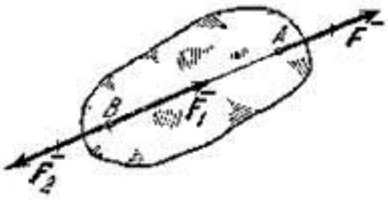

Рис.12

Пусть на твердое тело действует приложенная в точке *A* сила $\bar{F}$ (рис.12). Возьмем на линии действия этой силы произвольную точку *B* и приложим к ней две уравновешенные силы $\bar{F}_1$ и $\bar{F}_2$, такие, что $\bar{F}_1 = \bar{F}$, $\bar{F}_2 = -\bar{F}$. От этого действие силы $\bar{F}$ на тело не изменится. Но силы $\bar{F}$ и $\bar{F}_2$ согласно аксиоме 1 также образуют уравновешенную систему, которая может быть отброшена. В результате на тело. Будет действовать только одна сила $\bar{F}_1$, равная $\bar{F}$, но приложенная в точке *B*. Таким образом, вектор, изображающий силу $\bar{F}$, можно считать приложенным в любой точке на линии действия силы (такой вектор называется скользящим).

Аксиома 3 (аксиома параллелограмма сил). Две силы, приложенные к телу в одной точке, имеют равнодействующую, приложенную в той же точке и изображаемую диагональю параллелограмма, построенного на этих силах, как на сторонах. Вектор $\bar{R}$, равный диагонали параллелограмма, построенного на векторах $\bar{F}_1$ и $\bar{F}_2$ (рис.13), называется геометрической суммой векторов $\bar{F}_1$ и $\bar{F}_2$:$\bar{R} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2$.

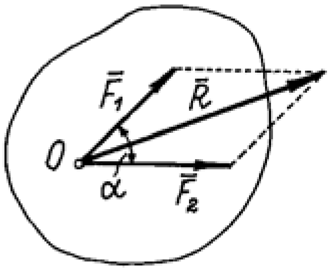

Рис.13

Величина равнодействующей $R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2cos\alpha}$. Имеем: $R \neq F_1 + F_1$. Такое равенство будет соблюдаться только при условии, что эти силы направлены по одной прямой в одну сторону. Если же векторы сил окажутся перпендикулярными, то $R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$.

Следовательно, аксиому 3 можно еще формулировать так: две силы, приложенные к телу в одной точке, имеют равнодействующую, равную геометрической (векторной) сумме этих сил и приложенную в той же точке.

Аксиома 4 (принцип противодействия). При всяком действии одного материального тела на другое имеет место такое же по величине, но противоположное по направлению противодействие.

Закон о равенстве действия и противодействия является одним из основных законов механики. Из него следует, что если тело *A* действует на тело В с силой $\bar{F}$, то одновременно тело *B* действует на тело *A* с такой же по модулю и направленной вдоль той же прямой, но противоположную сторону силой $\bar{F} = -\bar{F}$ (рис. 14). Однако силы $\bar{F}$ и $\bar{F}'$ не образуют уравновешенной системы сил, так как они приложены к разным телам. Эта аксиома соответствует третьему закону Ньютона: действие всегда равно и противоположно противодействию. При этом необходимо помнить, что в аксиоме 4 рассматривается случай, когда силы приложены к разным телам и в этом случае система сил не является уравновешенной в отличие от случая действия сил в аксиоме 2.

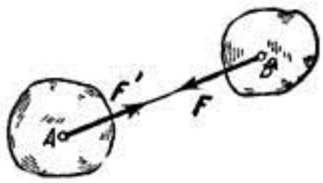

Рис.14

Этот принцип утверждает, что в природе не существует односторонних явлений. На рис. 15.1 изображена балка, опирающаяся на стены концами *A* и *B*. Для выявления сил действия и противодействия отделим балку от стен. Тогда силы действия балки на стену выражаются силами D_A и D_B, приложенными к стенам, а силы противодействия – силами R_A и R, приложенными к балке, которые в дальнейшем будем называть **реакциями**.

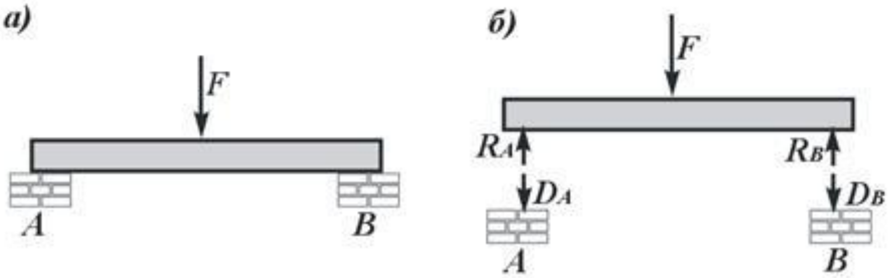

Рис. 15.1. Опирание балки на опоры: *а* – схема загружения балки; *б* – силы действия балки на опоры и противодействия со стороны опор на балку

Аксиома 5 (принцип отвердевания). Равновесие изменяемого (деформируемого) тела, находящегося под действием данной системы сил, не нарушится, если тело считать отвердевшим (абсолютно твердым). Из принципа отвердения следует, что условия, необходимые и достаточные для равновесия абсолютно твердого тела, необходимы, но не достаточны для равновесия деформируемого тела, по форме и размерам тождественного с данным.

Это утверждение очевидно. Например, ясно, что равновесие цепи не нарушится, если ее звенья считать сваренными друг с другом и т. д.

Аксиома 6 (аксиома связей). Всякое несвободное тело можно рассматривать как свободное, если механическое действие связей заменить реакциями этих связей

Приведенные принципы и аксиомы положены в основу методов решения задач статики. Все они широко используются в инженерных расчетах.

Связи и их реакции

По определению, тело, которое не скреплено с другими телами и может совершать из данного положения любые перемещения в пространстве, называется **свободным** (воздушный шар в воздухе). Тело, перемещениям которого в пространстве препятствуют какие-нибудь другие, скрепленные или соприкасающиеся с ним тела, называется **несвободным.** Все то, что ограничивает перемещения данного тела в пространстве, называется **связью (т**ело, лежащее на столе – несвободное тело. Связью его является плоскость стола, которая препятствует перемещению тела вниз). В статике пользуются правилом которое имеет название - **принцип освобождаемости:**

Любое несвободное тело можно сделать свободным, если связи убрать, а действие их на тело заменить силами, такими, чтобы тело оставалось в равновесии.

Сила, с которой данная связь действует на тело, препятствуя тем ила иным его перемещениям, называется силой реакции (противодействия) связи или просто **реакцией связи.**

Направлена реакция связи в сторону, противоположную той, куда связь не дает перемещаться телу. Когда связь одновременно препятствует перемещениям тела по нескольким направлениям, направление реакции связи также наперед неизвестно и должно определяться в результате решения рассматриваемой задачи.

Если в качестве физического тела рассматривать какой-либо элемент инженерного сооружения, который передает давление на опоры, то реакции опор (связей) называют **опорными реакциями.** Реакции связей носят вторичное происхождение, они возникают как противодействие другим силам.

Все силы, кроме реакции связей, называют **заданными силами.** Заданные силы чаще всего являются **активными**, т.е. силами, которые могут вызвать движение тел, например, сила тяжести. Силы делятся на активные силы и реакции связей.

Одна из главных задач статики твердого тела - нахождение реакции связей. Для определения реакции связей необходимо найти величину этой реакции, линию и направление ее действия. Линия действия реакции обычно проходит через точку касания тела и связи. Численное значение реакции определяется расчетом, а направление реакции зависит от вида связи.

Для определения направления реакции необходимо установить особенности взаимодействия твердого тела со связями различного вида. Следует иметь в виду, что реакция всегда направлена противоположно направлению возможного перемещения тела при удалении связи.

Рассмотрим, как направлены реакции некоторых основных видов связей.

1.Гладкая плоскость (поверхность) или опора. Гладкой называется поверхность, трением о которую данного тела можно в первом приближении пренебречь. Такая поверхность не дает телу перемещаться только по направлению общего перпендикуляра (нормали) к поверхностям соприкасающихся тел в точке их касания (рис.16,а). Поэтому реакция N гладкой поверхности или опоры направлена по общей нормали к поверхностям соприкасающихся тел в точке их касания и приложена в этой точке. Когда одна из соприкасающихся поверхностей является точкой (рис. 16,*б*), то реакция направлена по нормали к другой поверхности.

Если поверхности не гладкие, надо добавить еще одну силу – силу трения $\bar{F}_{тр}$, которая направлена перпендикулярно нормальной реакции $\bar{N}$ в сторону, противоположную возможному скольжению тела.

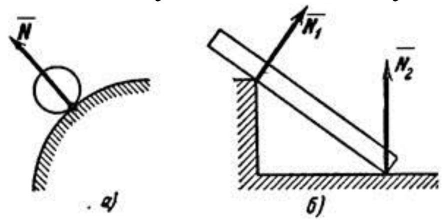

Рис.16

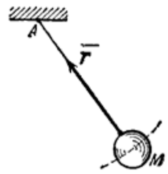

Рис.17

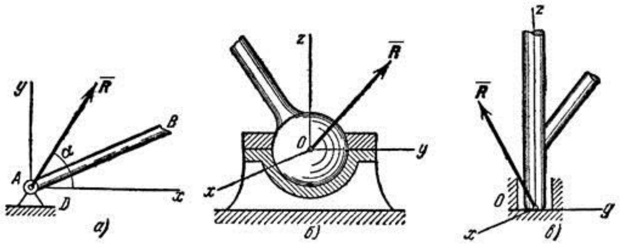

Рис.18

2. **Нить (гибкие связи).** Связь, осуществленная в виде гибкой нерастяжимой нити (рис.17), не дает телу M удаляться от точки подвеса нити по направлению AM. Поэтому реакция T натянутой нити направлена вдоль нити от тела к точке ее подвеса.

3. **Цилиндрический шарнир (подшипник).** Если два тела соединены болтом, проходящим через отверстия в этих телах, то такое соединение называется шарнирным или просто шарниром; осевая линия болта называется осью шарнира. Тело AB, прикрепленное шарниром к опоре D (рис.18,а), может поворачиваться как угодно вокруг оси шарнира (в плоскости чертежа); при этом конец A тела не может переместиться ни по какому направлению, перпендикулярному к оси шарнира. Поэтому реакция R цилиндрического шарнира может иметь любое направление в плоскости, перпендикулярной к оси шарнира, т.е. в плоскости A_{xy}. Для силы R в этом случае наперед не известны ни ее модуль R, ни направление (угол α).

4. **Шаровой шарнир и подпятник.** Этот вид связи закрепляет какую-нибудь точку тела так, что она не может совершать никаких перемещений в пространстве (например, шаровая пята, с помощью которой прикрепляется фотоаппарат к штативу (рис.18,б) и подшипник с упором (подпятник) (рис. 18,в)). Реакция R шарового шарнира или подпятника может иметь любое направление в пространстве. Для нее наперед неизвестны ни модуль реакции R, ни углы, образуемые ею с осями x, y,z.

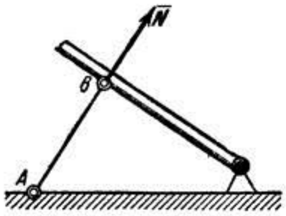

Рис.19

5. **Стержень.** Пусть в какой-нибудь конструкции связью является стержень АВ, закрепленный на концах шарнирами (рис.19). Примем, что весом стержня по сравнению с воспринимаемой им нагрузкой можно пренебречь. Тогда на стержень будут действовать только две силы, приложенные в шарнирах А и В. Если стержень АВ находится в равновесии, то по аксиоме 1 приложенные в точках А и В силы должны быть направлены вдоль одной прямой, т. е. вдоль оси стержня. Следовательно, нагруженный на концах стержень, весом которого по сравнению с этими нагрузками можно пренебречь, работает только на растяжение или на сжатие. Если такой стержень является связью, то реакция $\bar{N}$ стержня будет направлена вдоль оси стержня.

6. **Подвижная шарнирная опора** (рис.20.1). Это устройство представляет собой опорный элемент (подшипник), внутри которого вращается палец (ось) шарнира. Такая опора не препятствует вращению вокруг оси, но препятствует движению тела в любом направлении в плоскости, перпендикулярной к оси шарнира. Реакция $\vec{R}$ такой опоры направлена по нормали к поверхности, на которую опираются катки подвижной опоры. На схемах эту связь изображают так, как показано на рис. 20.1.

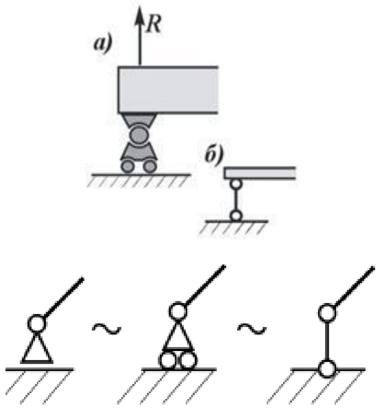

Рис.20.1. Шарнирно подвижная опора: а – вид катковой опоры; б – расчетная схема шарнирно-подвижных опор

7. **Неподвижная шарнирная опора** (рис.21). Реакция R шарнирно-неподвижной опоры расположена в плоскости, перпендикулярной оси возможного вращения, и ее направление определяют две взаимно перпендикулярные составляющие R_x и R_y, соответствующие направлению выбранных осей (рис. 21,а). Изображают шарнирно-неподвижную опору в виде двух шарнирных стержней пересекающихся в точке опоры (рис.21,б) или шарнира (рис 21,в). При решении задач реакцию $\bar{R}$ можно изобразить ее составляющими $\bar{R}_y$ и $\bar{R}_x$ по направлениям осей координат. Если, при решении решив задачи, находятся $\bar{R}_y$ и $\bar{R}_x$, то тем самым будет определена и реакция $\bar{R}$; по модулю $R = \sqrt{R_y^2 + R_x^2}$.

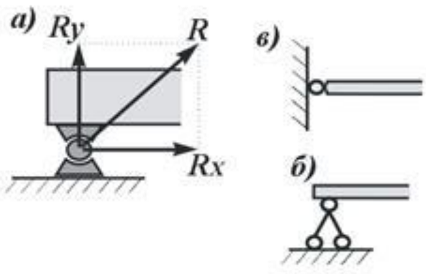

Рис.21. Шарнирно-неподвижная опора: а – вид шарнирно-неподвижной опоры; б, в – расчетные схемы шарнирно-неподвижных опор

Способ закрепления, показанный на рис.21, употребляется для того, чтобы в балке не возникало дополнительных напряжений при изменении ее длины от изменения температуры или от изгиба.

8. **Неподвижная защемляющая опора или жесткая заделка** (рис.22, а). Это соединение исключает возможность каких-либо перемещений абсолютного твердого тела. Балка, изображенная на рис.22,а, жестко заделана в стену в точке А. Перемещению ее в вертикальном направлении, препятствует реакция R_y, перемещению в горизонтальном направлении препятствует реакция R_x и повороту вокруг точки А - опорный момент M_A. Характерным для данной опоры является наличие опорного момента сил, исключающего вращение тела вокруг любой оси. Схематическое изображение такой опоры в теоретической механике показано на рис. 22,б. Если под такую балку где-нибудь в точке В подвести еще одну опору, то балка станет статически неопределимой.

С помощью указанных опорных связей сооружения прикрепляются к фундаментам или отдельные элементы соединяются между собой.

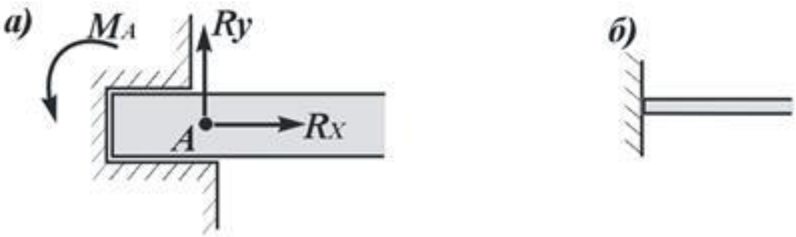

Рис. 22. Жесткая заделка: а – вид жесткой заделки; б – расчетная схема жесткой заделки

При определении реакций связи других конструкций надо установить, разрешает ли она двигаться вдоль трех взаимно перпендикулярных осей и вращаться вокруг этих осей. Если препятствует какому-либо движению – показать соответствующую силу, если препятствует вращению – пару с соответствующим моментом.

Иногда приходится исследовать равновесие нетвердых тел. При этом используется предположение, что если это нетвердое тело находится в равновесии под действием сил, то его можно рассматривать как твердое тело, используя все правила и методы статики.

Связи, как и другие понятия, встречающиеся в аксиомах, являются абстракциями, весьма условно отражающими свойства реальных объектов (например, рассмотренная выше гибкая невесомая нить м. б. моделью подвесных и вантовых систем, у которых масса погонного метра троса составляет десятки и сотни килограммов. Однако усилия, возникающие в таких тросах, во столько раз больше их собственного веса, что при расчете последним можно пренебречь, считая их невесомыми).