

веса, перпендикулярная к наклонной плоскости, проявляется статически в давлении, которое тело будет оказывать на плоскость; другая составляющая веса, параллельная направлению плоскости, проявляется динамически: она сообщает телу ускорение (рис. 21). Статическое проявление силы — это геометрическая составляющая

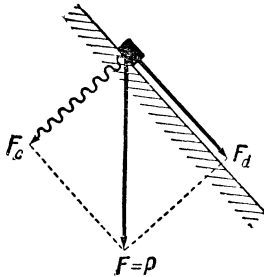


Рис. 21. Статическая и динамическая составляющие силы F .

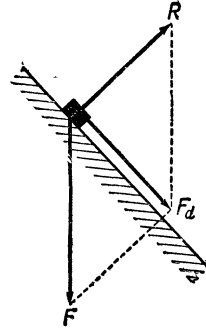


Рис. 22. Движущая сила F_d есть равнодействующая приложенных к телу сил: силы F и реакции опоры R .

силы F , приложенной к телу, но вместе с тем это сила, развиваемая телом и приложенная к опоре; динамическая составляющая приложена только к рассматриваемому телу. Статическое проявление силы вызывает равную по величине, но противоположную по направлению реакцию опоры. Тело будет двигаться под действием равнодействующей двух приложенных к нему сил: веса и реакции (рис. 22), но эта равнодействующая и есть та сила, которую мы обозначили как динамическое проявление тяжести рассматриваемого тела.

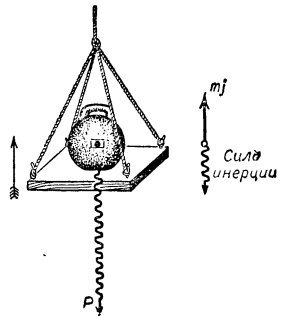


Рис. 23. «Увеличение веса» при поднятии с ускорением происходит за счет развиваемой телом силы инерции.

§ 17. Силы инерции. Центробежная сила

Чаще всего силы инерции проявляются статически в давлении, которое какое-либо тело, развивающее силу инерции, оказывает на другое тело, повинное в изменении состояния движения первого тела. Груз, ускоренно поднимаемый вверх, оказывает на платформу вследствие силы инерции дополнительное давление (рис. 23). Наблюдателю, тянущему канат, кажется, что груз тем более «увеличивается в весе», чем с большим ускорением его поднимают.

Когда давление или натяжение со стороны каких-либо тел вынуждает некоторое движущееся тело отклоняться от прямолинейного пути, мы говорим, что *отклоняющееся от прямолинейного пути тело развивает центробежную силу инерции*, направленную противоположно центростремительной силе, с которою тела, вызвавшие искривление траектории, давят на движущееся тело или тянут его. По закону равенства действия и противодействия эти две силы численно всегда одинаковы, поэтому центробежная сила определяется формулой

$$F_r = \frac{mv^2}{R},$$

или, что то же:

$$F_r = m\omega^2 R. \quad (16)$$

Центростремительная сила направлена всегда к центру кривизны и приложена к движущемуся телу; центробежная сила равна центростремительной по величине, но направлена в противоположную сторону, т. е. от центра кривизны в сторону выпуклости траектории, и *приложена к телам, вызывающим искривление траектории движущегося тела.*

Массивный шар, подвешенный на прочной нити, натягивает ее при покое с силой тяжести шара P , но, будучи приведен в колебание, он натягивает ее с силой F , большей, чем его тяжесть, на величину развиваемой им центробежной силы инерции:

$$F = P + \frac{mv^2}{r}.$$

Автомобиль, проезжающий по мосту, несколько прогибающемуся под его тяжестью, давит на мост с силой, превышающей вес автомо-

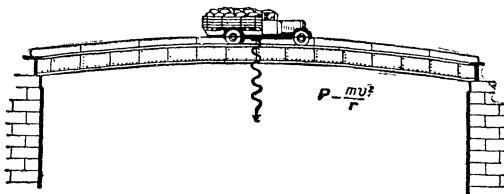


Рис. 24. Проезжая по выпуклому мосту, автомобиль давит на мост с силой, меньшей своего веса

биля на величину центробежной силы инерции. Поэтому при прочих равных условиях давление автомобиля на вогнутый мост будет тем более велико, чем больше скорость движения автомобиля. Чтобы избежать действия цент-

робежных сил, мосты делают обычно несколько выпуклыми (рис. 24). В этом случае вес быстро движущихся по мосту машин частью проявляется динамически, сообщая им центростремительное ускорение, направленное вниз; поэтому давление на выпуклый мост быстро проезжающих по нему машин будет меньше их веса.

На закруглениях пути колеса вагонов поезда или трамвая оказывают на внешний рельс горизонтальное давление вследствие разви-

ваемой вагоном центробежной силы инерции. Чтобы не происходило опрокидывания вагона, равнодействующая давления, создаваемого весом вагона, и центробежной силы должна быть направлена между рельсами перпендикулярно к поверхности рельса; для этого на закруглениях внешний рельс прокладывают выше внутреннего (рис. 25).

По аналогичным причинам конькобежец, описывая окружность, наклоняет свой корпус к центру окружности (рис. 26). Отметим еще раз, что на рис. 25 и 26, как это вообще принято в данном курсе, волнистыми стрелками показаны статические проявления сил (в первом случае — сил, приложенных к рельсу, во втором — ко льду). На рис. 26, кроме того, показано, как реакция опоры и вес конькобежца обеспечивают в сумме центростремительную силу, которая приложена к центру инерции конькобежца и проявляется динамически в центростремительном ускорении при движении конькобежца по дуге окружности. Точно таким же построением можно было бы дополнить и рис. 25. Центростремительное ускорение, обеспечивающее движение вагона по закруглению пути, при правильном подъеме наружного рельса (как и в случае, изображенном на рис. 26) создается за счет геометрической суммы реакции рельсов и веса вагона. Наклон полотна хотя и не устраняет горизонтальной составляющей давления колес на рельсы, но снижает (при правильном угле наклона — до нуля) боковое давление бандажей, параллельное плоскости шпал. Если бы наружный рельс не был приподнят, таким образом, на закруглениях вагон двигался бы строго вертикально, то, кроме тенденции к опрокидыванию, развивались бы большие силы, смещающие крепление рельсов к шпалам; в этом случае центростремительная сила на закруглениях пути создавалась бы за счет указанных сил, стремящихся оторвать наружный рельс, тогда как при правильном наклоне полотна никаких смещающих сил в плоскости полотна нет, так как итоговое давление на рельсы перпендикулярно к этой плоскости.

В случаях, подобных представленному на рис. 26, центростремительная сила приложена к центру тяжести движущегося тела, а точки приложения центробежной силы определяются геометрическими условиями соприкосновения движущегося тела с телом, к которому приложена центробежная сила и противодействие которого обеспечивает кривизну траектории; поэтому указанные

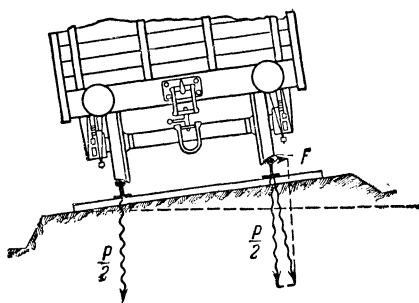


Рис. 25. На закруглениях внешний рельс укладывают выше внутреннего.

численно равные силы хотя и направлены, как действие и противодействие, антипараллельно, но не по одной прямой.

Вещество вращающегося твердого тела находится в напряженном состоянии, так как каждая частица вращающегося тела развивает центробежную силу инерции, приложенную к смежным частицам тела, препятствующим рассматриваемой частице удалиться от оси вращения. Силы инерции, направленные по радиусу от центра, стремятся оторвать внешние слои вещества от внутренних.

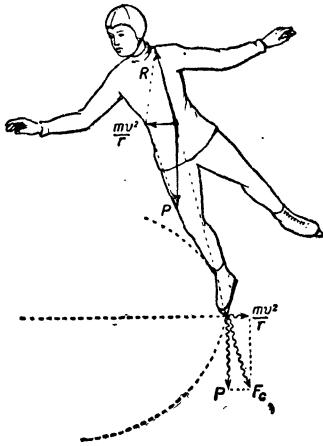


Рис.26 Описывая дугу окружности, конькобежец наклоняет свой корпус так, чтобы реакция R льда проходила через центр тяжести тела, тогда равнодействующая реакции R и веса P дает центростремительную силу.

Если прочность вещества недостаточна, то при большой скорости вращения центробежные силы инерции разрушают тело, разрывая его на части. Во избежание подобных аварий все быстро вращающиеся части машин (роторы) и быстроходные маховики изготовляют из наиболее прочных металлов (обычно из стали).

О величине центробежных сил инерции во вращающихся частях машин можно судить по следующему примеру. Ротор одного из гирокомпасов при диаметре 12 см и весе 2,5 кг делает 20 000 об/мин. Центробежная сила, развиваемая на его ободе какой-либо массой, в 25 тысяч раз превышает вес этой массы.

Силы инерции часто оказывают разрушительное действие на отдельные части машин. Когда колесо насажено на ось так, что вся масса его распределена симметрично относительно оси вращения, то центробежные силы инерции, развиваемые отдельными частицами колеса, уравниваются на оси вращения и сказываются только в упругом натяжении вещества колеса. При очень больших скоростях это натяжение может привести к разрыву колеса. Но если масса колеса распределена относительно оси вращения несимметрично, то уже при сравнительно небольших скоростях центробежные силы инерции, которые в этом случае не уравниваются на оси, могут привести к поломке оси.

У колес паровоза несимметричное распределение сил инерции способно создать одностороннее давление на ось в несколько тонн; в связи с этим при вращении такого колеса давление колеса на рельс то возрастает (когда результирующая неуравновешенных центробежных сил направлена вниз), то убывает (когда она направлена вверх)—рельс как бы находится под действием ударов тяжелого молота.

При проектировании какой-либо новой машины производят детальный расчет сил инерции, которые могут возникнуть в ней при различных условиях ее работы. С проявлением неуравновешенных сил инерции приходится вести борьбу посредством точного распределения масс и согласования движений отдельных частей машины.

Но силы инерции, в частности центробежные силы, имеют в технике также и положительное применение, весьма обширное и разнообразное (работа молотов, центробежные машины, центрифуги и т. д.).

Заметим, что термин «центробежная сила» не вполне удачен; он наталкивает на неправильное понимание этой силы. Термин «центробежная сила» побуждает думать о движении от центра вращения по радиусу. Хотя центробежная сила и действует по радиусу от центра, но *никакого движения в этом направлении она не вызывает и не способна вызвать* потому, что она *приложена к связям*¹⁾. Если связи, удерживавшие тело на неизменном расстоянии от центра, вдруг устранены (например, разорвалась веревка, к которой привязан камень, вращаемый нами по окружности), то двигавшееся по окружности тело будет удаляться от центра окружности, конечно, не по радиусу, а по касательной к окружности, так как оно по инерции сохранит то направление скорости, которое имело в момент разрыва связей.

¹⁾ Под связями в механике подразумевают существующие ограничения в свободе движения рассматриваемых тел. Например, по отношению к ободу колеса спицы играют роль связей, для поезда в целом роль связей исполняют рельсы, и т. д.
