

Силы, действующие на поезд

В процессе движения поезда на него действуют различные внутренние и внешние силы, которые изменяются во времени. К ним относятся силы, возникающие при упругожестких взаимодействиях локомотива, вагонов и их элементов, а также силы, действующие со стороны рельсового пути и окружающей воздушной среды.

Эти изменяющиеся силы вызывают не только основное, полезное движение поезда по рельсам, но и перемещения отдельных его частей в продольном, поперечном и вертикальном направлениях и повороты вокруг горизонтальных и вертикальных осей.

В дисциплине «Теория электрической тяги» поезд рассматривается как однородное тело — механическая система без учета упругих связей и колебаний подвижного состава.

Как известно из механики, внутренние силы уравниваются внутри системы и непосредственно не влияют на ее движение. На характер поступательного движения всей системы влияют только внешние силы или их составляющие, направленные по ходу движения или в противоположную сторону.

Таковыми внешними силами, действующими на поезд, являются сила тяги F_k , развиваемая локомотивом; тормозная сила B_T , возникающая при включении тормозов; силы сопротивления движению W , к которым относят все остальные внешние силы, влияющие на движение поезда.

Силу тяги и тормозные силы называют *управляемыми*, так как их может регулировать машинист. На силы сопротивления движению машинист воздействовать не может, поэтому их называют *неуправляемыми*.

Сила тяги направлена по движению поезда, тормозная сила действует в противоположном направлении. Силы сопротивления, как правило, также действуют против движения. Исключение составляет случай движения по спуску, который будет более подробно рассмотрен в соответствующем разделе.

По законам механики несколько сил, действующих на материальную точку или механическую систему, можно заменить одной равнодействующей силой, которую в теории тяги поездов называют ускоряющей силой F_y :

$$F_y = F_K - W - B_T. \quad (1.1)$$

Одновременно три составляющие ускоряющей силы на поезд не действуют, так как обычно не имеет смысла тянуть локомотивом заторможенный поезд. В зависимости от того, какие силы действуют в данный момент на поезд, различают следующие режимы движения:

режим тяги, когда действуют сила тяги F_K и силы сопротивления движению W : $F_y = F_K - W$;

режим выбега при отсутствии сил тяги и торможения, когда на поезд действуют только силы сопротивления движению:

$$F_y = -W;$$

режим торможения, когда к силам сопротивления движению прибавляется тормозная сила B_T : $F_y = -(W + B_T)$.

Ускоряющую силу, имеющую отрицательное значение, называют *замедляющей силой*.

Для упрощения расчетов удобнее использовать удельные силы, равные значениям сил в ньютонах, отнесенным к весу поезда в килоньютонах. Вес поезда в международной системе единиц (СИ) определяют как произведение массы m в тоннах на ускорение под действием силы тяжести (ускорение свободного падения) $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Удельные сила тяги f_k , силы сопротивления движению w , тормозная сила b_T и ускоряющая сила f_y рассчитываются по следующим формулам:

$$f_k = \frac{F_k}{mg}; \quad w = \frac{W}{mg}; \quad b_T = \frac{B_T}{mg}; \quad f_y = \frac{F_y}{mg} . \quad (1.2)$$

Разделив в уравнении (1.1) левую и правую части на вес поезда, получают значения удельной ускоряющей силы f_y , Н/кН:

$$f_y = f_k - w - b_T. \quad (1.3)$$

Для образования силы тяги на электровозах и моторных вагонах используют тяговые двигатели. При прохождении тока по обмоткам двигателя на его валу возникает вращающий момент за счет взаимодействия тока в проводниках обмотки якоря с магнитным потоком, создаваемым катушками главных полюсов. Этот момент передается на колесную пару через зубчатую передачу (редуктор). Однако одного вращающего момента недостаточно для создания силы тяги. Возникающие при этом силы являются внутренними относительно поезда и не могут вызвать его поступательного движения.

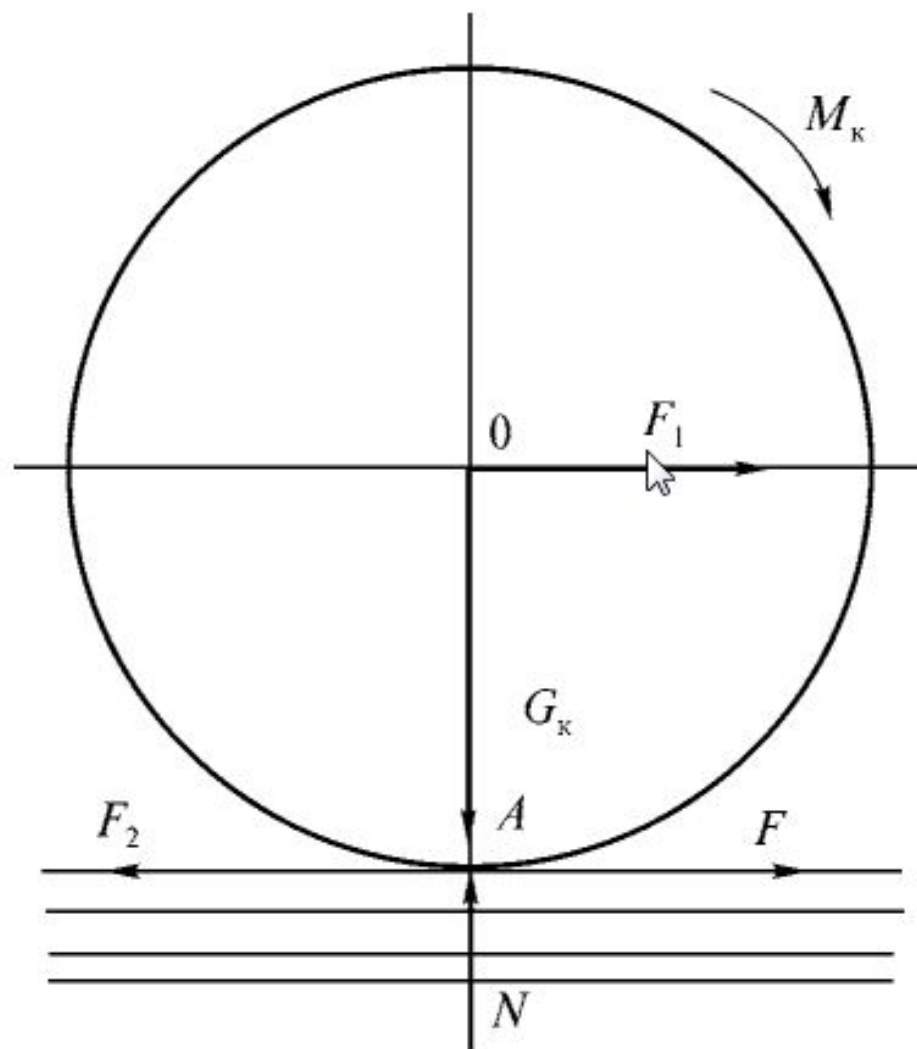


Рис. 1.1. Схема образования силы тяги колеса

Так, если колесную пару приподнять над рельсами, то ее вращение не приведет к движению поезда. Для начала поступательного движения необходимо за счет действия внутренних сил вызвать внешние силы,

используя сцепления колес с рельсами. На рис. 1.1 показано колесо, к которому приложен вращающий момент M_K , действующий по часовой стрелке, и оно прижато к рельсу с силой G_K , равной массе, приходящейся на колесо m_0 , умноженной на g .

Вращающий момент M_K можно заменить парой сил F_1, F_2 . Сила F_1 , направленная по движению, приложена к центру колеса O и передается через буксы на раму тележки и на кузов. Сила F_2 приложена в точке его касания с рельсом — точке A . Под действием сил F_2 и G_K возникают равные им и противоположно направленные реакции со стороны рельса, обозначенные силами F и N , которые являются внешними относительно поезда. Сила N перпендикулярна направлению движения и не влияет на его характер. Сила реакции рельса F , направленная по движению поезда и возникшая под действием вращающего момента и сцепления колеса с рельсом, является силой тяги. За счет сцепления колеса с рельсом возникает необходимый упор, отталкиваясь от которого колесо начинает движение. Поскольку в точке A колесо за счет сил сцепления не перемещается, то под действием силы F_1 оно начинает поворачиваться относительно точки A — мгновенного центра вращения. Так как мгновенный центр вращения при этом перемещается по поверхности головки рельса слева направо, центр колеса (точка O) поступательно движется в этом же направлении.

Рассмотренные процессы можно распространить на колесную пару. Сила $F_{\text{кд}}$ — реакция со стороны рельсов, действующая на оба колеса колесной пары, является *касательной силой тяги движущей колесной пары*. Сумму сил $F_{\text{кд}}$ всех движущих колесных пар называют *касательной силой тяги локомотива* (электровоза или моторного вагона) $F_{\text{к}}$ или просто *силой тяги локомотива*. К точкам касания колеса и рельса относят и другие силы, действующие на поезд, когда рассматривают поезд как механическую систему.

При испытаниях локомотивов силу тяги измеряют на автосцепных приборах. Эта сила тяги $F_{\text{а}}$ при постоянной скорости движения равна касательной силе тяги $F_{\text{к}}$ за вычетом силы сопротивления движению локомотива W' . В случае увеличения скорости необходимо дополнительно вычесть часть силы тяги $F_{\text{кэ}}$, затрачиваемую на увеличение запаса кинетической энергии локомотива, а при снижении скорости — прибавить такую силу. Следовательно, в общем случае

$$F_{\text{а}} = F_{\text{к}} - W' \pm F_{\text{кэ}}. \quad (1.4)$$

Эту формулу обычно используют для определения силы тяги на автосцепных приборах по известной касательной силе тяги при неизменной скорости движения ($F_{кэ} = 0$) и известном сопротивлении движению локомотива или при тех же условиях — для определения касательной силы тяги по измеренной силе тяги на автосцепных приборах.

Под действием рассмотренных сил поезд движется по заданному участку в одном из выбираемых машинистом режимах.

Использованная литература

- 1 Осипов С.И., Осипов С.С., Феоктистов В.П. Теория электрической тяги. – М.: Маршрут, 2006. – 436 с.