

Практическое занятие № 2

Общие сведения о тяговых расчетах

Силы, действующие на поезд

На движущийся поезд действуют силы, разнообразные по величине, направлению и времени действия. Для удобства расчетов все внешние силы, оказывающие влияние на движение поезда, объединяют в три группы и обозначают:

F – сила тяги;

W – силы сопротивления движению;

B – тормозные силы.

В тяговых расчетах пользуются либо полным значением этих сил, выраженным в кгс, либо их удельным значением, отнесенным к единице массы поезда (f , w , b).

Сила тяги создается двигателем локомотива во взаимодействии с рельсами, приложена к движущим колесам и всегда направлена в сторону движения поезда.

Вращающий момент M двигателя (рис.1) создает пару сил F и F_1 , действующих на плече R , равном радиусу колеса по кругу катания. Эти силы стремятся вращать колесо вокруг его оси. Для получения поступательного движения нужна внешняя сила, приложенная к движущим колесам. Такой силой является горизонтальная реакция рельса, вызванная действием силы F_1 . Численно силы F_1 и F_2 между собой равны и направлены в противоположные стороны.

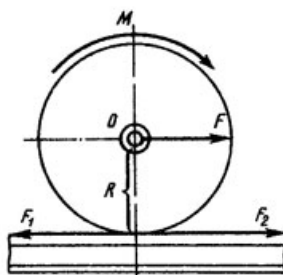


Рисунок 1 – Схема образования силы тяги

Таким образом, сила реакции рельса F_2 уравновесила силу F_1 и тем самым освободила силу F для осуществления поступательного движения локомотива. На практике силой тяги локомотива принято называть горизонтальную реакцию F_2 , приложенную от рельсов к ободу движущих колес и направленную в сторону движения. Поскольку эта сила направлена по касательной к окружности колеса, она получила название касательной силы тяги. Для локомотива в целом касательная сила тяги определяется как сумма касательных сил, приложенных ко всем движущим колесам локомотива, F_k .

Значения силы тяги при различных скоростях движения определяют по тяговым характеристикам локомотивов, которые составляют на основе данных, получаемых при тяговых испытаниях. Эти характеристики изображаются в виде диаграмм, определяющих зависимость силы тяги F_k от скорости движения v при различных режимах работы двигателей. На эти диаграммы наносятся указанное ограничение силы тяги по сцеплению, а также другие ограничения силы тяги, связанные с особенностями локомотивов.

Тяговые характеристики электровоза постоянного тока (рис.2) представляют собой три группы кривых, соответствующие схемам включения тяговых двигателей: последовательному С, последовательно-параллельному СП и параллельному П. Тяговые двигатели электровозов переменного тока (рис. 2) имеют постоянную параллельную схему включения, и сила тяги у них регулируется многопозиционным переключением вторичной обмотки трансформатора.

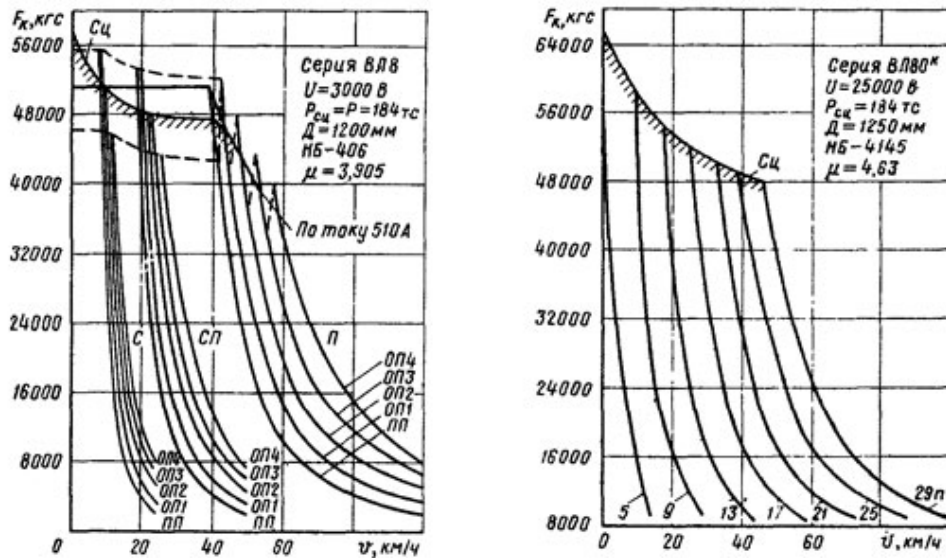


Рисунок 2 – Тяговые характеристики электровоза ВЛ8 и ВЛ80*

Тяговые характеристики локомотивов служат для определения силы тяги в зависимости от скорости движения и дают значение этой силы в кгс. Удельная сила тяги

$$f_k = \frac{F_k}{P + Q},$$

где P и Q – соответственно масса локомотива и состава, т.

Силами сопротивления называются возникающие при движении поезда внешние силы, направленные в сторону, противоположную движению. Некоторые из них действуют непрерывно во время движения: силы, вызываемые трением осей в подшипниках, трением между колесами и рельсами, ударами в рельсовых стыках, сопротивлением воздушной среды. Такие силы в совокупности образуют основное сопротивление движению. Другие силы появляются на уклонах, на кривых и при трогании с места. Эти силы составляют дополнительные сопротивления.

Основное сопротивление движению, т. е. сопротивление на прямом и горизонтальном пути, зависит от рода подвижного состава, скорости движения, конструкции пути, а для грузовых вагонов – и от их массы или нагрузки на ось. Основное удельное сопротивление движению вагонов определяют по формулам, полученным отдельно для пассажирских и грузовых груженых и порожних вагонов.

Основное удельное сопротивление груженых вагонов на роликовых подшипниках:

для четырехосных вагонов на звеньевом пути

$$\omega_o^{//} = 0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_o}$$

для восьмиосных вагонов на бесстыковом пути

$$\omega_o^{//} = 0,7 + \frac{6 + 0,026v + 0,0017v^2}{q_o}$$

где q_o – масса, приходящаяся на 1 ось, т.

Основное удельное сопротивление движению электровозов и тепловозов принимают по графикам, приведенным в ПТР, или по формулам, например, для звеньевого пути:

$$\omega_o^/ = 1,9 + 0,01v + 0,0003v^2$$

$$\omega_x = 2,4 + 0,011v + 0,00035v^2$$

где $w_o^/$ – основное удельное сопротивление при включенных тяговых двигателях;

w_x – основное удельное сопротивление при движении с выключенными тяговыми двигателями (холостой ход).

Сопротивление движению от уклона вызывается слагающей массы вагона или локомотива, направленной параллельно пути против движения (на подъемах) или в сторону движения поезда (на спусках). В соответствии с этим сопротивление от уклона может быть положительным или отрицательным, а значение его, выраженное в килограммах силы на тонну массы, равно числу тысячных уклона, т. е.

$$\omega_i = \pm i$$

Полное сопротивление поезда W_k при движении его

$$W_k = P(\omega_o^/ + i_k) + Q(\omega_o^{//} + i_k)$$

Дополнительное сопротивление при трогании с места возникает вследствие уменьшения слоя смазки в подшипниках и увеличения ее вязкости во время

стоянки. Применение роликовых подшипников в значительной мере облегчает трогание поезда с места.

Тормозными называются искусственно создаваемые силы, возникающие в процессе торможения подвижного состава. Тормозные силы направлены против движения, управляемы и зависят в определенных пределах от реакции машиниста.

Процесс торможения происходит при нажатии тормозных колодок на колеса или специальные тормозные диски при применении электрического торможения.

Тормозная сила, создаваемая тормозными колодками, зависит от коэффициента трения между колодками и поверхностью колес или дисков от силы нажатия колодок и от числа тормозных осей в составе. Сила трения, возникающая между ободом движущего колеса и колодкой (рис.3), направлена в сторону, противоположную вращению, и равна $F_{\text{т}} = \mu_{\text{к}} K$, где $\mu_{\text{к}}$ – коэффициент трения между колесом и колодкой; K - сила нажатия колодки, тс.

Сила трения создает относительно центра колес момент, препятствующий вращению и вызывающий реакцию рельса B . Реакция рельса B и является тормозной силой.

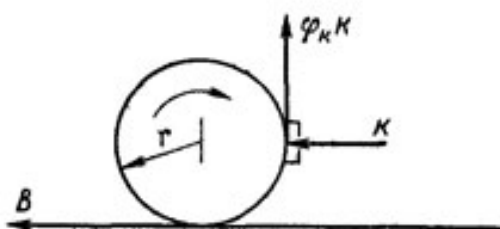


Рисунок 3 – Схема тормозных сил, действующих на колеса

Расчет веса состава и скорости движения поезда

Вес состава и скорость движения являются основными показателями работы железнодорожного транспорта. Именно от них зависит выполнение заданного объема перевозок и их себестоимость. Методы расчета массы поезда являются составной частью тяговых расчетов в целом.

При расчете массы поезда и скорости его движения применяется условие полного использования мощности локомотива. Масса состава должна быть такова, чтобы при движении поезда по наиболее трудному подъему на конкретном участке, скорость не падала ниже, чем это установлено для данного типа локомотива. При равномерном движении поезда по такому подъему сила тяги и полное сопротивление поезда уравновешивают друг друга, то есть

$$F_k = W_k$$

$$F_k = P(\omega_o' + i_p) + Q(\omega_o'' + i_p)$$

откуда

$$Q = \frac{F_k - P(\omega_o' + i_p)}{\omega_o'' + i_p}$$

где F_{kp} – касательная расчетная сила тяги локомотива, кгс;

P_n – вес локомотива, т;

i_p – руководящий уклон на рассматриваемом полигоне (участке, дороге, направлении);

ω_o' – основное удельное сопротивление движению локомотива, кгс/т;

ω_o'' – основное удельное сопротивление движению вагонов, кгс/т.

Масса состава при трогании с места определяется по формуле:

$$Q_{mp} = \frac{F_{mp}}{\omega_{mp} + i_s} - P$$

где P – масса локомотива,

$F_{тр}$ – сила тяги при трогании с места

$w_{тр}$ – удельное сопротивление поезда при трогании с места

i_s – приведенный уклон.

Длина поезда:

$$l_n = \frac{Q_c}{m_{cp}} (\gamma_4 l_4 + \gamma_6 l_6 + \gamma_8 l_8) - l_L$$

где Q – масса состава в (т);

m_{cp} – средневзвешенная масса одного вагона.

$$m_{cp} = m_4 \gamma_4 + m_6 \gamma_6 + m_8 \gamma_8$$

где m_4, m_6, m_8 – масса 4-х, 6-и, 8-и остных вагонов в (т)

$\gamma_4, \gamma_6, \gamma_8$ - доли 4-х, 6-и, 8-и остных вагонов в составе

l_4, l_6, l_8 - длины 4-х, 6-и, 8-и остных вагонов в (м)

l_L - длина локомотива в (м)

$$l_{пути} = l_n + 10 + l_L,$$

где 10м – на неточную остановку поезда.

Получившуюся величину сравниваем со стандартными длинами путей (850м, 1050м, 1250м, 1550м и 1750м).