



Лекция 6

Сопротивление движению поезда.

Классификация сил сопротивления движению поезда.

Полное сопротивление – это эквивалентная сила, приведенная к ободам колес, на преодоление которой затрачивается такая же работа, как и на преодоление всех действующих сил, противодействующих движению поезда.

Классификация сил сопротивления движению поезда.

Полное сопротивление делится на:

- основное W_0
- дополнительное W_d

$$W = W_0 + W_d$$

Основное сопротивление движению.

- сопротивление подвижного состава,
- сопротивление пути,
- сопротивление окружающей среды.

Соппротивление подвижного состава.

- трение буксовых подшипников,
- трение в элементах тягового привода,
- инерция вращающихся масс.



Сопротивление пути.

- трение качения колес о рельсы,
- трение скольжения колес о рельсы,
- деформация пути и удары на стыках и неровностях.



Сопротивление окружающей среды.

- сопротивление воздуха.

Дополнительное сопротивление.

- сопротивление от уклонов,
- сопротивление от кривых,
- сопротивление при особых условиях движения поезда.

Удельные силы сопротивления движению.

Силы сопротивления движению поезда определяются силами трения и тяжести, которые пропорциональны весу поезда.

$$m = (P + Q) * g,$$

где: m – вес поезда, кг

P – масса локомотива, кг,

Q – масса вагонов, кг,

g – ускорение свободного падения (9,81 м/с²),

Удельные силы сопротивления движению.

Учитывая, что $1 \text{ кгс} = 9,81 \text{ Н}$, можно сделать вывод, что **вес** состава [тс] **численно равен массе** [т].

Почти все силы, противодействующие движению поезда, пропорциональны его весу, поэтому для удобства выполнения расчетов используют отношение сопротивления движения к его весу.

Удельные силы сопротивления движению.

$$\omega = \frac{W}{(P + Q) * g} \left[\frac{\text{Н}}{\text{кН}} \right]$$

$$\omega = \frac{W}{(P + Q)} \left[\frac{\text{КГС}}{\text{Т}} \right]$$

Удельные силы сопротивления движению.

Удельное сопротивление движению поезда определяется отдельно для локомотивов и вагонов:

$$\omega' = \frac{W'}{P} \quad \text{— для локомотива}$$

$$\omega'' = \frac{W''}{Q} \quad \text{— для вагонов}$$

Удельные силы сопротивления движению.

Тогда полное сопротивление движению
поезда определяется:

$$W = W' + W'' = P * \omega' + Q * \omega'' \quad (\text{кгс})$$

Сопротивление подвижного состава.

Значения сил сопротивления учитываются в удельных значениях, которые зависят от скорости движения.

В удельных сопротивлениях учитываются и значения сопротивления в тяговом приводе.

При движении под током трение в элементах передачи учитывает КПД, а при движении без тока учитывается дополнительно, поэтому в среднем расчетная величина удельного сопротивления выше $\approx 0,5$ кгс/т.

Сопротивление подвижного состава.

Сопротивление пути:

– трение качения колес по рельсам:

$$\omega_{\text{к}} = \frac{W}{P_0} = \frac{2\delta}{D_{\text{к}}} * 10^3 \left[\frac{\text{кгс}}{\text{т}} \right]$$

Принимается: $\omega_{\text{к}} = 0.2 \div 0.4$ кгс/т

Сопротивление подвижного состава.

Сопротивление пути:

- трение скольжения колес по рельсам:

Принимается: $\omega_{\text{ск}} = 0.2 \div 0.4$ кгс/т

- деформация пути и удары по стыкам:

Принимается: $\omega_{\text{деф}} = 0.3 \div 0.6$ кгс/т

Сопротивление подвижного состава.

Сопротивление воздушной среды:

- лобовое,
- межвагонное,
- кормовое,
- боковое,
- подвагонное.

Соппротивление подвижного состава.

Сила лобового сопротивления зависит от площади поперечного сечения и квадрата скорости.

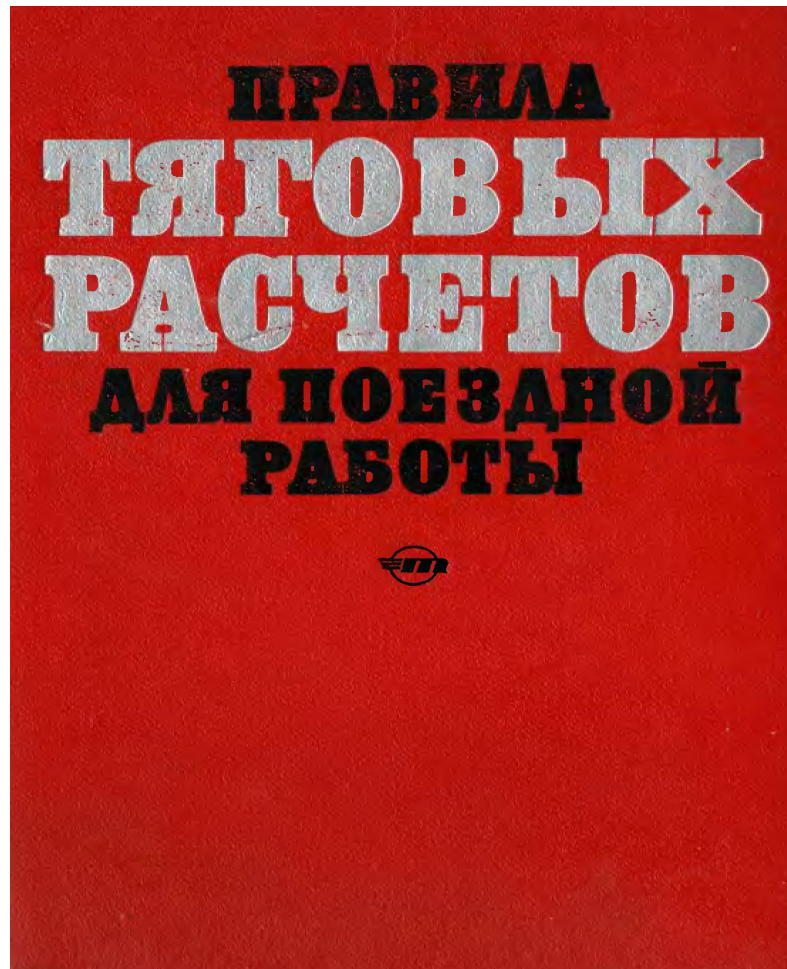
$$W_{\text{В}} = \lambda_{\text{В}} * S * v^2$$



Сопротивление подвижного состава.

Значения сил сопротивления рассчитываются по эмпирическим формулам из Правил тяговых расчетов или по формулам производителя.

Сопротивление подвижного состава.



Соппротивление подвижного состава.

а) электровозы и тепловозы на звеньевом пути

$$w'_0 = 1,9 + 0,01v + 0,0003v^2;$$

$$w_x = 2,4 + 0,011v + 0,00035v^2;$$

б) электровозы и тепловозы на бесстыковом пути

$$w'_0 = 1,9 + 0,008v + 0,00025v^2;$$

$$w_x = 2,4 + 0,009v + 0,00035v^2;$$

Соппротивление подвижного состава.

Для вагонов:

а) четырехосные вагоны на подшипниках скольжения и шестиосные вагоны на роликовых подшипниках ($q_0 > 6$ т)

$$w_0'' = 0,7 + \frac{8 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_0}; \quad (1)$$

б) четырехосные вагоны на подшипниках скольжения ($q_0 \leq 6$ т)

$$w_0'' = 1,5 + 0,045v + 0,00027v^2; \quad (2)$$

Дополнительное сопротивление.

Дополнительное сопротивление:

- сопротивление движению от уклонов,
- сопротивление движению от кривых.

Дополнительное сопротивление.

Сопротивление движению от уклонов:

$$i = \frac{W_i}{(P + Q)} \quad [‰]$$

или

$$i = \omega_I \quad [‰] \neq [\text{кгс/т}]$$

Равны численно, но не равны единицы измерения.

Дополнительное сопротивление.

Сопротивление движению от кривых:
Из-за сложности учета всех факторов
используют эмпирические формулы:

- Если $L_{\Pi} \leq S_{кр}$:

$$\omega_r = \frac{700}{R} \left[\frac{\text{кгс}}{\text{т}} \right]$$

- Если $L_{\Pi} > S_{кр}$:

$$\omega_r = \frac{700}{R} * \frac{S_{кр}}{L_{\Pi}} \left[\frac{\text{кгс}}{\text{т}} \right]$$

Дополнительное сопротивление.

Сопротивление при особых условиях движения поезда:

– при трогании с места:

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{28}{q_0} \left[\frac{\text{кгс}}{\text{т}} \right]$$

– в тоннелях:

$$W_{\text{вТ}} = \beta * W_{\text{в}} \quad [\text{кгс}]$$

– от ветра:

$$W_{\text{в}} = \lambda_p * 5 * (V \pm V_{\text{в}})^2 \quad [\text{кгс}]$$

Дополнительное сопротивление.

Сопротивление при особых условиях движения поезда:

- от низких температур:

Определяется в зависимости от температуры и скорости движения в процентах от основного сопротивления движения поезда по таблицам, приведенным в Правилах тяговых расчетов или указанных производителем.

Расчет полного сопротивления движению поезда.

Полное сопротивление движению:

$$W = W_0 + W_{\text{д}}$$

$$W_0 = W_0' + W_0''$$

$$W_{\text{д}} = W_{\text{i}} + W_{\text{r}}$$

$$W = W_0' + W_0'' + W_{\text{i}} + W_{\text{r}}$$

$$W = P * \omega_0' + Q * \omega_0'' + (P + Q) * (\omega_{\text{i}} + \omega_{\text{r}})$$

Расчет полного сопротивления движению поезда.

Полное сопротивление движению:

Переходя к удельным сопротивлениям:

имеем:
$$\omega = \frac{W}{(P + Q)} \left[\frac{\text{кгс}}{\text{т}} \right]$$

– под током

$$\omega = \frac{P * \omega'_0 + Q * \omega''_0}{P + Q} + \omega_i + \omega_r$$

– без тока

$$\omega = \frac{P * \omega'_x + Q * \omega''_0}{P + Q} + \omega_i + \omega_r$$

Расчет полного сопротивления движению поезда.

Если в составе поезда имеются вагоны различных типов, то в расчет вводят средневзвешенное основное удельное сопротивление движению поезда.

под током

$$\omega_0 = \frac{P * \omega'_0 + \sum_{j=1}^n Q_j * \omega''_{0j}}{P + \sum_{j=1}^n Q_j}$$

без тока

$$\omega_0 = \frac{P * \omega'_x + \sum_{j=1}^n Q_j * \omega''_{0j}}{P + \sum_{j=1}^n Q_j}$$

Мероприятия по уменьшению сопротивления движения поезда.

Мероприятия по уменьшению сопротивления движению поезда:

- мероприятия по использованию состава и пути,
- мероприятия по модернизации, реконструкции и проектированию подвижного состава и участков пути.

Мероприятия по уменьшению сопротивления движения поезда.

- Мероприятия по использованию состава и пути:
- полная загрузка вагонов (снижается удельное сопротивление движению поезда и сопротивление на 1 т. массы перевозимого груза),
 - правильное формирование составов,
 - закрытие дверей и люков в составе,
 - регулировка тормозов,
 - уход за смазкой подшипников,
 - надлежащее содержание верхнего строения пути,
 - сокращение времени стоянки поезда (облегчение условий трогания, особенно в зимний период).

Мероприятия по уменьшению сопротивления движения поезда.

Мероприятия по модернизации, реконструкции и проектировании подвижного состава и участков пути:

- создание обтекаемых форм подвижного состава,
- укладка безстыкового пути,
- реконструкция пути (изменение плана и профиля пути).