



# 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/с<sup>2</sup>),

## 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.

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



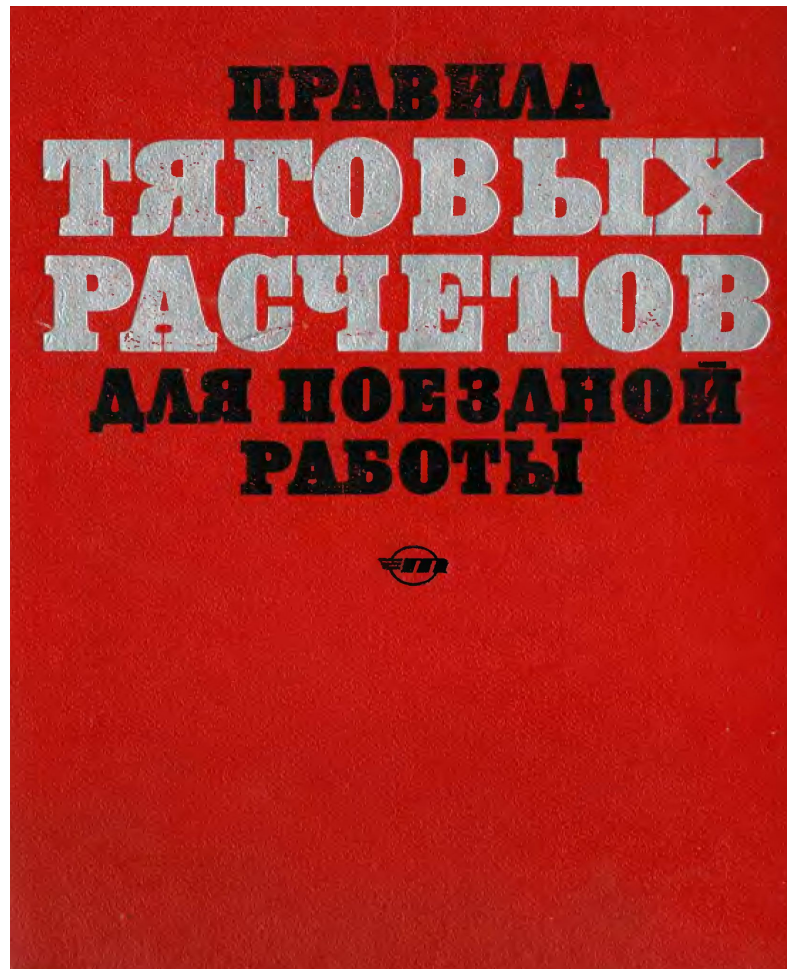
## Сопротивление подвижного состава.

---

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:

$$W = W_0 + W_d$$

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

$$W_d = W_i + W_r$$

$$W = W_0' + W_0'' + W_i + W_r$$

$$W = P * \omega_0' + Q * \omega_0'' + (P + Q) * (\omega_i + \omega_r)$$

# 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).