

Тема: Расчет электровозной откатки

Вопросы для рассмотрения:

1. Основное уравнение движения поезда и его решение для различных режимов.
2. Расчет электровозной откатки.

Раздаточный материал:

1. Схема внешних сил, приложенных к поезду по линии движения
2. Методика расчета электровозной откатки.

10. Расчет электровозной откатки

10.1. Основное уравнение движения поезда и его решение для различных режимов.

Под уравнением движения понимают формулу силы тяги. Т.к. эта формула для различных режимов движения разная (разгон, установившееся движение, свободный выбег, торможение), основным уравнением считают формулу для режима тяги – разгона (трогания) (рис. 10.1)

$$F_k = W' + P' + T' + W'' + P'' + T'',$$

$$F_k = m'g \left(w' \cos \beta \pm \sin \beta + \frac{\delta' a}{g} \right) +$$

$$+ m''g \left(w'' \cos \beta \pm \sin \beta + \frac{\delta'' a}{g} \right). \quad (10.1)$$

Самоходные машины – электровозы – применяют при углах наклона до 6° ($tg 6^\circ \cong \sin 6^\circ \cong 0,1$). Можно при этом считать, что $\cos \beta \approx 1$, а $\sin \beta \cong tg \beta$. Уклоном пути i называют $tg \beta$ – тангенс угла наклона; $tg \beta = i$. Если считать, что для поезда одинаковы коэффициенты сопротивления $w'' = w' = w$, а также коэффициенты $\delta'' = \delta' = \delta$, то уравнение движения будет иметь вид:

$$F_k = (m' + m'')g \left(w \pm i + \frac{\delta a}{g} \right), \text{ н} \quad (10.2)$$

здесь m' и m'' – массы локомотива и состава, кг; F_k – сила тяги, н; a – ускорение (со своим знаком \oplus или \ominus), м/с^2 ; δ – коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс ($\delta = 1,05 \pm 1,1$). Обычно массу поезда $m' + m'' = m_n$ выражают в тоннах, а w и i – в десятичных дробях. Формулу (10.2) можно записать:

$$F_k = \frac{m_n \cdot g}{1000} \left(1000w \pm 1000i + 1000 \frac{\delta a}{g} \right), \text{ н} \quad (10.3)$$

или

$$F_k = m_n g (w \pm i + \Delta a), \text{ н} \quad (10.4)$$

Запись уравнения движения в виде (10.4) является «универсальным»: если подставлять m_n в тоннах, то значение w , i , Δ подставляются не в десятичных дробях, а в удельных их значениях, которые по величине в 1000 раз больше, чем соответствующие коэффициенты сопротивления движению, уклон пути, частное $\Delta = \frac{\delta}{g}$. Если же m_n подставляют в кг, то w , i , Δ – десятичная дробь. Здесь $\Delta = 1000 \frac{\delta}{g}$ – удельное сопротивление от инерции вращения масс (колес) поезда.

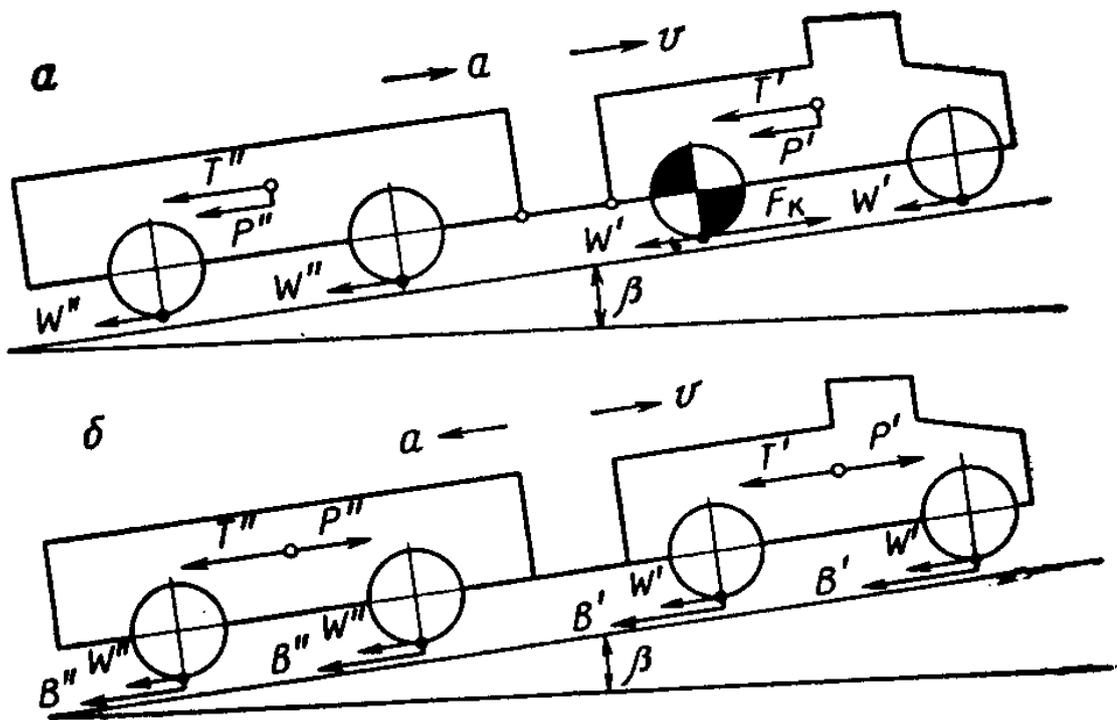


Рис. 10.1 Схема внешних сил, приложенных к поезду по линии движения:
а – в режиме тяги; б – в режиме торможения

Решение основного уравнения для различных режимов:

а) пуск в ход (движение с ускорением)

$$F_k = m_n g (w \pm i + \Delta a) \text{ или}$$

$$F_k = m_n g (w \pm i + 110a), \text{ или} \quad (10.5)$$

$$F_k = m_n g (w \pm i + 0,11a);$$

б) движение с установившейся скоростью, $a=0$.

$$F_k = m_n g (w \pm i); \quad (10.6)$$

в) свободный выбег, $F = 0$

$$0 = m_n g (w \pm i + \Delta a); \quad (10.7)$$

г) торможение:

$$-B = m_n g (w \pm i + \Delta a). \quad (10.8)$$

Максимальная сила тяги по сцеплению

$$F_{\text{кмакс}} = 1000P_{\text{сц}} \cdot \psi \cdot g, \text{ н}, \quad (10.9)$$

где $P_{\text{сц}}$ – сцепная масса, т.

Подставляя это значение в а) или б) можно найти предельную массу поезда при разгоне с заданным значением a м/с² на подъем i (или под уклон i), а также предельную массу при установившемся движении (по сцеплению) вверх $+i$ или вниз $-i$.

Из уравнения г) можно определить допустимую скорость движения поезда $v_{\text{дон}}$ известной массы m_n для остановки его на заданном участке пути длиной l_T (тормозной путь). Считая торможение равнозамедленным движением построим (рис. 10.2) график изменения скорости во времени с момента начала торможения ($t = 0$) до остановки (время торможения t_T)

$$t_T = t_n + t\partial, \quad (10.10)$$

где $t\partial$ – время торможения, а t_n – время подготовки к торможению (с момента сигнала на торможение до начала приложения силы торможения B_k). При торможении

$$l_T = l_n + l\partial; \quad l_n = vt_n \quad (10.11)$$

$$l\partial = \frac{1}{2}v \cdot t\partial, \quad t\partial = \frac{v}{a}, \quad l\partial = v \cdot t_n + \frac{v^2}{2a} = vt_n + \frac{v^2}{a},$$

откуда

$$v_{\text{дон}} = \sqrt{(at_n)^2 + 2al_T} - at_n. \quad (10.12)$$

Величина замедления a определяется из уравнения движения при торможении, (10.8)

$$a = -\frac{w \pm i + \frac{B_k}{m_n \partial}}{\Delta}, \text{ м/с}^2, \quad (10.13)$$

$$B_{\text{кмакс}} = 1000P_T \psi \cdot \partial, \text{ н}, \quad (10.14)$$

где P_T – тормозная масса локомотива, т

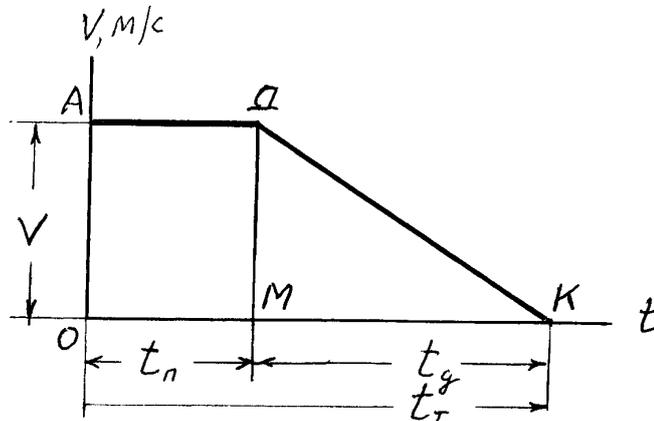


Рис. 10.2. К определению допустимой скорости движения поезда по условиям торможения

10.2. Расчет электровозной откатки.

Исходные данные для расчета: план и профиль рельсовых путей горизонта, для которого производится расчет (однолинейная схема откаточного горизонта); (рис. 10.3) место расположения погрузочных пунктов (расстояние откатки от каждого погрузочного пункта) и сменная производительность (т/см) каждого из них; тип и характеристика электровоза и вагонетки; вид организации движения поездов (с закреплением электровозов (составов) за погрузочным пунктом или без закрепления); состояние рельсов (сухие, мокрые).

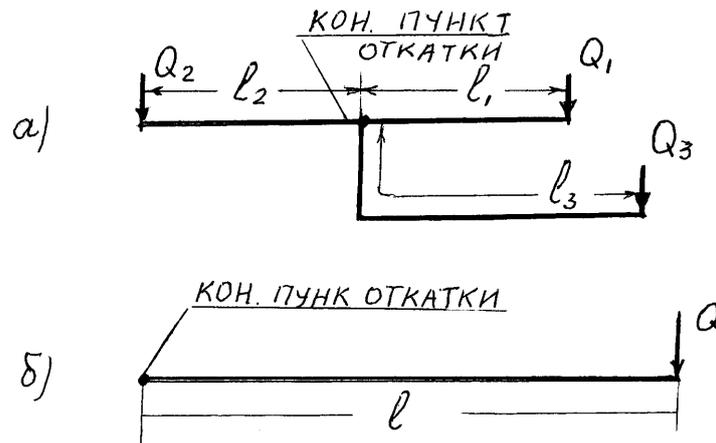


Рис. 10.3. Расчетные схемы откатки горизонта

Цель расчета – определить: число вагонов в составе; число электровозов на горизонте; число аккумуляторных батарей и зарядных столов (в случае откатки аккумуляторными электровозами).

1. Обработка исходных данных.

Возможны две схемы откатки на горизонте (рис. 10.3): а – разветвленная (с несколькими погрузочными пунктами) и б – не разветвленная (с одним погрузочным пунктом).

В случае закрепления электровозов за погрузочными пунктами (за маршрутами) схема а) рассматривается в расчете как несколько схем б) и расчет ведется для каждого маршрута (как для б) отдельно, поэтому, заданными должны быть длины и уклоны отдельных участков пути. В случае организации откатки без закрепления электровозов за погрузочными пунктами любая сложная схема

приводится к схеме а) (т.н. приведенная схема откатки), для которой $Q = \sum_{i=2}^n Q_i$, а длины и уклоны рассчитываются как средневзвешенные по Q и по l .

Средневзвешенная длина откатки

$$l_{с.в.} = \frac{l_1 Q_{см1} + l_2 Q_{см2} + \dots + l_n Q_{смn}}{Q_{см1} + Q_{см2} + \dots + Q_{смn}}, \quad (10.15)$$

Средний уклон по маршруту

$$i_{ср.п.} = \frac{\sum_1^k i_i l_i}{\sum_1^k l_i}, \quad (10.16)$$

где i_i и ℓ_i – уклон и длина отрезка (части) маршрута из k участков.

Для расчетов необходимо установить (или назначить) руководящий уклон пути i_p , т.е. наибольший из затяжных, – имеющий длину, достаточную для достижения поездом установившейся скорости (обычно 100 м и более).

Если составы (электровоз) не закреплены за погр. пунктом средневзвешенный уклон, приведенной схемы откатки:

$$i_{с.в.} = \frac{i_{cp1}Q_{см1} + i_{cp2}Q_{см2} + \dots + i_{cpn}Q_{смn}}{Q_{см1} + Q_{см2} + \dots + Q_{смn}}, \quad (10.17)$$

где i_{cp1}, i_{cp2}, \dots – средние уклоны по маршрутам.

2. Определение массы поезда.

Масса поезда рассчитывается по условиям сцепления колес с рельсами (по макс. значению F_k) при выбранных случаях движения и проверяется по торможению и нагреву двигателей электровоза.

Режимы для определения массы поезда из основного уравнения движению:

Пуск в ход груженого поезда (m_{nz}) под уклон (i_{cp}). Пуск в ход порожнего поезда (m_{nn}) на подъем (i_{cp}). Движение порожнего поезда (m_{nn}) с установившейся скоростью ($a = 0$) на руководящем уклоне (i_{cp}) вверх.

3. Определение числа вагонов в составе.

Число вагонов в порожнем составе:

$$Z_{nop} = \frac{m_{nn} - P}{m_0 + c_1 m}, \quad \text{штук (округл. до меньшего)}, \quad (10.18)$$

где m_{nn} , m_0 и m – масса порожнего поезда, тара вагона, грузоподъемность; P – масса локомотива; c_1 – коэффициент (равен 0,1 – 0,15) учитывающий массу прилипшего в пустых вагонах груза.

Число вагонов в груженом составе:

$$Z_{gp} = \frac{m_{nz} - P}{m_0 + m}, \quad \text{штук (округл. до меньшего)}, \quad (10.19)$$

где m_{nz} – масса груженого поезда.

Из двух значений для дальнейших расчетов выбирается меньшее Z (штук).

4. Проверка рассчитанной по условиям сцепления массы поезда на условия торможения.

Оставляется для случая движения груженого поезда m_{nz} вниз под уклон (i_{cp}) при заданных условиями безопасности пути торможения ℓ_T .

Порядок расчета:

а) определяется сила тяги для установившегося движения груженого поезда вниз на среднем уклоне

$$F_k = m_{nz} (w - i_{cp}); \quad (10.20)$$

б) по электромеханической характеристике определяется скорость движения поезда v , м/с на первой и второй рабочих скоростях;

в) определяется допустимая скорость движения $v_{дон}$ (см. 10.12);

г) сравниваются значения скоростей и формулируются рекомендации относительно безопасного движения вниз (при i_{cp}) груженого поезда.

5. Проверка массы поезда по условиям нагрева.

а) определяются силы тяги $F_{зр}$ и $F_{нор}$ при $a = 0$ и i_{cp} ;

б) из характеристики находят силы тока, скорости движения $\dot{J}_{зр}$, $\dot{J}_{нор}$, $v_{зр}$, $v_{нор}$, а также определяют время движения с грузом и порожняком $t_{зр}$, $t_{нор}$;

в) определяется эквивалентный ток

$$\dot{J}_э = \gamma \sqrt{\frac{\dot{J}_{зр}^2 \cdot t_{зр} + \dot{J}_{нор}^2 \cdot t_{нор}}{t_{зр} + t_{нор} + \Theta}}, \quad (10.21)$$

здесь γ – коэффициент нагрева при маневрах, $\gamma = 1,15-1,5$; Θ – время маневров за цикл, $\Theta = (30 \div 40)$ мин.;

г) сравнивается значение $\dot{J}_э$ с $\dot{J}_{дл}$ (из характеристики двигателя) и формулируются рекомендации о массе поезда и скоростях его движения.

6. Определение числа электровозов.

а) необходимое число рейсов для перевозки всего груза

$$r_{рейс} = \frac{Q_{см} \cdot k}{Z \cdot m}, \text{ штук (округл. до меньшего)} \quad (10.22)$$

$k = 1,5-1,25$;

б) число возможных рейсов одного электровоза за смену

$$r'_{возм} = \frac{t_{см} \cdot k_m}{T_p}, \quad (10.23)$$

здесь ($k_m = 0,7 \div 0,8$).

в) необходимое число электровозов для перевозки полезного ископаемого

$$n_{эл.п.и.} = \frac{r_{рейс}}{r'_{возм}}. \quad (10.24)$$

Аналогично рассчитывается число электровозов для перевозки породы в специализированных составах. Отдельно рассчитывается число электровозов для перевозки людей (на основании расписания движения пассажирских поездов);

г) сумма всех необходимых электровозов дает число рабочих электровозов

$$n_{раб} = n_{эл.п.и.} + n_{эл.пор} + n_{эл.л.} \quad (10.25)$$

Инвентарное число электровозов

$$n_{инв} = n_{раб.} \cdot k_{инв}; \quad (10.26)$$

здесь $k_{инв} = 1,15 - 1,2$.

7. Определение числа аккумуляторных батарей и зарядных столов

Если время зарядки батареи не превышает времени смены, число рабочих батарей равно удвоенному числу рабочих электровозов

$$S_{раб.} = 2n_{раб.} \cdot \quad (10.27)$$

Инвентарное число батарей

$$S_{инв.} = S_{раб.} \cdot k_{инв}, \quad (10.28)$$

где $k_{инв} = 1,1 - 1,15$. Число одновременно заряженных батарей

$$S_{зар} = S_{раб} - n_{эл.раб.} \cdot \quad (10.29)$$

Количество зарядных столов в зарядной камере

$$S_{стол} = n_{эл.инв.} + 2 \text{ при } n_{эл.инв.} < 10, \quad (10.30)$$

$$S_{стол} = n_{эл.инв.} + 4 \text{ при } n_{эл.инв.} \geq 10. \quad (10.31)$$

Число зарядных устройств (при индивидуальной зарядке батарей) равно числу зарядных столов в зарядной камере.

Рекомендуемая литература:

1. Біліченко М.Я. Основи теорії та розрахунки транспортних засобів механізації переміщення вантажів шахт. Навчальний посібник - Дніпропетровськ: НГУ, 2002. – 102с. (стр.)
2. Транспорт на горных предприятиях / Под ред.. проф, Б.Л. Кузнецова. М.: Недра, 1976, - 552 с. (стр.)
3. Основные положения по проектированию подземного транспорта для новых и действующих угольных шахт. - М.; ИГД им. А.А. Скочинского, 1986, - 355 с. (стр.)
4. Шахтный транспорт шахт и рудников: Справочник / Под ред. Г.Я. Пейсаховича, И.Л. Ремизова. - М.: Недра, 1985. - 565 с. (стр.)