

# Основы расчета железнодорожного транспорта

доц. каф. ТТПиМ, к.т.н. Труфанова И.С.

# Тяговый расчет

**Цель расчета:** выбор типа подвижного состава для заданных условий транспортирования груза

**Порядок расчета:**

- 1) предварительный выбор типов локомотива и вагона по исходным данным;
- 2) определение весовой нормы поезда;
- 3) определение числа вагонов в составе;
- 4) определение значений силы тяги (тормозной силы), тока двигателя, скорости и времени движения поезда на каждом участке трассы в грузовом и порожняковых направлениях.
- 5) расчет тормозного пути на спусках;
- 6) проверка тяговых электродвигателей на нагревание;
- 7) определение расхода электроэнергии.

# Выбор подвижного состава

Условия эксплуатации электровозов и тяговых агрегатов  
при руководящих уклонах до 40 ‰

Годовая производительность $A$ , млн т	Глубина раз- работки, м	Тяговые агрегаты	
		Виды	Сцепная масса $M_{сч}$ , т
< 40	До 150	Постоянного и переменного тока	90–150
40–70	До 200	Постоянного тока	240–360
70–100	До 250	Постоянного и переменного тока	240–360
> 100	Более 250	Постоянного тока	360–375

## Рекомендуемые комплексы погрузочно-транспортного оборудования

Производственная мощность карьера по горной массе, млн.т/год	Вместимость ковша экскаватора, м <sup>3</sup>	Грузоподъемность автосамосвала, т	Сцепной вес ло- комотива, кН	Грузоподъемность думпкара (вагона), т
		30 55 120 220 320 ...	100 200 300 ...	60 85 105 136 165 180
10...20	5.0			
25...50	6.0÷8.0			
50...75	10.0÷12.5			
75...100	15			
100...150	20			
150...200	26÷30			
200...300	35÷40			

## Технические характеристики карьерных электровозов

Основные параметры	EL1	EL2	26E	Д94
Ширина колеи, мм	1500			
Номинальное напряжение, кВ	1,5			
Осевая формула	$2_0 + 2_0 + 2_0$	$2_0 + 2_0$	$2_0 + 2_0 + 2_0$	$2_0 - 2_0$
Сцепная масса, т	150	100	180	94
Часовой режим:				
мощность, кВт	2 100	1 350	2 480	1 635
сила тяги, кН	242,3	161,9	311	196,2
скорость, км/ч	30,5	30	28,7	30
Наибольшая скорость, км/ч	65			85
Длина по осям автосцепок, мм	21 320	13 770	21 470	16 400
Наименьший радиус кривой, м	60	50	60	80
Тип тягового двигателя:	СБМ-350	СБМ-350	1АД-4346	НБ-406Б
напряжение, кВ	1,5			
часовая мощность, кВт	350		425	412,5
часовой ток, А	250		304	380
длительный ток, А	205		264	340
Вместимость песочниц, м <sup>3</sup>	0,48	0,32	0,48	0,8
Поставщик	Германия		Чехия	НПО «ДЭВЗ»*

Технические характеристики тяговых агрегатов постоянного тока

Основные параметры	ПЭ2У	ПЭ2М	ПЭ3Т	ПЭУ1
Ширина колеи, мм	1 520			750
Номинальное напряжение, кВ	3,0/1,5			0,55
Состав локомотива	ЭУ + МД + МД		ЭУ + САП + МД	ЭУ
Осевая формула	3(2 <sub>0</sub> – 2 <sub>0</sub> )			2 <sub>0</sub> – 2 <sub>0</sub>
Сцепная масса, т	368		372	30
Грузоподъемность моторного думпкара, т	45,5	44		–
Часовой режим: мощность, кВт сила тяги, кН скорость, км/ч	5 520/2 640 663 29,5/13,9	5 460/2 57 0 694 28,9/12,5	6 480 662 30/24	252 53,8 16,9
Наибольшая скорость, км/ч	65			45
Длина по осям автосцепок, мм	51 306			10 670
Наименьший радиус кривой, м	–	80		40
Мощность автономного источника питания, кВт	–	–	1471	–
Тип тягового двигателя: напряжение, кВ часовая мощность, кВт часовой ток, А длительный ток, А	НБ406Б 1,5 460 – –	ДТ9Н 1,5 455 335 300		– – 63 – –
Вместимость песочниц, м <sup>3</sup>	0,72	0,72	0,72	–
Вместимость топливного бака, л	–	–	3 500	–

## Технические характеристики тяговых агрегатов переменного тока

Основные параметры	ОПЭ1А/ ОПЭ1АМ	ОПЭ1Б	ОПЭ2	EL10/EL20	ОПЭ1
Ширина колеи, мм	1 520				
Номинальное напряжение, кВ	10				
Состав локомотива	ЭУ + САП + МД		ЭУ + 2МД		ЭУ + САП + + МД
Осевая формула	$3(2_0 - 2_0)$				
Сцепная масса, т	372/368	372		366	360
Грузоподъемность моторного думпкара, т	44			55	45
Часовой режим: мощность, кВт сила тяги, кН скорость, км/ч	5 325 662,4 29,80		4 770 (5 367) 668 (690) 25,7 (28)		5 325 810 28,5
Наибольшая скорость, км/ч	65			50	65
Длина по осям автосцепок, мм	51 300			52 300	51 306
Наименьший радиус кривой, м	80				
Мощность автономного источника питания, кВт	1 103	1 471	–	–	1 471
Вместимость песочниц, м <sup>3</sup>	0,72			800 кг	0,72
Вместимость топливного бака, л	3 500		–	1 700 кг	3 500
Поставщик	НПО «ДЭВЗ»			Германия	НЭВЗ*

Технические характеристики универсальных полувагонов

Основные параметры	ПС-63	ПС-75	ПС-94	ПС-125	Полувагон для медной руды	ПС-69	ПС-71	ПС-129
Грузоподъемность, т	63	75	94	125	115	69	71	129
Вместимость кузова (геометрическая), м <sup>3</sup>	73	85	106	140,3	71	76	83	141
Масса тары вагона, т	22,4	25	33	46		22,5	21,3	48,4
Коэффициент тары	0,360	0,333	0,350	0,326	0,400	0,326	0,300	0,360
Число осей вагона	4		6	8		4		8
Основные размеры, мм: длина по осям автосцепок ширина высота от головки рельса	13 920 3 130 3 484	16 400 3 220 3 746	20 240 3 134 3 790	15 800 3 100 3 870	15 800 3 100 3 100	13 920 3 134 3 491	20 500 3 194 3 474	20 500 3 194 3 970
Размеры кузова внутри, мм	12 126х х2 878х х2 060	12 228х х2 964х х2 315	14 690х х2 922х х2 370	18 748х х2 846х х2 510	14 140х2 920х х1 870	12 700х х2 878х х2 060	12 700х х2 878х х2 240	–
Число разгрузочных люков	14	14	16	22	Глухой пол	14	Глухой пол	22
Изготовитель – машиностроительный завод	Крюковский				Днепродзержинский	Уральский	ПО «Азовмаш», г. Мариуполь	

Технические характеристики думпкаров

Основные параметры	6BC-60	BC-66	BC-85	2BC-105	BC-145 (модель 34-66)	BC-145 (модель 34-669)	BC-180
Грузоподъемность, т	60	66	85	105	145		180
Масса тары, т	29,04	27,72	34,85	47,25	78,01	77,87	68,4
Вместимость кузова (геометрическая), м <sup>3</sup>	26,2	35,2	38	48,5	68	50	58
Коэффициент тары	0,484	0,42	0,41	0,45	0,538	0,537	0,38
Число осей вагона	4			6	8		
Основные размеры, мм:							
ширина кузова (наружная)	3 215	3 197	3 520	3 750	3 500	3 380	3 460
высота вагона	2 680	Н. д.	3 236	3 240	3 635	3 490	3 285
длина кузова	10 000	Н. д.	10 580	13 400	Н. д.	Н. д.	16 216
Длина вагона по осям автоцепки, мм	11 830	12 450	12 170	14 900	17 630	Н. д.	17 580



# Определение весовой нормы

1) исходя из условия трогания с места на руководящем подъеме

$$Q_{\text{гр}} = P_{\text{сц}} \frac{(1000\psi_{\text{тр}} - \omega'_0 - \omega_{\text{тр}} - i_{\text{max}} - 108a)}{(\omega''_0 + \omega_{\text{тр}} + i_{\text{max}} + 108a)}, \text{ кН} \quad (1)$$

где  $P_{\text{сц}}$  – сцепной вес локомотива, кН;  $\psi_{\text{тр}}$  – коэффициент сцепления при трогании (табл. 7);  $\omega_{\text{тр}} = 2 \div 3$ , доп. сопротивление при трогании, Н/кН;  $\omega'_0$ ,  $\omega''_0$  – удельное сопротивление локомотива и вагонов соответственно, Н/кН (табл. 8);  $i_{\text{max}}$  – руководящий уклон<sup>1</sup>;  $a = 0.03 \div 0.05$  – ускорение трогания, м/с<sup>2</sup>;

2) исходя из условия равномерного установившегося движения

$$Q_{\text{гр}} = P_{\text{сц}} \frac{(1000\psi - \omega'_0 - i_{\text{max}})}{(\omega''_0 + i_{\text{max}})}, \text{ кН}$$

выбрать **минимальное** из полученных значений для определения числа  
вагонов

### Значение коэффициента $\psi$ сцепления колеса с рельсом

Условия движения	Трогание с места		Движение	
	с подсыпкой песка	без подсыпки песка	с подсыпкой песка	без подсыпки песка
Постоянный ток	0.26	0.24	0.22	0.20
Переменный ток	0.34	0.30÷0.33	0.28÷0.30	0.26

### Значение коэффициента основного удельного сопротивления

Вид подвижного состава	Локомотив	4-х осный думпкар	6, 8-ми осный думпкар	Полувагон
Осн. сопротивление	$\omega_0' = 4.0 \div 4.2$	$\omega_0'' = 3.4 \div 3.6$	$\omega_0''' = 4.3 \div 4.5$	$\omega_0'''' = 3.1 \div 3.3$

# Определение числа вагонов в составе

$$n_{\text{в}} = Q_{\text{грmin}} / (g(m_{\text{в}} + V\gamma))$$

округлить до целого в меньшую сторону

уточнить вес прицепной части в груженом и порожнем направлениях

# Определение силы тяги, скорости и силы тока

$$F_{гр} = P_{сц}(\omega'_0 \pm i_i) + Q_{фгр}(\omega''_0 \pm i_i), \text{ Н}; \quad t_{двгр} = 60l_i / v_{гр}; \quad t_{двпор} = 60l_i / v_{пор};$$

$$F_{пор} = P_{сц}(\omega'_0 \pm i_i) + Q_{фпор}(\omega''_0 \pm i_i), \text{ Н}. \quad t_{дв} = \sum t_{двгр i} + \sum t_{двпор i} + t_{рз},$$

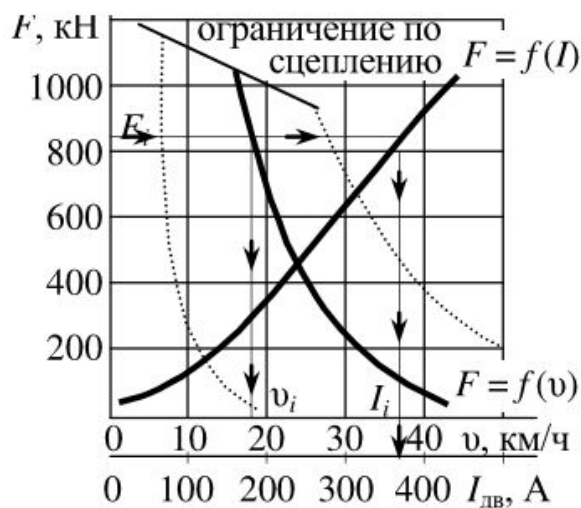


Рис. 1. Тяговая характеристика тяговых агрегатов.

Пунктир – зона регулирования.

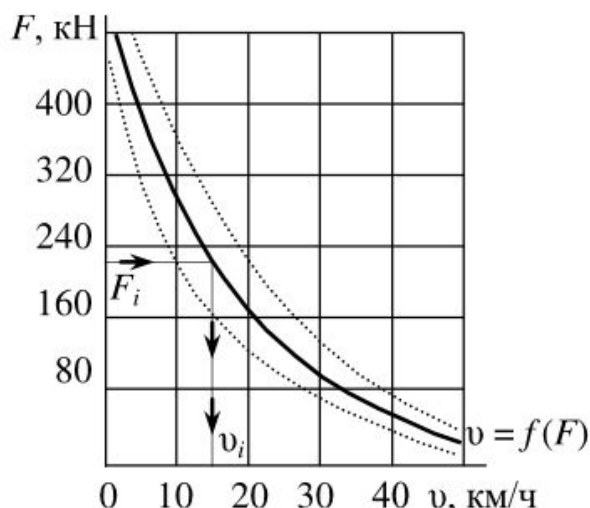


Рис. 2. Тяговая характеристика теплового.

Пунктир – зона регулирования.

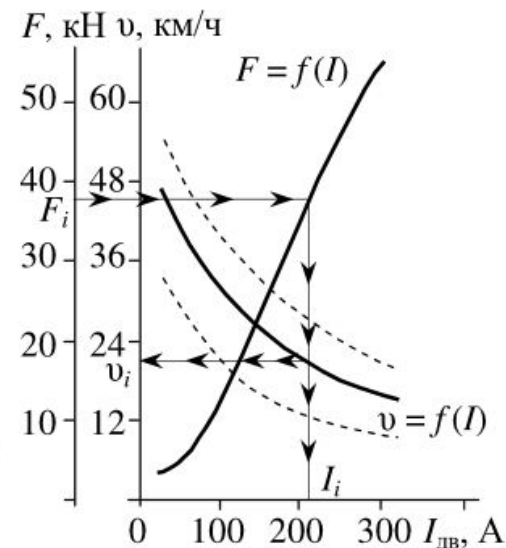


Рис. 3. Тяговая характеристика одного двигателя электроваза.

# Определение тормозного пути

$$L_T = L_{пт} + L_{д.т.}$$

не более **300** м по правилам безопасности

$$L_{пт} = \frac{1000 \cdot v_n \cdot t_{п}}{3600} = 0,278 \cdot v_n \cdot t_{п},$$

$$L_{д} = 4.17 \frac{v_n^2 - v_k^2}{b_k + \omega_0 - i_p}$$

$$\omega_0 = \frac{\omega'_0 P_{сц} + \omega''_0 Q_{пор}}{P_{сц} + Q_{пор}}$$

$$b_k = \frac{1000 \varphi_k \sum K}{P_{сц} + Q_{пор}}$$

где  $L_{д}$  – действительный тормозной путь, м;  $L_{пт}$  – предтормозной путь, м;  $v_n, v_k$ , км/ч – начальная (на постоянных путях разрешена 40 км/ч) и конечная скорость процесса торможения соответственно;  $i_p$ , ‰ – самый тяжелый уклон на трассе для торможения<sup>2</sup>;  $\sum K$  – суммарная сила прижатия колодок на всех осях в поезде, количество осей берется из характеристики вагонов и локомотивов.

Значения сил нажатия тормозных колодок на колеса

Подвижной состав	Действительные нажатия, кН, при давлении в тормозном цилиндре, МПа			
	0,4		0,14	
	<i>K</i>	$\Sigma K$	<i>K</i>	$\Sigma K$
Электровозы с осевой формулой $2_0 + 2_0 + 2_0$ и тепловозы с осевой формулой $3_0 - 3_0$	69	828	20	240
Электровозы с осевой формулой $2_0 + 2_0$ или $2_0 - 2_0$	69	552	20	160
Тепловозы с осевой формулой $(2_0 + 2_0) - (2_0 + 2_0)$	69	1 104	20	320
Тяговые агрегаты	43/19	2 064/912	12/5	576/240
Вагоны:				
четырёхосные	37/24	296/192	11/5	88/72
шестиосные	35	420	11	132
восьмиосные	38/22	608/352	12/7	192/112

Примечание. В числителе приведены данные для чугунных колодок, в знаменателе – для композиционных.

# Проверка двигателей на нагрев

$$I_{\text{эф}} = \alpha \sqrt{\frac{\sum(I_{\text{гр}}^2 t_{\text{гри}}) + \sum(I_{\text{пор}}^2 t_{\text{пори}})}{T_{\text{цикл}}}} \leq I_{\text{дл}}; \quad (8)$$

$$T_{\text{цикл}} = n_{\text{в}}(n_{\text{к}} t_{\text{цэ}} + 60) + \sum t_{\text{гри}} + \sum t_{\text{пори}} + t_{\text{рз}} + 300; \quad (9)$$

где  $T_{\text{цикл}}$  – время цикла состава, сек;  $n_{\text{к}}$  – количество черпаний для загрузки вагона (округленное до целого потребное количество ковшей);  $t_{\text{цэ}} = (23 \dots 40)$  – время цикла экскаватора, сек; 60 – среднее время передвижки состава на погрузочной площадке для постановки пустого вагона под погрузку, сек;  $t_{\text{рз}} = 180$  сек – время на разгоны и замедление поезда;  $t_{\text{гри}}, t_{\text{пори}}, c$  – время прохождения каждого участка в груженом и порожнем направлении соответственно; 300 – время различных задержек в пути, сек;  $I_{\text{гр}}, t_{\text{гр}} (I_{\text{пор}}, t_{\text{пор}})$  – ток в обмотках (рис. 3) и время движения по каждому участку трассы в груженом (порожном) направлении.

# Определение расхода энергии

$$A = (A_{\text{в}} + A_{\text{н}})k_{\text{с}}k_{\text{м}}k_{\text{кС}}, \text{ МДж};$$

$$A_{\text{в}} = [(\omega_0 / 1000)(P_{\text{лок}} + Q_{\text{фгр}})L_{\text{гр}}] + [(P_{\text{лок}} + Q_{\text{фгр}})H], \text{ МДж};$$

$$A_{\text{н}} = [(\omega_0 / 1000)(P_{\text{лок}} + Q_{\text{фпор}})L_{\text{пор}}] - [(P_{\text{лок}} + Q_{\text{фпор}})H], \text{ МДж};$$

где  $k_{\text{с}} = 1.15 \div 1.2$  – потери энергии на собственные нужды;  $k_{\text{м}} = 1.1 \div 1.3$  – расход энергии на маневры;  $k_{\text{кС}} = 1.05 \div 1.08$  – потери энергии в контактной сети и тяговой подстанции;  $A_{\text{в}}$  и  $A_{\text{н}}$  – работа на движение вверх (в груженом) и вниз (в порожнем) направлении соответственно, МДж;  $\omega_0$  – средневзвешенное сопротивление движению (7), Н/кН;  $P_{\text{лок}}$ , кН – вес локомотива;  $Q_{\text{фгр}}$  и  $Q_{\text{фпор}}$ , кН – вес прицепной части в груженом и порожнем направлении;  $L_{\text{гр}}$  и  $L_{\text{пор}}$  – длина пути поезда в груженом порожнем направлении, км;  $H$ , м – высота между точкой погрузки и разгрузки.

$$E_{\text{рейс}} = A / 3.6, \text{ кВтч/рейс};$$



# Эксплуатационный расчет

**Цель расчета:** определение рабочих и инвентарных парков ЛОКОМОТИВОВ И ВАГОНОВ

**Порядок расчета:**

1) определение времени рейса поезда;

$$Q_{\text{лс}} = \frac{60T_{\text{см}}}{T_{\text{р}}} n \cdot q,$$

2) определение сменной производительности поезда;

3) расчет рабочего и инвентарного парков локомотивов и вагонов;

$$N_{\text{л.инв}} = N_{\text{раб}} + N_{\text{рем}} + N_{\text{рез}} + N_{\text{хоз}}, \quad N_{\text{раб}} = K_{\text{н.д}} \frac{Q_{\text{см}}}{Q_{\text{лс}}}, \quad N_{\text{в.раб}} = n \cdot N_{\text{раб}}$$

$$N_{\text{рем}} = 0,15 N_{\text{раб}}; \quad N_{\text{рез}} = (0,05-0,10)N_{\text{раб}}; \quad N_{\text{хоз}} = 2-3. \quad N_{\text{в.инв}} = K_{\text{инв}} \cdot N_{\text{в.раб}}$$

4) определение пропускной и провозной способности железнодорожных перегонов;

$$N = \frac{30 \cdot T_{\text{см}} \cdot n_{\text{п}}}{t_{\text{дв}} + \tau} \quad M = \frac{N}{K_{\text{рез}}} \cdot n \cdot q.$$

5) построение графика движения поездов.

