

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

ЧАСТЬ 2

*Методические указания к практическим
работам для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра транспортно-технологических процессов и машин

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

ЧАСТЬ 2

*Методические указания к практическим
работам для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020

УДК 656(073)

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ, ЧАСТЬ 2: Методические указания для выполнения практических работ/ Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *М.А. Васильева, Р.Б. Кускильдин*. СПб, 2020. 51 с.

В методических указаниях изложены основы расчета горных транспортных машин и примеры расчета.

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело», специализаций «Горнопромышленная экология», «Горные машины и оборудование», «Транспортные системы горного производства», «Технологическая безопасность и горноспасательное дело».

Научный редактор проф. *А.С. Афанасьев*

Рецензент канд. техн. наук *В.П. Пироженко* (Научно-производственная компания «Провита»)

Санкт-Петербургский
горный университет, 2020

Введение

Транспортирование грузов на карьерах и угольных разрезах является основным технологическим процессом добычи полезного ископаемого. На его долю приходится 50-60 % общих затрат на ведение горных работ.

Особенностями работы карьерного транспорта являются:

- постоянное изменение местоположения пунктов погрузки (а иногда и пунктов разгрузки), что значительно усложняет организацию управления транспортным потоком;

- необходимость соответствия основных конструктивных параметров транспортных машин основным конструктивным параметрам выемочно-погрузочного оборудования;

- необходимость преодоления подъемов и спусков при значительных массах машин, что обуславливает повышенные требования к их тягово-динамическим качествам сложные горнотехнические условия.

Машины, входящие в структуру транспортного парка предприятия, должны обеспечивать заданную производительность, высокую надежность, минимальный уровень затрат на транспортирование грузов, безопасность перевозок, низкий уровень вредного воздействия на окружающую среду.

В методических указаниях приведены методики и примеры расчетов железнодорожного и автомобильного транспорта, как наиболее часто используемого в транспортных системах карьеров. Правильно выполненные расчеты позволяют осуществить выбор типа машины и оборудования и определить их количество для заданных условий транспортирования груза.

Раздел 1. Расчет электровозного транспорта

Исходными данными к расчету являются: годовая производительность карьера; параметры, характеризующие режим работы предприятия; физико-механические свойства транспортируемых грузов; план и продольный профиль расчетной трассы; технико-экономические показатели работы транспорта на предприятии.

Расчет электровозного транспорта состоит из двух разделов: тягового и эксплуатационного.

1.1 Тяговый расчет

Целью тягового расчета является выбор подвижного состава (типа электровоза и вагонов) для заданных условий транспортирования груза.

Тяговый расчет включает:

- 1) предварительный выбор подвижного состава;
- 2) определение массовой нормы поезда;
- 3) определение скорости и времени движения поезда;
- 4) расчет тормозного пути;
- 5) проверку тяговых электродвигателей на нагревание;
- 6) определение расхода электроэнергии.

Предварительный выбор подвижного состава и вагонов

Рекомендуемые значения сцепной массы локомотива, грузоподъемности вагона и вместимости ковша экскаватора соответствии с годовой производительностью карьера приведены в таблице 1.1.

Для глубоких карьеров большой производительности рекомендуется использовать электровозы на постоянном токе напряжением 3000 В и на переменном токе 10-25 кВ. При этом если глубина карьера превышает 150 м следует ориентироваться на использование тяговых агрегатов со сцепной массой 360-372 т.

Таблица № 1.1

Рекомендуемый характеристики подвижного состава

А, млн. т	Сцепная масса локомотива, т	Грузоподъемность вагона, т	Вместимость ковша экскаватора, м ³
<20	≤100	60-65	4-5
20-40	100-120	65-85	5-6,3
40-60	100-150	85-105	6,3-8
60-80	150-180	105-136	8-10
80-100	180-372	136-165	10-15
>100	360-372	165-180	15-20

Выбор типа вагона производится с учетом физико-механических свойств транспортируемых грузов и применяемого выемочно-погрузочного оборудования.

Для транспортирования угля в основном используются универсальные полувагоны (табл. 1.5). На рудных месторождениях используются думпкары (табл. 1.6).

При выборе типа вагона в зависимости от типа применяемого выемочно-погрузочного оборудования сначала определяют фактическое количество ковшей экскаватора, загружаемых в кузов вагона (округляется до целого):

$$n_{\phi} = \frac{q}{V_{\kappa} \cdot \gamma}, \quad (1.1)$$

где q – грузоподъемность вагона, т; V_{κ} – вместимость ковша экскаватора, м³; γ – насыпная плотность груза, т/м³.

Таблица № 1.2

Технические характеристики карьерных электровозов

Основные параметры	EL1	EL2	26E2M	Д-94
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 ³	0,48	0,32	0,48	0,8

Таблица № 1.3

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+ДС+МД	ЭУ
Осевая формула	3(2 ₀ – 2 ₀)			2 ₀ – 2 ₀
Сцепная масса, т	368		372	30
Грузоподъемность моторного думпкара, т	45,5	44		–
Часовой режим:				
мощность, кВт	5520/2640	5460/2570	6480	252
сила тяги, кН	663	694	662	53,8
скорость, км/ч	29,5/13,9	28,9/12,5	30/24	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:	НБ406Б	ДТ9Н		–
напряжение, кВ	1,5	1,5		–
часовая мощность, кВт	460	455		63
часовой ток, А	–	335		–
длительный ток, А	–	300		–
Вместимость песочниц, м ³	0,72	0,72	0,72	–
Вместимость топливного бака, л	–	–	3 500	–

Таблица №1.4

Технические характеристики тяговых агрегатов переменного тока

Основные параметры	ОПЭ1А/ ОПЭ1АМ	ОПЭ1Б	ОПЭ 2	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		360
Грузоподъемность моторного думпкара, т	44			45
Часовой режим:				
мощность, кВт	5325			5325
сила тяги, кН	662,4			810
скорость, км/ч	29,8			28,5
Наибольшая скорость, км/ч	65			
Длина по осям автосцепок, мм	51 300			51306
Наименьший радиус кривой, м	80			
Мощность автономного источника питания, кВт	1103	1471	-	1471
Вместимость песочниц, м ³	0,72			
Вместимость топливного бака, л	3 500	3 500	-	3 500

Таблица №1.5

Технические характеристики универсальных полувагонов

Основные параметры	ПС-63	ПС-75	ПС-94	ПС-125	Полувагон		ПС-69	ПС-129
					для медной руды			
Грузоподъёмность, т	63	75	94	125	115		69	129
Вместимость кузова (геометрическая), м ³	73	85	106	140,3	71		76	141
Масса тары вагона, т	22,4	25	33	46			22,5	48,4
Коэффициент тары	0,360	0,333	0,350	0,326	0,400		0,326	0,360
Число осей вагона	4		6	8			4	8
Длина по осям автосцепок	13920		16 400	20 240	15 800		13920	20 500
Число разгрузочных люков	14		16	22	Глухой пол		14	22

Таблица №1.6

Технические характеристики думпкаров

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

Затем проводят расчет фактической грузоподъемности вагона q_{ϕ} , т, по формуле,

$$q_{\phi} = n_{\phi} \cdot V_{\kappa} \cdot \gamma, \quad (1.2)$$

Далее определяется коэффициент использования грузоподъемности вагона:

$$K_q = \frac{q_{\phi}}{q}, \quad (1.3)$$

Данные расчеты производят для 2–3 вагонов при одном типе экскаватора и выбирают для дальнейших расчетов тот вагон, который имеет K_q , наиболее близкий к единице.

Определение массовой нормы поезда. Массовая норма поезда $M_{пр}$, т устанавливается из условия его равномерного движения по руководящему уклону:

$$M_{пр} = \frac{M_{сц} \cdot (1000 \cdot g \cdot \psi - \omega'_0 - g \cdot i_p)}{\omega''_0 + g \cdot i_p}, \quad (1.4)$$

где $M_{сц}$ – сцепная масса локомотива, т; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; ψ – коэффициент сцепления колеса локомотива с рельсом в процессе движения (табл.1.6); ω'_0 , ω''_0 – удельное основное сопротивление движению, соответственно, локомотива и вагона, Н/т; i_p – величина руководящего уклона, ‰.

Таблица №1.7

Значения коэффициента сцепления колеса локомотива с рельсом

Способ соединения двигателей	Коэффициент сцепления	
	при движении	при трогании с места
Последовательно-параллельное при ступенчатом регулировании скорости (EL2, EL1, 21E, 26E, ПЭ2М)	0,22 – 0,24	0,28 – 0,30
Параллельное при ступенчатом регулировании скорости (Д94, Д100М, ОПЭ1)	0,25 – 0,27	0,32 – 0,34
Параллельное при плавном регулировании скорости (ОПЭ2, ПЭ3Т, EL10)	0,27 – 0,29	0,34 – 0,36

При подсыпке песка под движущие колеса значение коэффициента сцепления следует увеличить на 10 – 15 %.

Удельное основное сопротивление движению, ω'_0 и ω''_0 , зависит от конструкции путей и скорости движения поезда. Учитывая, что сопротивление груженого состава определяется на постоянных путях, руководящем уклоне 25-40%, при скорости движения поезда $v = 12 - 15$ км/ч, значения ω'_0 и ω''_0 , ориентировочно можно принять по таблице

Значения удельного сопротивления для вагонов

Вид подвижного состава	ω''_0
4 – осные думпкары	34-36
6-8 – осные думпкары	43 -45
Полувагоны	31-33

Вычисленную по формуле (4) массу прицепного состава проверяют по условию трогания поезда с места:

$$M_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{сц}} \cdot (1000 \cdot g \cdot \psi_{\text{тр}} - \omega_0' \cdot \omega_{\text{тр}} - g \cdot i_{\text{тр}} - 1080 \cdot a)}{\omega_0'' + \omega_{\text{тр}} + g \cdot i_{\text{тр}} + 1080 \cdot a}, \quad (1.5)$$

где $\psi_{\text{тр}}$ – коэффициент сцепления колеса локомотива с рельсом при трогании поезда с места; $\omega_{\text{тр}}$ – дополнительное удельное сопротивление при трогании поезда с места, $\omega_{\text{тр}} = 40-70$ Н/т; $i_{\text{тр}}$ – величина уклона участка, на котором поезд трогается с места, ‰; a – ускорение поезда при трогании с места, $a = 0,05$ м/с².

Из двух значений $M_{\text{пр}}$ для дальнейших расчетов принимают меньшее, по которому определяется число вагонов в составе:

$$n = \frac{M_{\text{пр}}}{q + q_{\text{T}}} = \frac{M_{\text{пр}}}{q \cdot (1 + K_{\text{T}})}, \quad (1.6)$$

где q , q_{T} – соответственно, грузоподъемность и собственная масса вагона, т; K_{T} – коэффициент тары вагона. Полученное значение n округляют в меньшую сторону и производят пересчет значения $M_{\text{пр}}$.

Определение значений скорости и времени движения поезда. Сначала на каждом участке трассы в грузовом и порожняковом направлениях определяют значения силы тяги локомотива по формуле

$$F = M_{\text{сц}} \cdot (\omega_0' \pm g \cdot i + \omega_R) + M_{\text{пр}} \cdot (\omega_0'' \pm g \cdot i + \omega_R), \quad (1.7)$$

где i – величина уклона на соответствующем участке трассы, ‰, знак «+» - при движении на подъем; знак «-» - при движении на

спуск; ω_R —удельное сопротивление движению поезда на криволинейных участках трассы, Н/т.

При радиусе кривой $R < 300$ м значение ω_R рассчитывают по формуле:

$$\omega_R = \frac{9000}{100 + R}, \quad (1.8)$$

при радиусе кривой $R \geq 300$ м по формуле

$$\omega_R = \frac{7000}{R}, \quad (1.9)$$

При движении в порожняковом направлении масса прицепной части поезда принимается равной $n \cdot q_T$.

Максимальное значение силы тяги локомотива необходимо проверить по условию сцепления колеса с рельсом:

$$F_{\max} \leq 1000 \cdot M_{\text{сц}} \cdot g \cdot \psi. \quad (1.10)$$

Если данное условие не выполняется, то следует уменьшить число вагонов в составе и пересчитать массу прицепной части поезда, воспользовавшись формулой (1.7) таким образом, чтобы условие выполнялось.

По полученным значениям силы тяги, пользуясь электромеханической или тяговой характеристикой выбранного локомотива, находят значения скорости движения и тока двигателя поезда на каждом участке. В ряде случаев можно пользоваться универсальной электромеханической характеристикой электровозов. На участках, где значения F отрицательны (т.е. действует тормозная сила B), скорость принимается равной 30-40 км/ч или по условию безопасности движения поезда, а ток $I = 0$.

По полученным значениям скорости v_i на каждом участке трассы в грузовом и порожняковом направлениях определяют значения времени движения поезда t , мин:

$$t = \frac{3,6 \cdot l_i}{60 \cdot v_i}, \quad (1.11)$$

где l_i — длина данного участка, м.

Общее время движения рассчитывают по формуле

$$t_{\text{дв}} = \Sigma t_{\text{гр}} + \Sigma t_{\text{пор}} + \Sigma t_{\text{р.з}} \quad (1.12)$$

где $\Sigma t_{\text{гр}}$, $\Sigma t_{\text{пор}}$ – общее время движения, соответственно, в грузовом и порожняковом направлениях, мин; $t_{\text{р.з}}$ – поправка, вводимая в случаях остановок поезда на раздельных пунктах и составляющая 2 мин на каждый разгон и 1 мин на каждое замедление.

Расчет тормозного пути поезда. Полный тормозной путь L_T , м, складывается из предтормозного пути $L_{\text{пт}}$ и действительного тормозного пути $L_{\text{д.т}}$:

$$L_T = L_{\text{пт}} + L_{\text{д.т}} \quad (1.13)$$

Предтормозной путь при движении поезда по участкам трассы с уклоном до 20 ‰ определяют по формуле

$$L_{\text{пт}} = \frac{1000 \cdot v_{\text{н}} \cdot t_{\text{п}}}{3600} = 0,278 \cdot v_{\text{н}} \cdot t_{\text{п}}, \quad (1.14)$$

а при уклоне более 20‰ – по формуле

$$L_{\text{пт}} = 0,278 \cdot v_{\text{н}} \cdot t_{\text{п}} + 4,62 \cdot 10^4 \cdot (g \cdot i \cdot \omega_0) \cdot t_{\text{п}}^2, \quad (1.15)$$

где $v_{\text{н}}$ – скорость движения поезда в начале торможения, км/ч; $t_{\text{п}}$ – время приведения тормозов в действие, с; I – величина уклона на участке, ‰; ω_0 – удельное основное сопротивление движению всего поезда, Н/т,

$$\omega_0 = \frac{\omega'_0 \cdot M_{\text{сц}} + \omega''_0 \cdot M_{\text{пр}}}{M_{\text{сц}} + M_{\text{пр}}}.$$

Время приведения тормозов в действие при использовании пневматических тормозов составляет 4–5 с, при использовании электропневматических тормозов – 0,5 с.

Действительный тормозной путь определяют по формуле

$$L_{\text{д.т}} = \frac{41,6 \cdot (v_{\text{н}}^2 - v_{\text{к}}^2)}{b_{\text{к}} + \omega_0 \pm g \cdot i}, \quad (1.16)$$

где v_k – скорость движения поезда в конце торможения, км/ч;
 b_k – удельная тормозная сила поезда, Н/т,

$$b_k = 1000 \cdot \varphi_k \cdot \frac{\sum K}{M_{\text{сц}} + M_{\text{пр}}}, \quad (1.17)$$

φ_k – действительный коэффициент трения тормозной колодки о колесо:

- для чугунных стандартных колодок:

$$\varphi_k = 0,78 \cdot \frac{16K + 100g}{80K + 100g} \cdot \frac{100}{3,18 \cdot v + 100}; \quad (1.18)$$

- для композиционных колодок:

$$\varphi_k = 0,603 \cdot \frac{5K + 100g}{20K + 100g} \cdot \frac{100}{1,4 \cdot v + 100}; \quad (1.19)$$

K – сила нажатия тормозной колодки на колесо (табл.1.8), кН;
 ΣK – суммарная сила нажатия всех тормозных колодок на колеса поезда, кН.

Суммарная сила нажатия всех тормозных колодок на колеса поезда ΣK , кН, складывается из суммарной силы нажатия тормозных колодок на колеса всех вагонов в составе:

$$\sum K = \sum K_{\text{лок}} + n \cdot \sum K_{\text{ваг}}. \quad (1.20)$$

Общая длина тормозного пути для карьерных условий не должна превышать 300 м, в противном случае следует уменьшить скорость движения на данных участках трассы.

Проверка тяговых электродвигателей на нагревание.

Цель проверки – убедиться, что мощность двигателей принятого локомотива достаточна для данных условий работы.

Проверка производится по значению эффективного тока $I_{\text{эф}}$, А:

$$I_{\text{эф}} = \alpha \cdot \sqrt{\frac{\sum (I_i^2 \cdot t_i)}{t_{\text{дв}}}}, \quad (1.21)$$

где α – коэффициент, учитывающий нагревание двигателей в процессе погрузки и разгрузки состава, а также при маневрах $\alpha=1,05 - 1,10$; I_i – ток двигателя на i -м участке пути, А; $t_{дв}$ – время движения по i -му участку пути, мин.

Двигатели не перегреваются при следующем условии:

$$I_{эф} \leq K_3 \cdot I_{дл}, \quad (1.22)$$

где K_3 – коэффициент запаса, учитывающий увеличение температуры двигателя в отдельные периоды с большими нагрузками, $K_3=1,1-1,2$; $I_{дл}$ – длительный ток двигателя (см. табл. 1.2, табл. 1.3), А.

Если данное условие не выполняется, то необходимо либо выбрать более мощный локомотив, либо уменьшить число вагонов в составе.

Таблица №1.9

Значения сил нажатия тормозных колодок на колеса

Подвижной состав	Действительные нажатия, кН, при давлении в тормозном цилиндре, МПа			
	0,4		0,14	
	К	ΣК	К	ΣК
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	$\frac{2}{064/912}$	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

Определение расхода электроэнергии. Общий расход электроэнергии $A_{\text{общ}}$, кВт·ч, за один рейс локомотивосостава рассчитывают по формуле

$$A_{\text{общ}} = A_{\text{дв}} + A_{\text{с}} + A_{\text{м}}, \quad (1.23)$$

где $A_{\text{дв}}$ – расход электроэнергии на движение поезда, кВт·ч,

$$A_{\text{дв}} = \frac{\sum (I_i \cdot t_i)}{60 \cdot 1000} \cdot U_{\text{ср}}, \quad (1.24)$$

$U_{\text{ср}}$ – средняя величина напряжения в контактной сети, В; $A_{\text{с}}$ – расход электроэнергии на собственные нужды, кВт·ч, ориентировочно можно принять $A_{\text{с}} = (0,05-0,10)A_{\text{дв}}$; $A_{\text{м}}$ – расход электроэнергии на маневры - $A_{\text{м}} = (0,10-0,20)A_{\text{дв}}$.

По результатам проведенного тягового расчета окончательно выбирается подвижной состав железнодорожного транспорта.

1.2 Эксплуатационный расчет

Целью эксплуатационного расчета является определение рабочего и инвентарного парков локомотивов и вагонов.

Эксплуатационный расчет предусматривает:

- 1) определение времени рейса и производительности одного локомотивосостава;
- 2) расчет локомотивного и вагонного парков;
- 3) определение пропускной и провозной способности карьерных железнодорожных перегонов.

После выполнения эксплуатационного расчета производится построение графика движения поездов.

Определения времени рейса локомотивосостава. Время рейса локомотивосостава $T_{\text{р}}$, мин, рассчитывают по формуле

$$T_{\text{р}} = t_{\text{п}} + t_{\text{дв}} + t_{\text{р}} + t_{\text{доп}}, \quad (1.25)$$

где $t_{\text{п}}$ – время погрузки вагонов, мин; $t_{\text{р}}$ – время разгрузки состава, мин; $t_{\text{доп}}$ – дополнительное время, затрачиваемое на маневры, мин.

Для одноковшовых экскаваторов время погрузки вагонов вычисляют по выражению:

$$t_{\text{ц}} = \frac{n \cdot q \cdot t_{\text{ц}}}{V_{\text{к}} \cdot \gamma \cdot K_{\text{э}}}, \quad (1.26)$$

здесь $t_{\text{ц}}$ – время цикла экскаватора, мин; $V_{\text{к}}$ – вместимость ковша экскаватора, м³; γ – насыпная плотность груза, т/м³; $K_{\text{э}}$ – коэффициент экскавации, $K_{\text{э}}=0,75-0,6$ – для скальных и полускальных пород.

Для многоковшовых экскаваторов:

$$t_{\text{ц}} = \frac{n \cdot q \cdot 60}{Q_{\text{э}} \cdot \gamma \cdot K_{\text{н}}}, \quad (1.27)$$

где $Q_{\text{э}}$ – техническая производительность экскаватора, м³/ч; $K_{\text{н}}$ – коэффициент использования экскаватора во времени, $K_{\text{н}} = 0,72-0,80$.

Время разгрузки $t_{\text{р}}$ зависит от числа вагонов в составе и времени разгрузки каждого вагона $t_{\text{р.в}}$ ($t_{\text{р}}=n \cdot t_{\text{р.в}}$). При одновременной разгрузке вагонов $t_{\text{р}}=t_{\text{р.в}}$, при попарной $t_{\text{р}} = \frac{n}{2} \cdot t_{\text{р.в}}$. В летних условиях время разгрузки каждого вагона составляет 1,5–2 мин, в зимних – 3–5 мин.

Время на маневры $t_{\text{доп}}$ определяется схемой путевого развития и способом связи между отдельными пунктами. Для расчетов рекомендуется принимать эту величину в пределах 5–10 мин.

Определение производительности одного локомотивосостава. Сменную производительности локомотивосостава $Q_{\text{л.с}}$, т, вычисляют по формуле

$$Q_{\text{л.с}} = \frac{60 \cdot T_{\text{см}}}{T_{\text{р}}} \cdot n \cdot q, \quad (1.28)$$

где $T_{\text{см}}$ – производительность смены, ч.

Расчет локомотивного и вагонного парков. Инвентарный парк локомотивов, необходимый для работы карьера с заданным объемом перевозок, определяют по выражению

$$N_{\text{л.инв}} = N_{\text{раб}} + N_{\text{рем}} + N_{\text{рез}} + N_{\text{хоз}}, \quad (1.29)$$

где $N_{\text{раб}}$, $N_{\text{рем}}$, $N_{\text{рез}}$, $N_{\text{хоз}}$ – число локомотивов, занятых, соответственно, на поездной работе по перевозке горной массы, находящихся в ремонте, в резерве и занятых на хозяйственных работах.

Для определения $N_{\text{раб}}$ сначала находят грузооборот карьера в смену $Q_{\text{см}}$, т:

$$Q_{\text{см}} = \frac{A \cdot K_{\text{н.р}}}{n_{\text{раб}} \cdot n_{\text{см}}}, \quad (1.30)$$

где A – годовая производительность карьера, т; $K_{\text{н.р}}$ – коэффициент неравномерности работы карьера, $K_{\text{н.р}} = 1,1-1,2$; $n_{\text{раб}}$ – число рабочих дней в году; $n_{\text{см}}$ – число смен в сутки.

Тогда

$$N_{\text{раб}} = K_{\text{н.д}} \frac{Q_{\text{см}}}{Q_{\text{лс}}}, \quad (1.31)$$

где $K_{\text{н.д}}$ – коэффициент неравномерности движения поездов, $K_{\text{н.д}} = 1,25$.

По практическим данным количество локомотивов, находящихся в ремонте, резерве и занятых на хозяйственных нуждах можно принять

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

Количество рабочих вагонов рассчитывают по выражению

$$N_{\text{в.раб}} = n \cdot N_{\text{раб}} \quad (1.32)$$

Инвентарный парк вагонов рассчитывают по выражению

$$N_{\text{в.инв}} = K_{\text{инв}} \cdot N_{\text{в.раб}}, \quad (1.33)$$

где $K_{\text{инв}}$ – коэффициент, учитывающий вагоны, находящиеся в ремонте, резерве и пр., $K_{\text{инв}} = 1,25-1,30$.

Определение пропускной и провозной способности карьерных железнодорожных перегонов. Пропускную способность железнодорожного перегона N , пар поездов/смену, рассчитывают по формуле:

$$N = \frac{30 \cdot T_{\text{см}} \cdot n_n}{t_{\text{дв}} + \tau}, \quad (1.34)$$

где n_n – число путей на перегоне (1 или 2); τ – время на связь между отдельными пунктами, ограничивающими железнодорожный перегон, мин. При телефонном способе связи $\tau = 3-4$ мин; при радиосвязи $\tau = 1-2$ мин; при электрожелезнодорожной связи $\tau = 0,5$ мин; при полуавтоматической блокировке $\tau = 0,1$ мин; при автоблокировке $\tau = 0$.

Провозную способность железнодорожного перегона M , т/смену, определяют по формуле

$$M = \frac{N}{K_{\text{рез}}} \cdot n \cdot q, \quad (1.35)$$

где $K_{\text{рез}}$ – коэффициент резерва провозной способности, $K_{\text{рез}} = 1,1-1,2$.

Построение графика движения поездов. График движения поездов представляет собой масштабную сетку, на которой условно прямыми наклонными линиями изображается движение каждого поезда. Горизонтальные линии сетки графика соответствуют осям отдельных пунктов, вертикальные линии – часовым полосам с подразделением на десятиминутные интервалы.

Для составления графика движения устанавливаются следующие основные элементы:

- время погрузки и разгрузки состава каждым экскаватором;
- время движения поезда на отдельных участках трассы;
- время, затрачиваемое на маневры;
- приемная способность каждого отвала.

1.3 Пример расчета

Выполнить тяговый и эксплуатационный расчеты локомотивосостава, движущегося по трассе (рис.1.1), при следующих исходных данных:

- годовая производительность карьера $A = 10$ млн.т;
- коэффициент неравномерности работы карьера $K_{н.р} = 1,1$;
- число рабочих дней в году $n_{\text{раб}} = 305$;

- число смен в сутки $n_{см} = 3$;
- продолжительность смены $T_{см} = 8$ ч;
- тип локомотива – электровоз 26Е;
- тип вагона – думпкар 2ВС-105;
- тип выемочно-погрузочного оборудования – экскаватор ЭКГ-10;
- насыпная плотность транспортируемого груза $\gamma = 2$ т/м³; породы полускальные;
- число путей на перегоне $N_{п} = 2$.

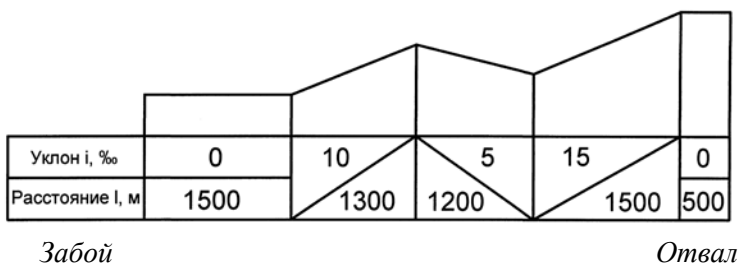


Рис. 1.1 Продольный профиль расчетной трассы

1. Массовую норму поезда при его движении по руководящему уклону определяем по формуле

$$M_{пр} = \frac{M_{сц} \cdot (1000 \cdot g \cdot \psi - \omega'_0 - g \cdot i_p)}{\omega''_0 + g \cdot i_p} = \frac{180 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 0,23 - 51 - 9,81 \cdot 15)}{47,5 + 9,81 \cdot 15} = 1903,$$

т

где $\psi=0,23$; $i_p=15$ % – максимальный уклон на трассе;

$$\omega'_0 = 28 + 0,8 \cdot v_4 = 28 + 0,8 \cdot 28,7 = 51,0 \text{ Н/т};$$

$$\omega'_0 = 36 + 0,4 \cdot v_4 = 36 + 0,4 \cdot 28,7 = 47,5, \text{ Н/т};$$

2. Массовую норму поезда по условию его трогания с места рассчитываем по формуле

$$M_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{сц}} \cdot (1000 \cdot g \cdot \psi_{\text{тр}} - \omega_0' - \omega_{\text{тр}} - g \cdot i_{\text{тр}} - 1080 \cdot a)}{\omega_0'' + \omega_{\text{тр}} + g \cdot i_{\text{тр}} + 1080 \cdot a} =$$

$$= \frac{180 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 0,3 - 51 - 50 - 9,81 \cdot 15 - 1080 \cdot 0,05)}{51 + 50 + 9,81 \cdot 15 + 1080 \cdot 0,05} = 1655 \text{ т}$$

где $\psi=0,3$;

Для дальнейших расчетов принимаем $M_{\text{пр}}=1655 \text{ т}$

3. Число вагонов в составе находим следующим образом:

$$n = \frac{M_{\text{пр}}}{q + q_{\text{т}}} = \frac{1655}{105 + 47,25} = 10,8.$$

Принимаем $n = 10$, тогда масса прицепной части поезда составит:

$$\text{с грузом } M_{\text{пр}} = n \cdot (q + q_{\text{т}}) = 10 \cdot (105 + 47,25) = 1522 \text{ т}$$

$$\text{без груза } M_{\text{пр}} = n \cdot q_{\text{т}} = 10 \cdot 47,25 = 472,5 \text{ т}$$

4. Определяем значение силы тяги (тормозной силы) локомотива, скорости и времени движения поезда на одном участке расчетной трассы в грузовом и порожняковом направлениях.

На первом участке:

$$F_{\text{тр}} = M_{\text{сц}} \cdot (\omega_0' + g \cdot i) + M_{\text{пр}} (\omega_0'' + g \cdot i_l) =$$

$$= 180 \cdot (51 + 9,81 \cdot 0) + 1522 \cdot (47,5 + 9,81 \cdot 0) = 90655 \text{ Н} = 90,7 \text{ кН}$$

$$F_{\text{пор}} = M_{\text{сц}} \cdot (\omega_0' + g \cdot i) + M_{\text{пр}} (\omega_0'' + g \cdot i_l) =$$

$$= 180 \cdot (51 + 9,81 \cdot 0) + 472,5 \cdot (47,5 + 9,81 \cdot 0) = 31623 \text{ Н} = 31,7 \text{ кН}$$

По универсальной электромеханической характеристике вычисляем значения скоростей и токов двигателя на первом участке определяем значения скоростей и токов двигателя на 1-м участке:

$$I_{\text{тр1}} = 109 \text{ А}; v_{\text{тр}} = 52 \text{ км/ч}$$

(ограничиваем по условию безопасности движения поезда $v_{\text{тр1}} = 40 \text{ км/ч}$);

$$I_{\text{пор}} = 41 \text{ А}; v_{\text{пор}} = 40 \text{ км/ч};$$

Время движения поезда на 1-м участке составит:

в грузовом направлении

$$t_{гр1} = \frac{3,6 \cdot l_1}{60 \cdot v_{гр1}} = \frac{3,6 \cdot 1500}{60 \cdot 40} = 2,25 \text{ мин}$$

в порожняковом направлении

$$t_{пор1} = 2,25 \text{ мин т.к } v_{гр1} = v_{пор} = 40 \text{ км/ч;}$$

Результаты расчетов по всем участкам представлены в виде таблицы

Таблица №1.10

Результаты тягового расчета

Участок	Расчет тягового усилия	F_i , кН	I , А	v_i , км/ч	t_i , мин
Грузовое направление					
1	$M_{сц} \cdot \omega'_0 + M_{пр} \cdot \omega''_0 = 180 \cdot 51 + 1522 \cdot 47,5$	90,6	109	40	2,25
2	$M_{сц} \cdot (\omega'_0 + g \cdot i_2) + M_{пр} \cdot (\omega''_0 + g \cdot i_2) = 180 \cdot (51 + 9,81 \cdot 10) + 1522 \cdot (47,5 + 9,81 \cdot 10)$	293	295	29	2,69
3	$M_{сц} \cdot (\omega'_0 + g \cdot i_3) + M_{пр} \cdot (\omega''_0 + g \cdot i_3) = 180 \cdot (51 - 9,81 \cdot 5) + 1522 \cdot (47,5 - 9,81 \cdot 5)$	-3,2	0	40	1,80
4	$M_{сц} \cdot (\omega'_0 + g \cdot i_4 + \omega_R) + M_{пр} \cdot (\omega''_0 + g \cdot i_4 + \omega_R) = 180 \cdot (51 + 9,81 \cdot 15 + 50) + 1522 \cdot (47,5 + 9,81 \cdot 15 + 50)$	492	420	26	3,48
5	$M_{сц} \cdot \omega'_0 + M_{пр} \cdot \omega''_0 = 180 \cdot 51 + 1522 \cdot 47,5$	90,6	109	40	2,25
Порожняковое направление					
5	$M_{сц} \cdot \omega'_0 + M_{пр} \cdot \omega''_0 = 180 \cdot 51 + 472,5 \cdot 47,5$	31,7	41	40	0,75
4	$M_{сц} \cdot (\omega'_0 - g \cdot i_4 + \omega_R) + M_{пр} \cdot (\omega''_0 - g \cdot i_4 + \omega_R) = 180 \cdot (51 - 9,81 \cdot 15) + 472,5 \cdot (47,5 - 9,81 \cdot 15)$	-31	0	40	2,25
3	$M_{сц} \cdot (\omega'_0 + g \cdot i_3) + M_{пр} \cdot (\omega''_0 + g \cdot i_3) = 180 \cdot (51 + 9,81 \cdot 5) + 1522 \cdot (47,5 + 9,81 \cdot 5)$	77	46	40	1,80
2	$M_{сц} \cdot (\omega'_0 - g \cdot i_2) + M_{пр} \cdot (\omega''_0 - g \cdot i_2) = 180 \cdot (51 - 9,81 \cdot 10) + 1522 \cdot (47,5 - 9,81 \cdot 10)$	-32	0	40	1,95
1	$M_{сц} \cdot \omega'_0 + M_{пр} \cdot \omega''_0 = 180 \cdot 51 + 472,5 \cdot 47,5$	31,7	41	40	2,25

5. Тормозной путь поезда определяем для наиболее опасного случая (порожний состав движется по руководящему уклону под уклон)

$$L_{ттр} = 0,278 \cdot v_n \cdot t_n = 0,278 \cdot 40 \cdot 4 = 44,5 \text{ м}$$

где $t_n = 4$ с – время приведения в действие пневматических тормозов);

Удельное сопротивление всего поезда

$$\omega_0 = \frac{\omega'_0 \cdot M_{\text{сц}} + \omega''_0 \cdot M_{\text{пр}}}{M_{\text{сц}} + M_{\text{пр}}} = \frac{51 \cdot 180 + 47,5 \cdot 472,5}{180 + 472,5} = 48,5 \text{ Н/Т}$$

по таблице $1.9K=69 \text{ кН}$; $\Sigma K_{\text{лок}}=828 \text{ кН}$; $\Sigma K_{\text{ваг}}=420 \text{ кН}$;

$$\sum K = \sum K_{\text{лок}} + n \cdot \sum K_{\text{ваг}} = 828 + 10 \cdot 420 = 5028, \text{ кН}$$

$$\varphi_k = 0,603 \cdot \frac{5K + 100g}{20K + 100g} \cdot \frac{100}{1,4 \cdot v + 100} =$$

$$= 0,603 \cdot \frac{5 \cdot 69 + 100 \cdot 9,81}{20 \cdot 69 + 100 \cdot 9,81} \cdot \frac{100}{1,4 \cdot 40 + 100} = 0,22$$

$$b_k = 1000 \cdot \varphi_k \cdot \frac{\sum K}{M_{\text{сц}} + M_{\text{пр}}} = 1000 \cdot 0,22 \cdot \frac{5028}{180 + 472,5} = 1695, \text{ Н/Т}$$

$$L_{\text{д.т}} = \frac{41,6 \cdot (v_{\text{н}}^2 - v_{\text{к}}^2)}{b_k + \omega_0 - g \cdot i} = \frac{41,6 \cdot (40^2 - 0)}{1695 + 48,5 - 9,81 \cdot 15} = 41,6, \text{ м}$$

$$L_{\text{T}} = L_{\text{пт}} + L_{\text{д.т.}} = 44,5 + 41,6 = 86,1, \text{ м}$$

Полученное значение тормозного пути не превышает 300 м, что удовлетворяет условию безопасного движения поезда.

6. Эффективный ток двигателя

$$I_{\text{эф}} = \alpha \cdot \sqrt{\frac{\sum (I_i^2 \cdot t_i)}{t_{\text{дв}}}} =$$

$$= 1,05 \cdot \sqrt{\frac{(109^2 \cdot 2,25 + 295^2 \cdot 2,69 + 0 \cdot 1,8 + 420^2 \cdot 3,48 + 109^2 \cdot 0,75 + 41^2 \cdot 0,75 + 0 \cdot 2,25 + 46^2 \cdot 1,8 + 0 \cdot 1,95 + 41^2 \cdot 2,2)}{26,07}} =$$

$$= 194 \text{ А}$$

Двигатель не перегревается, если $I_{\text{эф}} < K_3 \cdot I_{\text{дл}}$

$$I_{\text{эф}} = 194 \text{ А} < K_3 \cdot I_{\text{дл}} = 1,1 \cdot 264 = 290 \text{ А}$$

условие выполняется.

7. Общий расход электроэнергии за 1 рейс

$$A_{\text{дв}} = \frac{\sum (I_i \cdot t_i)}{60 \cdot 1000} \cdot U_{\text{ср}} =$$
$$= \frac{109 \cdot 2,25 + 295 \cdot 2,69 + 0 \cdot 1,8 + 420 \cdot 3,48 + 109 \cdot 0,75 +}{60 \cdot 1000}$$
$$+ \frac{41 \cdot 0,75 + 0 \cdot 2,25 + 46 \cdot 1,8 + 0 \cdot 1,95 + 41 \cdot 2,25}{60 \cdot 1000} \cdot 1500 = 70 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$A_{\text{с}} = 0,05 \cdot A_{\text{дв}} = 0,05 \cdot 70 = 3,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$A_{\text{м}} = 0,1 \cdot A_{\text{дв}} = 0,1 \cdot 70 = 7 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$A_{\text{общ}} = A_{\text{дв}} + A_{\text{с}} + A_{\text{м}} = 70 + 3,5 + 7 = 80,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

8. Время рейса локомотивосостава вычисляем следующим образом:

$$t_{\text{п}} = \frac{n \cdot q \cdot t_{\text{ц}}}{V_{\text{к}} \cdot \gamma \cdot K_{\text{э}}} = \frac{12 \cdot 105 \cdot 0,5}{10 \cdot 2 \cdot 0,75} = 42 \text{ мин}$$

$$t_{\text{р}} = \frac{n}{2} \cdot t_{\text{р.в}} = \frac{10}{2} \cdot 3 = 15 \text{ мин}$$

$$T_{\text{р}} = t_{\text{п}} + t_{\text{дв}} + t_{\text{р}} + t_{\text{доп}} = 42 + 26,07 + 15 + 5 = 88,07 \text{ мин}$$

9. Производительность одного локомотивосостава определяем по формуле

$$Q_{\text{л.с}} = \frac{60 \cdot T_{\text{см}}}{T_{\text{р}}} \cdot n \cdot q = \frac{60 \cdot 8}{88,07} \cdot 10 \cdot 105 = 5722 \text{ т/смену}$$

10. Инвентарный парк локомотивов составит

$$Q_{\text{см}} = \frac{A \cdot K_{\text{н.р}}}{n_{\text{раб}} \cdot n_{\text{см}}} = \frac{10 \cdot 10^6 \cdot 1,1}{305 \cdot 3} = 12130 \text{ т/смену}$$

количество рабочих электровозов

$$N_{\text{раб}} = K_{\text{н.д}} \frac{Q_{\text{см}}}{Q_{\text{лс}}} = 1,25 \cdot \frac{12130}{5722} = 2,64$$

принимаем $N_{\text{раб}} = 3$;

$$N_{\text{рем}} = 0,15 \cdot N_{\text{раб}} = 0,15 \cdot 3 = 0,45,$$

принимаем $N_{\text{рем}} = 1$;

$$N_{\text{рез}} = 0,10 \cdot N_{\text{раб}} = 0,10 \cdot 3 = 0,30,$$

принимаем $N_{\text{рез}} = 1$;

$$N_{\text{л.инв}} = N_{\text{раб}} + N_{\text{рем}} + N_{\text{рез}} + N_{\text{хоз}} = 3 + 1 + 1 + 2 = 7$$

Рабочий и инвентарный парк думпкаров:

$$N_{\text{в.раб}} = n \cdot N_{\text{раб}} = 10 \cdot 3 = 30;$$

$$N_{\text{в.инв}} = K_{\text{инв}} \cdot N_{\text{в.раб}} = 1,3 \cdot 30 = 39.$$

11. Рассчитываем пропускную и провозную способности железнодорожных перегонов:

$$N = \frac{30 \cdot T_{\text{см}} \cdot n_{\text{п}}}{t_{\text{дв}} + \tau} = \frac{30 \cdot 8 \cdot 2}{26,07 + 0,5} = 18 \text{ пар поездов /смену};$$

$$M = \frac{N}{K_{\text{рез}}} \cdot n \cdot q = \frac{18}{1,1} \cdot 10 \cdot 105 = 17181 \text{ т/смену}.$$

По полученным результатам строим график движения поездов (рис. 1.2). При этом учитываем, что время на маневры $t_{\text{доп}} = 5$ мин расходуется следующим образом: в пункте погрузки – 3 мин, в пункте разгрузки – 2 мин. Кроме того, имеем в виду, что производится по одному разгону и одному замедлению.

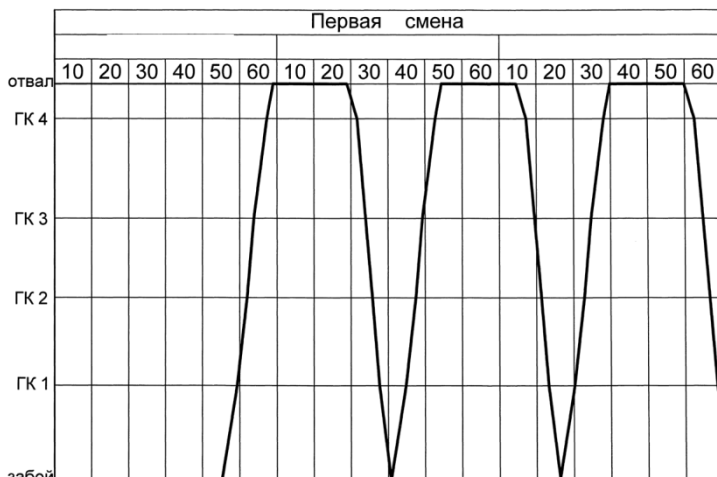


Рис. 1.2 График движения поездов

2. Расчет автомобильного транспорта

Исходными данными к расчету являются: годовая производительность карьера; параметры, характеризующие режим работы предприятия; физико-механические свойства транспортируемых грузов; план и продольный профиль расчетной трассы; технико-экономические показатели работы транспорта на предприятии-аналоге за последние 5 лет.

Расчет автомобильного транспорта состоит из двух разделов: тягового и эксплуатационного.

2.1 Тяговый расчет

Целью тягового расчета является выбор подвижного состава для заданных условий транспортирования груза.

Тяговый расчет включает:

- 1) предварительный выбор подвижного состава;
- 2) расчет сил сопротивления движению автосамосвала;
- 3) определение значений динамического фактора, скорости и силы тяги (тормозной силы) автосамосвала;
- 4) расчет тормозного пути;
- 5) определение расхода топлива и смазочных материалов.

Предварительный выбор подвижного состава. Выбирать объем ковша экскаватора и грузоподъемность автосамосвала рекомендуется выбирать в соответствии с годовой производительностью карьера (табл.2.1).

Для выбранного типа экскаватора подбираются 2–3 модели автосамосвала, окончательный выбор автомобиля производится по результатам расчетов коэффициентов использования грузоподъемности.

Основные параметры карьерных автосамосвалов семейства БелАЗ приведены в табл. 2.2, табл. 2.3, табл. 2.4, табл. 2.5, табл.2.6.

Таблица №2.1

Условия эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов

Годовая производительность А, млн.т.	Объем ковша экскаватора, м ³	Грузоподъемность автосамосвала, т
<10	3-8	30-55
10-30	5-12,5	40-120
30-50	8-15	80-120
>50	>15	более 120

Таблица № 2.2

Технические характеристики автосамосвалов «БелАЗ» с гидромеханической трансмиссией серии 7540

Основные параметры	Марка автосамосвала			
	7540А	7540В	7540D	7540Е
Грузоподъемность, т	30			
Двигатель	ЯМЗ-240ПМ2	ЯМЗ-240М2-1	DEUTZBF 8М 1015	ЯМЗ-240М2
Мощность, кВт	309	265	290	265
Максимальная скорость, км/ч	50			
Масса, т	22,5			
Вместимость кузова геометрическая (с шапкой), м ³	15 (18,5)		15(19)	24,5 (28)

Таблица № 2.3

**Технические характеристики автосамосвалов «БелАЗ»
с гидромеханической трансмиссией серии 7547**

Основные параметры	Марка автосамосвала			
	7547	75471	75473	7547D
Грузоподъёмность, т	45			
Двигатель	ЯМЗ-240НМ2	ЯМЗ-8401.10-06	КТА-19С	DEUTZBF 8M1015C
Мощность, кВт	368	405	448	400
Максимальная скорость, км/ч	50			
Масса, т	33			32,3
Вместимость кузова геометрическая (с шапкой), м ³	19 (26)			

Таблица №2.4

**Технические характеристики автосамосвалов «БелАЗ»
с электромеханической трансмиссией серии 7549 и 7514**

Основные параметры	Марка автосамосвала		
	75491	7514	75145
Грузоподъёмность, т	80	120	
Двигатель	КТА-38С	8ДМ-21АМ	КТА-38С
Мощность, кВт	750	956	882
Мощность генератора, кВт			
Мощность электрического двигателя, кВт			
Максимальная скорость, км/ч	50	45	
Масса, т	72,5	90	
Вместимость кузова геометрическая (с шапкой), м ³ : основной вариант вариант кузова для угля	35 (46) 59,7 (74)	47 (61) 90 (110)	

Таблица №2.5

**Технические характеристики автосамосвалов «БелАЗ»
с гидромеханической трансмиссией серии 7555**

Основные параметры	Марка автосамосвала				
	7555A	7555C	7555E	7555G	75570
Грузоподъемность, т	55		60	77	90
Двигатель	ЯМЗ-845,10	ЯМЗ-4Э845	QSK19-C	QSK19-C	QST30-C
Мощность, кВт	537	536	551	588	400
Максимальная скорость, км/ч	55				50
Масса, т	40,5		45	57	73
Вместимость кузова геометрическая (с шапкой), м ³	22 (31,3)	50 (57,9)	28 (37,7)	50 (57,9)	60 (75)

Таблица №2.6

**Технические характеристики автосамосвалов «БелАЗ»
с электромеханической трансмиссией серии 7513 и 75303**

Основные параметры	Марка автосамосвала			
	75131	75302	75303	75306
Грузоподъемность, т	130	220	200	220
Двигатель	КТА-50	MTU/DDC 16V400	12ДМ-21АМ	QSK-60
Мощность, кВт	1176	1716	1765	1716
Мощность генератора, кВт	800	1400		
Мощность электрического двигателя, кВт	420	560		590
Максимальная скорость, км/ч	45	40		
Масса, т	105	150	152,7	150
Вместимость кузова геометрическая (с шапкой), м ³	50 (75,5)	92 (130)	80 (112,2)	92 (130)

Расчет сил сопротивления движению автосамосвала.

Суммарное сопротивление движению автосамосвала W , Н, складывается из сопротивлений: основного W_o , воздушной среды W_b , от уклона W_i , инерции вращающихся масс W_j и на криволинейных участках W_R , т. е.

$$W = W_o + W_b + W_i + W_j + W_R. \quad (2.1)$$

Суммарное сопротивление движению автосамосвала рассчитывается на каждом участке трассы как в грузовом, так и порожняковом направлениях.

Силу основного сопротивления движению автосамосвала определяют по формуле

$$W_o = \omega_o \cdot M, \quad (2.2)$$

где ω_o – удельное основное сопротивление движению автосамосвала, Н/т; M – полная масса автосамосвала, т: с грузом $M = (q + q_t)$, без груза $M = q_t$; q – грузоподъемность, т; q_t – масса тары, т.

В зависимости от назначения дороги и типа дорожного покрытия рекомендуются следующие значения ω_o :

Постоянные откаточные дороги с покрытием:

бетонным, асфальтовым	150–200
щебеночным, гравийным	250–400

Забойные дороги:

на скальных породах	400–600
на рыхлых породах	600–1000

Отвальные дороги:

на скальных породах	900–1200
на рыхлых породах	1200–2000

Приведенные значения ω_o относятся к груженным автосамосвалам, для порожних автомобилей эти значения необходимо увеличить на 20–25 %.

Силу сопротивления воздушной среды W_b , Н, определяют по формуле

$$W_b = \lambda_n \cdot S_{л.п.} \cdot \frac{(v_a \pm v_b)^2}{3,6^2}, \quad (2.3)$$

где λ_n – коэффициент обтекаемости автосамосвала, $\lambda_n = 5,5-7,0$; $S_{л.п.}$ – площадь лобовой поверхности автосамосвала, м²; v_a – скорость движения автосамосвала при установившемся режиме, км/ч; v_b –

скорость ветра, км/ч (знак «+» ставится при встречном направлении ветрового потока, знак «-» - при попутном направлении).

При движении на подъем или по горизонтальному участку

$$v_a = \frac{3600 \cdot N_{\text{дв}}}{(\omega_0 + g \cdot i) \cdot M} \cdot \eta_{\text{о.м}} \cdot \eta_{\text{тр}}, \quad (2.4)$$

при движении на спуск

$$v_a = 30 - 40 \text{ км/ч,}$$

здесь $N_{\text{дв}}$ – мощность передвижного двигателя, кВт; i – величина уклона на данном участке, ‰; $\eta_{\text{о.м}}$ – коэффициент отбора мощности, $\eta_{\text{о.м}} = 0,88-0,90$; $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии (для гидромеханической $\eta_{\text{тр}} = 0,70-0,72$; для электромеханической $\eta_{\text{тр}} = 0,66-0,69$).

Если алгебраическая сумма ($v_a \pm v_b$) ≤ 35 км/ч, сопротивлением воздушной среды в расчетах можно пренебречь.

Силу сопротивления от уклона автодороги определяют по формуле

$$W_i = g \cdot i \cdot M. \quad (2.5)$$

Силу сопротивления, вызываемого инерцией вращающихся масс, рассчитывают по формуле

$$W_j = 1000 \cdot M \cdot (1 + \gamma_w) \cdot a, \quad (2.6)$$

где γ_w – коэффициент инерции вращающихся масс автомобиля (при гидромеханической трансмиссии $\gamma_w = 0,01-0,03$, при электромеханической – $\gamma_w = 0,1-0,15$); a – ускорение (замедление) автосамосвала, м/с²,

$$a = \frac{v_{ai}^2 - v_{a(i-1)}^2}{3,6^2 \cdot l_i}, \quad (2.7)$$

v_{ai} , $v_{a(i-1)}$ – скорость движения автосамосвала, соответственно, на последующем и предыдущем участках трассы, км/ч; l_i – длина i -го участка трассы, м.

Силу сопротивления на криволинейных участках автодороги с радиусом $R \leq 70$ м вычисляют по формуле

$$W_R = 300 \cdot \frac{200 - R}{200} \cdot M \quad (2.8)$$

при больших радиусах поворота

$$W_R = (0,05 - 0,08) \cdot W_i \quad (2.9)$$

Определение значений динамического фактора, скорости и силы тяги (тормозной силы) автосамосвала. Динамический фактор автосамосвала D , Н/т, рассчитывается на каждом участке трассы в грузовом и порожняковом направлениях по формуле

$$D = \omega_0 \pm g \cdot i + \omega_j + \omega_R, \quad (2.10)$$

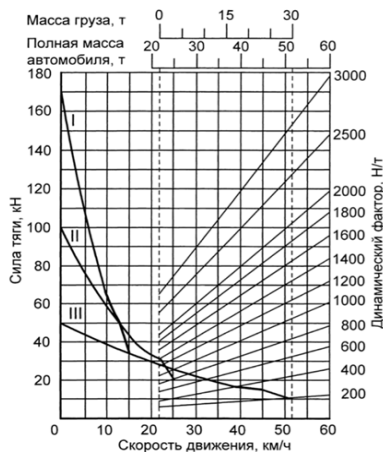
где ω_j – удельное сопротивление инерции вращающихся масс, Н/т, $\omega_j = 1\,000(1 + \gamma_{и}) \cdot a$; ω_R – удельное сопротивление на криволинейных участках трассы, Н/т, $\omega_R = W_R/M$.

По полученным положительным ($D > 0$) значениям динамического фактора и полной массы автосамосвала M находят значения скорости движения и силы тяги с помощью тяговых характеристик (рис. 2.1-2.10)

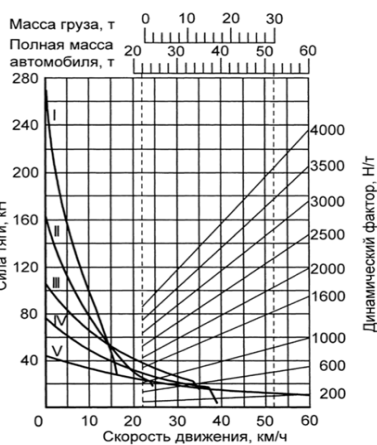
Если значение динамического фактора отрицательное ($D < 0$), скорость должна составлять 30–40 км/ч по условию безопасности движения, а тормозная сила при этом определяется по формуле

$$B = \frac{3600 \cdot N_{дв}}{v} \cdot \eta_{о.м} \cdot \eta_{тр}, \quad (2.11)$$

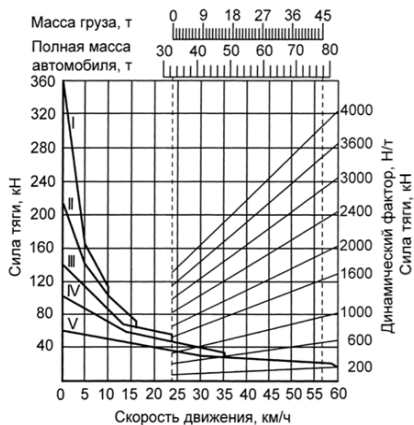
1



2



3



4

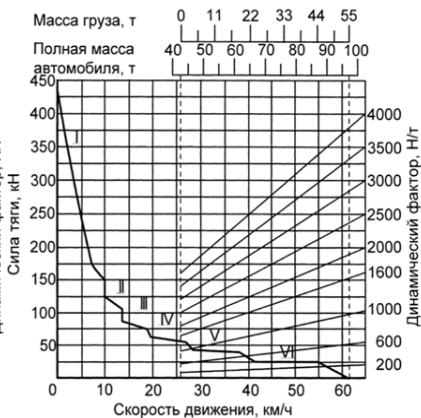
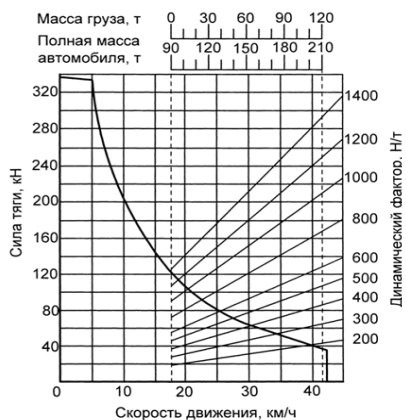


Рис. 2.1 Тягово-динамические характеристики автосамосвалов:

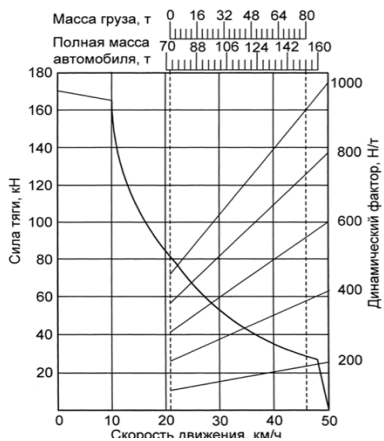
1 - БелАЗ-7540В грузоподъемностью 30 т; 2 - БелАЗ-7540D грузоподъемностью 30 т; 3 - БелАЗ-7547 грузоподъемностью 45 т; 4 - БелАЗ-7555А грузоподъемностью 55 т

1

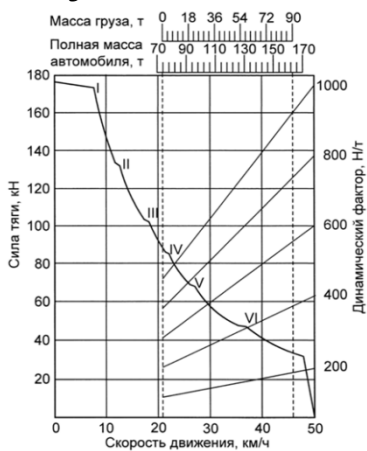
2



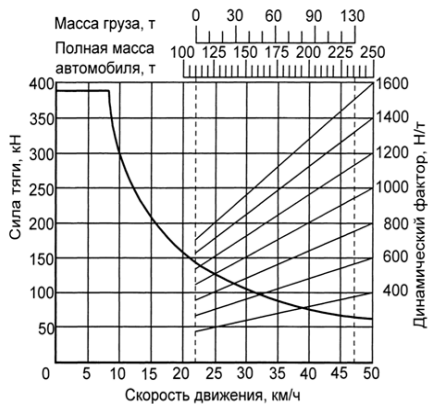
3



4



1



2

Рис.2.2 Тягово-динамические характеристики автосамосвалов:
 1 - БелАЗ-75145 грузоподъемностью 120 т; 2 - БелАЗ-75491 грузоподъемностью 80 т; 3- БелАЗ-75570 грузоподъемностью 90 т; 4 - БелАЗ-75131 грузоподъемностью 130 т

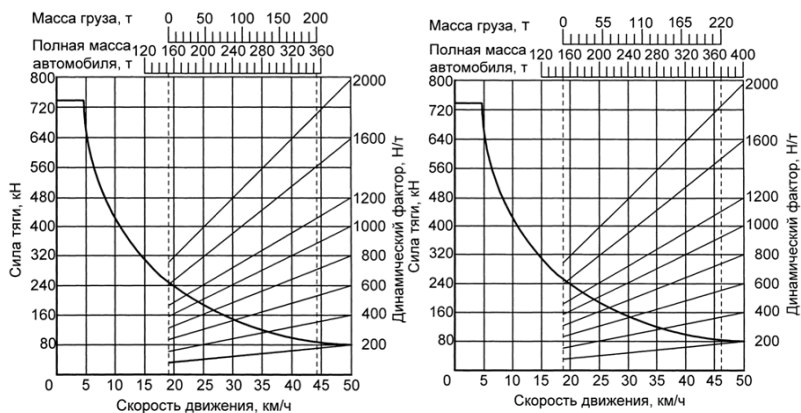


Рис.2.3 Тягово-динамические характеристики
 Автосамосвалов: 1 - БелАЗ-75303 грузоподъемностью 200 т;
 2 - БелАЗ-75306 грузоподъемностью 220 т

Значения силы тяги на каждом участке трассы должны быть не меньше соответствующих значений суммарного сопротивления движению автомобиля ($F \geq W$). Если условие не выполняется, то необходимо уменьшить скорость движения автомобиля на данном участке до такой величины, при которой данное условие будет выполняться.

Максимальное значение силы тяги (тормозной силы) автосамосвала проверяют по условию сцепления колеса с дорогой:

$$F_{\max} \leq 1000 \cdot M_{\text{сц}} \cdot g \cdot \psi, \quad (2.12)$$

где $M_{\text{сц}} = 0,67(q + q_{\text{т}})$ – сцепная масса автомобиля для автосамосвала с колесной формулой 4x2; ψ – коэффициент сцепления колеса с дорогой (табл. 2.7).

Если не выполняется первое условие, то необходимо соответствующим образом увеличить скорость движения автомобиля на данном участке.

Значения коэффициента сцепления колеса автомобиля с дорогой

Дорога	Состояние дороги покрытия	
	Сухое	Мокрое
Постоянная:		
щебеночная с поверхностной обработкой	0,75	0,50
асфальтобетонная и бетонная	0,70	0,45
Забойная или отвальная:		
забойная укатанная	0,60	0,40-0,50
отвальная укатанная	0,40-0,50	0,30-0,40
покрытая снегом	0,40-0,50	0,40-0,50 (обледенелая)

Расчет тормозного пути автосамосвала. Данный расчет производится для тех участков трассы, по которым автосамосвал движется на спуск. Предтормозной путь автосамосвала определяют по формуле:

$$L_{п.т} = 0.278 \cdot v \cdot t_{п}, \quad (2.13)$$

где $t_{п}$ – время приведения тормозов в действие, $t_{п} = 0,4-0,7с$.

Действительный тормозной путь автосамосвала рассчитывают по формуле

$$L_{д.т} = \frac{(1 + \gamma_{п}) \cdot v^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot \left(g \cdot \psi + \frac{\omega_0}{1000} - \frac{g \cdot i}{1000} \right)}, \quad (2.14)$$

Полный тормозной путь $L_{т}$, м, вычисляют по формуле

$$L_{т} = L_{п.т} + L_{д.т}, \quad (2.15)$$

Определение расхода топлива и смазочных материалов.

Для установления расхода топлива сначала определяется работа, затрачиваемая автомобилем на транспортирование груза. При пере-

мещении груза снизу вверх (карьеры глубинного типа) работу $A_{тр}$, Н·м, рассчитывают по формуле

$$A_{тр} = (q + q_T) \cdot (\omega_0 \cdot L + 1000 \cdot g \cdot H) + q_T \cdot (L - \sum L_T) \omega_{0ср}, \quad (2.16)$$

где $\omega_{0ср}$ – средневзвешенное удельное основное сопротивление движению автомобиля, Н/т, $\omega_{0ср} = \frac{\omega_{01} \cdot l_1 + \omega_{02} \cdot l_2 + \dots + \omega_{0n} \cdot l_n}{l_1 + l_2 + \dots + l_n}$;

L – расстояние транспортирования груза, м; H – высота подъема груза, м; $\sum L_T$ – сумма тормозных путей, м.

При перемещении груза сверху вниз (карьеры нагорного типа)

$$A_{тр} = q_T \cdot (\omega_0 \cdot L + 1000 \cdot g \cdot H) + (q + q_T) \cdot (L - \sum L_T) \omega_{0ср}. \quad (2.17)$$

Расчетный расход топлива E_p , кг, определяют по формуле

$$E_p = A_{тр} \cdot \frac{1}{4187 \cdot q_{т.с} \cdot \eta_{диз}}, \quad (2.18)$$

где $q_{т.с}$ – теплотворная способность дизельного топлива, $q_{т.с} \approx 10\,000$, ккал/кг; $\eta_{диз}$ – КПД дизельного двигателя, $\eta_{диз} = 0,43$.

Фактический расход топлива вычисляют следующим образом:

$$E_{ф} = E_p \cdot K_{зим} \cdot K_m \cdot K_{в.н}, \quad (2.19)$$

где $K_{зим}$ – коэффициент, учитывающий повышение расхода топлива в зимнее время, $K_{зим} = 1,05-1,10$; K_m – коэффициент, учитывающий расход топлива на маневры, $K_m = 1,04-1,07$; $K_{в.н}$ – коэффициент, учитывающий расход топлива на внутригаражные нужды, $K_{в.н} = 1,04-1,06$.

Расход масла составляет 4–6 % от расхода топлива, расход смазочных материалов – 1–1,5 %.

2.2 Эксплуатационный расчет

Целью эксплуатационного расчета является определение рабочего и инвентарного парка автосамосвалов.

Эксплуатационный расчет предусматривает:

- определение времени рейса автосамосвала;
- определение производительности автосамосвала;
- расчет парков автосамосвалов;
- определение пропускной и провозной способности карьерных автодорог.

Определение времени рейса автосамосвала. Время рейса T_p , мин, складывается из следующих составляющих:

$$T_p = t_{\Pi} + t_{\text{дв}} + t_p + t_{\text{доп}} \quad (2.20)$$

где t_{Π} – время погрузки автомобиля, мин,

$$t_{\Pi} = \frac{q \cdot t_{\text{ц}}}{0,9 \cdot V_{\text{к}} \cdot \gamma \cdot K_3}, \quad (2.21)$$

($t_{\text{ц}}$ – время цикла экскаватора, мин; $V_{\text{к}}$ – вместимость ковша экскаватора, м^3 ; γ – насыпная плотность груза, $\text{т}/\text{м}^3$; K_3 – коэффициент экскавации); $t_{\text{дв}}$ – время движения автосамосвала в грузовом и порожняковом направлениях, мин,

$$t_{\text{дв}} = (\sum t_{\text{гр}} + \sum t_{\text{пор}}) \cdot K_{\text{р.з}} = \left(\sum \frac{3,6 \cdot l_i}{60 \cdot v_{\text{гр}i}} + \frac{3,6 \cdot l_i}{60 \cdot v_{\text{пор}}} \right) \cdot K_{\text{р.з}}, \quad (2.22)$$

($\sum t_{\text{гр}}$, $\sum t_{\text{пор}}$ – суммарное время движения автосамосвала, соответственно, в грузовом и порожняковом направлениях, мин; $K_{\text{р.з}} = 1,10-1,12$ – коэффициент, учитывающий разгон и замедление автосамосвала при движении); t_p – время разгрузки автосамосвала, $t_p = 0,75-1,0$ мин; $t_{\text{доп}}$ – время, затраченное на маневры при подъезде автосамосвала к местам погрузки и разгрузки, мин:

Загрузка:

сквозная	0–0,20
петлевая	0,33–0,42
тупиковая	0,83–1,0
Разгрузка	1,34–1,72

Определение производительности автосамосвала. Сменную техническую производительность $Q_{см}$, т, определяют по формуле

$$Q_{см} = \frac{60 \cdot T_{см}}{T_p - t_{доп}} \cdot q \cdot K_{Г}, \quad (2.23)$$

где $T_{см}$ – продолжительность смены, ч; $K_{Г}$ – коэффициент технической готовности, характеризующий безотказность и ремонтпригодность автомобиля, $K_{Г} = 0,75-0,80$.

Расчет парков автосамосвалов. Сначала вычисляют сменный грузооборот карьера $Q'_{см}$, т:

$$Q'_{см} = \frac{A \cdot K_{н.р}}{n_p \cdot n_{см}}, \quad (2.24)$$

где A – годовая производительность карьера, т; $K_{н.р}$ – коэффициент неравномерности работы карьера, $K_{н.р} = 1,1-1,2$; $n_{раб}$ – число рабочих дней в году; $n_{см}$ – количество смен в сутки.

Рабочий парк автосамосвалов определяют по формуле

$$N_{раб} = K_{н.д} \cdot \frac{Q'_{см}}{Q_{см}}, \quad (2.25)$$

где $K_{н.д}$ – коэффициент неравномерности движения автосамосвалов, $K_{н.д} = 1,2$.

Инвентарный парк автосамосвалов рассчитывают по формуле

$$N_{инв} = \frac{N_{раб}}{K_{Г}}, \quad (2.26)$$

Определение пропускной и провозной способности карьерных автодорог. Пропускную способность $N_{ч}$, автомобилей в час, находят следующим образом:

$$N_{ч} = \frac{1000 \cdot v_{ср.т}}{K_{н.д} \cdot (L_T + l_a)}, \quad (2.27)$$

где $v_{\text{ср.т}}$ – среднетехническая скорость движения автосамосвала, км/ч, $v_{\text{ср.т}} = \frac{2 \cdot v_{\text{гр}} \cdot v_{\text{пор}}}{v_{\text{гр}} + v_{\text{пор}}}$; $v_{\text{гр}}$, $v_{\text{пор}}$ – средние скорости движения автомобиля с грузом и без груза, км/ч; L_T – максимальный тормозной путь (определяется в тяговом расчете), м; l_a – длина автомобиля, м.

Провозную способность M_a , т/ч, вычисляют по формуле

$$M_a = \frac{N_{\text{ч}}}{K_{\text{рез}}} \cdot q, \quad (2.28)$$

где $K_{\text{рез}}$ – коэффициент резерва пропускной способности, $K_{\text{рез}} = 1,75-2,0$.

2.3 Пример расчета

Выполнить тяговый и эксплуатационный расчеты автосамосвала, движущегося по трассе (рис. 2.4), используя следующие исходные данные:

- годовая производительность карьера $A = 40$ млн т;
- коэффициент неравномерности работы карьера $K_{\text{н.р}} = 1,1$;
- число рабочих дней в году $n_{\text{раб}} = 305$;
- продолжительность смены $T_{\text{см}} = 8$ ч;
- насыпная плотность груза $\gamma = 2$ т/м³;
- расстояние транспортирования груза $L = 4$ км;
- скорость ветрового потока $v_{\text{в}} = 10$ м/с (36 км/ч);
- тип автосамосвала – БелАЗ-75132;
- тип экскаватора – ЭКГ-15;
- коэффициент экскавации $K_3 = 0,75$;
- породы скальные

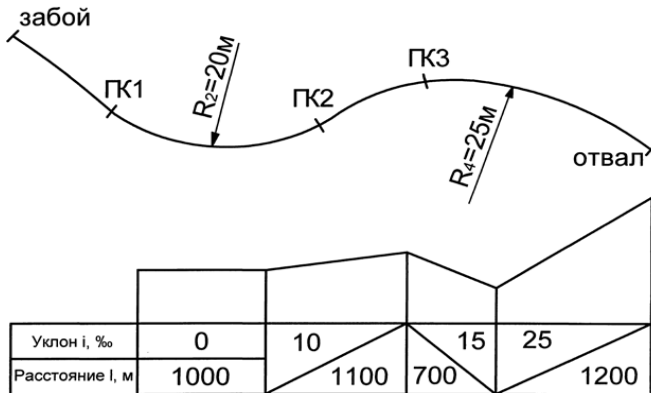


Рис. 2.4 План и продольный профиль расчетной трассы

Суммарные силы сопротивления движению автосамосвала на 1-м участке в грузовом и порожняковом направлениях определяем по формуле:

$$W_{гр1} = W_{огр1} + W_{вгр1} + W_{игр1} + W_{жгр1} + W_{Rгр1} = \\ = 117,5 + 53 + 0 + 8 + 0 = 178,5 \text{ кН}$$

$$W_{пор1} = W_{опор1} + W_{впор1} + W_{ипор1} + W_{ппор1} + W_{Rпор1} = \\ = 63 + 0 + 0 - 2 + 0 = 61 \text{ кН}$$

$$W_{огр1} = \omega_{огр1} \cdot M = 500 \cdot (130 + 105) = 117500 \text{ Н} = 117,5 \text{ кН}$$

$$W_{опор1} = \omega_{опор1} \cdot M = 600 \cdot 105 = 63000 \text{ Н} = 63 \text{ кН}$$

$$W_{вгр1} = \lambda_n \cdot S_{л.п.} \cdot \frac{(v_{агр1} + v_B)^2}{3,6^2} = 5,5 \cdot 40 \cdot \frac{(20 + 36)^2}{3,6^2} = 53235 = 53 \text{ кН}$$

$$v_{агр1} = \frac{3600 \cdot N_{дв}}{(\omega_{огр1} + g \cdot i_1) \cdot M} \cdot \eta_{о.м} \cdot \eta_{тр} = \\ = \frac{3600 \cdot 1103}{(500 + 9,81 \cdot 0) \cdot (130 + 105)} \cdot 0,9 \cdot 0,66 = 20 \text{ км/ч;}$$

$$W_{впор1} = 0, \text{ т.к. } (v_{апор1} - v_B) = 37 - 36 = 1 < 35 \text{ км/ч;}$$

$$v_{\text{аноп1}} = \frac{3600 \cdot N_{\text{дв}}}{(\omega_{0\text{пор1}} + g \cdot i_1) \cdot M} \cdot \eta_{\text{о.м}} \cdot \eta_{\text{тр}} =$$

$$= \frac{3600 \cdot 1103}{(600 + 9,81 \cdot 0) \cdot 105} \cdot 0,9 \cdot 0,66 = 37 \text{ км/ч};$$

$$W_{\text{гпр1}} = W_{\text{ипор1}} = 0, \text{ т.к. } i_1 = 0;$$

$$W_j = 1000 \cdot M \cdot (1 + \gamma_w) \cdot a =$$

$$= 1000 \cdot 105 \cdot (1 + 0,1) \cdot (-0,02) = -2310 \text{ Н} = -2,3 \text{ кН}.$$

$$a_{\text{пор1}} = \frac{v_{\text{аноп1}}^2 - v_{\text{аноп2}}^2}{3,6^2 \cdot l_1} = \frac{37^2 - 40^2}{3,6^2 \cdot 1000} = -0,02 \text{ м/с}^2$$

$W_{\text{Ргпр1}} = W_{\text{Рпор1}} = 0$, т.к. 1-й участок прямолинейный.

Результаты расчетов суммарных сил сопротивления движению автосамосвала на каждом участке трассы в грузовом и порожняковом направлениях сведены в таблице 2.8.

Таблица №2.8

Силы сопротивления движению автосамосвала

Участок	ω_0 , Н/т	W_ϕ , кН	W_B , кН	W_i , кН	W_j , кН	W_R , кН	W , кН	v_w , км/ч	a , м/с ²
Грузовое направление									
1	500	117,5	53	0	8	0	178,5	20	0,03
2	400	94	53	23,5	0	63,5	234	20	0
3	400	94	72	35	34	0	165	40	0,13
4	1000	235	45	58	-24	62	376	13	-0,09
Порожнее направление									
4	1200	126	0	26	10	27,5	137,5	40	0,10
3	480	50	0	16	-3	0	63	36	-0,03
2	480	50	0	10,5	2	28	69,5	40	0,02
1	600	36	0	0	-2	0	61	37	-0,02

2. Динамический фактор автосамосвала на 1-м участке составляет

$$D_{\text{гпр1}} = \omega_{0\text{гпр1}} + \omega_{j\text{гпр1}} = 500 + 33 = 533 \text{ Н/т},$$

$$D_{\text{пор1}} = \omega_{0\text{пор1}} + \omega_{j\text{пор1}} = 600 - 22 = 578 \text{ Н/т},$$

$$\omega_{\text{гр}1} = 1000 \cdot (1 + \gamma_w) \cdot a = 1000 \cdot (1 + 0,1) \cdot 0,03 = 33 \text{ Н/т};$$

$$\omega_{\text{пор}1} = 1000 \cdot (1 + \gamma_w) \cdot a = 1000 \cdot (1 + 0,1) \cdot (-0,02) = -22 \text{ Н/т}.$$

Воспользовавшись тяговой характеристикой автомобиля (рис. 2.12), определяем значения:

$$v_{\text{гр}1} = 26 \text{ км/ч}; F_{\text{гр}1} = 111 \text{ кН}; v_{\text{пор}1} = 22,5 \text{ км/ч}; F_{\text{пор}1} = 126 \text{ кН}.$$

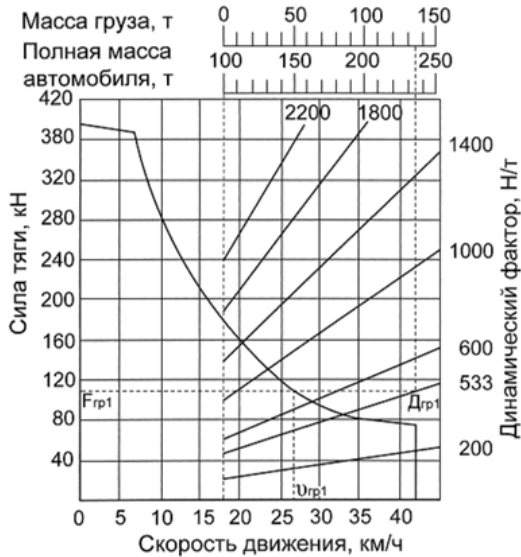


Рис. 2.5 Тягово-динамическая характеристика автомобиля

Данные по остальным участкам приведены в табл. 2.9.

Производим проверку по условию $F \geq W$ на каждом участке трассы. В грузовом направлении на всех участках данное условие не выполняется, поэтому принимая

$$F_{\text{гр}1} = 180 \text{ кН}; F_{\text{гр}2} = 235 \text{ кН}; F_{\text{гр}3} = 170 \text{ кН}; F_{\text{гр}4} = 380 \text{ кН},$$

по тяговой характеристике принимаем

$$v_{\text{гр}1} = 18 \text{ км/ч}; v_{\text{гр}2} = 13 \text{ км/ч}; v_{\text{гр}3} = 18 \text{ км/ч}; v_{\text{гр}4} = 7 \text{ км/ч}.$$

Таблица №2.9

Скорость движения и сила тяги автомобиля

Участок	Динамический фактор Д, Н/т		v, км/ч	F, кН
	Расчет	Результат		
Грузовое направление				
1	$\omega_{\text{опр1}} + \omega_{\text{гр1}} = 500 + 33$	533	26	111
2	$\omega_{\text{опр2}} + \omega_{\text{гр2}} + \omega_{\text{R2}} = 400 + 9,81 \cdot 10 + 270$	768	17	168
3	$\omega_{\text{опр3}} - \omega_{\text{гр3}} + \omega_{\text{гр3}} = 400 - 9,81 \cdot 15 + 143$	396	33	83
4	$\omega_{\text{опр4}} + \omega_{\text{гр4}} + \omega_{\text{гр4}} + \omega_{\text{R4}} =$ $= 1000 + 9,81 \cdot 25 - 99 + 262,5$	1408	8	333
Порожняковое направление				
4	$\omega_{\text{опор4}} - \omega_{\text{инор4}} + \omega_{\text{пор4}} + \omega_{\text{Рпор4}} =$ $= 1200 - 9,81 \cdot 2 + 11 + 262,5$	1172	12	258
3	$\omega_{\text{опор3}} + \omega_{\text{инор3}} + \omega_{\text{пор3}} = 480 + 9,81 \cdot 15 - 33$	594	23	124
2	$\omega_{\text{опор2}} - \omega_{\text{инор2}} + \omega_{\text{пор2}} + \omega_{\text{Рпор2}} =$ $= 480 - 9,81 \cdot 10 + 22 + 270$	684	21	156
1	$\omega_{\text{опор1}} - \omega_{\text{пор1}} = 600 - 22$	578	22,5	126

Максимальное значение силы тяги должно соответствовать условию

$$F_{\text{max}} = F_{\text{гр4}} \leq 1000 M_{\text{сп}} \cdot g \cdot \psi;$$

$$380\,000 \leq 1\,000 \cdot 1\,57,5 \cdot 9,81 \cdot 0,5;$$

$$380\,000 \leq 772\,538 \text{ Н.}$$

Тормозной путь груженого автосамосвала на 3-м участке определяем по формуле:

$$L_{\text{T}} = L_{\text{п.т}} + L_{\text{д.т}} = 2,5 + 1,8 = 4,3 \text{ м,}$$

$$L_{\text{п.т}} = 0,278 \cdot v_{\text{гр3}} \cdot t_{\text{п}} = 0,278 \cdot 18 \cdot 0,5 = 2,5 \text{ м}$$

$$L_{д.т} = \frac{(1 + \gamma_u) \cdot v_{гр3}^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot \left(g \cdot \psi + \frac{\omega_{0гр3}}{1000} - \frac{g \cdot i_3}{1000} \right)} =$$

$$= \frac{(1 + 0,1) \cdot 18^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot \left(9,81 \cdot 0,75 + \frac{400}{1000} - \frac{9,81 \cdot 15}{1000} \right)} = 1,8 \text{ м},$$

Проведя аналогичные расчеты для автосамосвала, движущегося порожняком на 4-м и 2-м участках, получаем:

$$L_{Тпор4} = 2,9 \text{ м}; L_{Тпор2} = 5,4 \text{ м}.$$

Для определения расчетного и фактического расходов топлива автосамосвалом за один рейс сначала находим работу на транспортирование груза:

$$A_{тр} = (q + q_T) \cdot (\omega_0 \cdot L + 1000 \cdot g \cdot H) + q_T \cdot (L - \sum L_T) \omega_{0cp} =$$

$$= (130 + 105) \cdot (667 \cdot 400 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 30,5) + 105 \cdot (4000 - 12,6) \cdot 667 =$$

$$= 9,8 \cdot 10^8 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$\omega_{0cp} = \frac{\sum \omega_{0i} \cdot l_i}{\sum l_i} =$$

$$= \frac{500 \cdot 1000 + 400 \cdot 1100 + 400 \cdot 700 + 1000 \cdot 1200 + 1200 \cdot 1200 +$$

$$+ 480 \cdot 700 + 480 \cdot 1100 + 600 \cdot 1000}{1000 + 1100 + 700 + 1200 +$$

$$+ 1200 + 700 + 1100 + 1000} = 667 \text{ Н/Т};$$

$$H = \frac{\sum i_i \cdot l_i}{\sum l_i} = \frac{0 \cdot 1000 + 10 \cdot 1000 - 15 \cdot 700 + 25 \cdot 1200}{1000} = 30,5 \text{ м}$$

$$\sum L_T = L_{Тгр3} + L_{Тпор4} + L_{Тпор2} = 4,3 + 2,9 + 5,4 = 12,6 \text{ м}.$$

Тогда

$$E_p = A_{\text{тр}} \cdot \frac{1}{4187 \cdot q_{\text{T.C}} \cdot \eta_{\text{диз}}} = \frac{9,8 \cdot 10^8}{4187 \cdot 10000 \cdot 0,43} = 54,4 \text{ кг}$$

$$E_{\text{ф}} = E_p \cdot K_{\text{зим}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{в.н}} = 54,4 \cdot 1,05 \cdot 1,04 \cdot 1,04 = 61,8 \text{ кг.}$$

Расход масла – 2,5 кг; расход смазочных материалов – 0,6 кг.

5. Время рейса автосамосвала определяем по формуле:

$$T_p = t_{\text{п}} + t_{\text{дв}} + t_p + t_{\text{доп}} = 3,2 + 31,7 + 1,0 + 2,2 = 38,1 \text{ мин}$$

где

$$t_{\text{п}} = \frac{q \cdot t_{\text{ц}}}{0,9 \cdot V_{\text{к}} \cdot \gamma \cdot K_{\text{з}}} = \frac{130 \cdot 0,5}{0,9 \cdot 15 \cdot 2 \cdot 0,75} = 3,2 \text{ мин;}$$

$$t_{\text{дв}} = \left(\sum t_{\text{гр}} + \sum t_{\text{пор}} \right) \cdot K_{\text{р.з}} = \left(\sum \frac{3,6 \cdot l_i}{60 \cdot v_{\text{гри}}} + \frac{3,6 \cdot l_i}{60 \cdot v_{\text{пор}}} \right) \cdot K_{\text{р.з}} =$$

$$= \left(\frac{3,6 \cdot 1000}{60 \cdot 18} + \frac{3,6 \cdot 1100}{60 \cdot 13} + \frac{3,6 \cdot 700}{60 \cdot 18} + \frac{3,6 \cdot 1200}{60 \cdot 7} \right. \\ \left. + \frac{3,6 \cdot 1200}{60 \cdot 12} + \frac{3,6 \cdot 700}{60 \cdot 23} + \frac{3,6 \cdot 1100}{60 \cdot 21} + \frac{3,6 \cdot 1000}{60 \cdot 22,5} \right) \cdot 1,1 = 31,7 \text{ мин;}$$

$$t_p = 1 \text{ мин; } t_{\text{доп}} = 0,85 + 1,35 = 2,2 \text{ мин.}$$

6. Производительность автосамосвала рассчитываем по выражению:

$$Q_{\text{см}} = \frac{60 \cdot T_{\text{см}}}{T_p - t_{\text{доп}}} \cdot q \cdot K_{\Gamma} = \frac{60 \cdot 8}{38,1 - 2,2} \cdot 130 \cdot 0,75 = 1300 \text{ т/смену.}$$

7. Для определения рабочего и инвентарного парков автосамосвалов сначала находим сменный грузооборот карьера:

$$Q'_{\text{см}} = \frac{A \cdot K_{\text{н.р}}}{n_p \cdot n_{\text{см}}} = \frac{40 \cdot 10^6 \cdot 1,1}{305 \cdot 3} = 48080 \text{ т.}$$

Тогда

$$N_{\text{раб}} = K_{\text{н.д}} \cdot \frac{Q'_{\text{см}}}{Q_{\text{см}}} = 1,2 \cdot \frac{48080}{1300} = 37;$$

$$N_{\text{раб}} = \frac{N_{\text{раб}}}{K_{\Gamma}} = \frac{37}{0,75} = 49.$$

8. Пропускная и провозная способность автодороги составили

$$N_{\text{ч}} = \frac{1000 \cdot v_{\text{ср.т}}}{K_{\text{н.д}} \cdot (L_{\text{T}} + l_{\text{а}})} = \frac{1000 \cdot 16,5}{1,2 \cdot (5,4 + 11,5)} = 833 \text{ авт/ч},$$

$$v_{\text{ср.т}} = \frac{2 \cdot v_{\text{гр}} \cdot v_{\text{пор}}}{v_{\text{гр}} + v_{\text{пор}}} = \frac{2 \cdot 14 \cdot 20}{14 + 20} = 16,5 \text{ км/ч},$$

$$v_{\text{гр}} = \frac{18 + 13 + 18 + 7}{4} = 14 \text{ км/ч};$$

$$v_{\text{пор}} = \frac{12 + 23 + 21 + 22,5}{4} = 20 \text{ км/ч}.$$

$$M_{\text{а}} = \frac{N_{\text{ч}}}{K_{\text{рез}}} \cdot q = \frac{833}{2,0} \cdot 130 = 54145 \text{ т/ч}.$$

Если на проектируемом предприятии принята организация движения, при которой автосамосвал в течение смены закреплен за определенным экскаватором, то по результатам расчетов строится график движения автосамосвалов. Если автомобиль направляется к свободному в данный момент экскаватору, график движения не строится.

Библиографический список

1. *Васильев М. В.* Транспорт глубоких карьеров / М. В. Васильев. – М.: Недра, 1983.
2. *Дьяков В. А.* Транспортные машины и комплексы открытых разработок / В. А. Дьяков. – М.: Недра, 1986.
3. *Спиваковский А.О.* Транспортные машины и комплексы открытых горных разработок / А. О. Спиваковский, М. Г. Потапов. – М.: Недра, 1983.
4. *Плютов Ю. А.* Расчеты транспортных машин открытых горных разработок: учеб. пособие / Ю.А. Плютов; ГОУ ВПО «Гос.ун-т цвет. металлов и золота». – Красноярск, 2006.
5. *Шешко Е. Е.* Горно-транспортные машины и оборудование для открытых работ / Е. Е. Шешко – М.: МГГУ, 2003.

Содержание

Введение.....	3
1. Расчет электровозного транспорта.....	4
1.1 Расчет электровозного транспорта.....	4
1.2 Эксплуатационный расчет.....	17
1.3 Пример расчета.....	20
2. Расчет автомобильного транспорта.....	28
2.1 Тяговый расчет.....	28
2.2 Эксплуатационный расчет.....	41
2.3 Пример расчета.....	42
Библиографический список.....	50

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ЧАСТЬ 2

Методические указания для выполнения практических работ для студентов специальности 21.05.04

Сост.: *М.А. Васильева, Р.Б. Кусильдин*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой транспортно-технологических процессов и машин

Ответственный за выпуск *М.А. Васильева*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 30.06.2020. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 3,1. Усл.кр.-отт. 3,1. Уч.-изд.л. 2,9. Тираж 50 экз. Заказ 457.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2