

Приложение В (обязательное)

Методика выполнения тяговых расчетов и выбора оборудования (подвижного состава) карьерного железнодорожного транспорта

В.1 Общие положения

В.1.1 Методика использует термины и обозначения, применяемые в ПТР, правилах тяговых расчетов для промтранспорта и справочниках по тяговым расчетам.

В.1.2 Единицы физических величин, которые входят в методику, даются в Международной системе единиц (СИ) за исключением сил, для которых используются килограмм-силы вместо ньютонов.

В.1.3 При выполнении расчетов следует иметь в виду то, что большинство формул и справочных данных, которые используются в расчетах, имеют статистический характер. Потому результаты расчетов имеют приблизительный характер даже при использовании высокоточных методов численной интеграции уравнения движения поезда с помощью компьютеров. Исходя из этого, на существующих карьерах результаты расчетов следует уточнять по результатам опытных поездок.

В.1.4 Наиболее эффективным является использование для расчетов специального программного обеспечения, которое учитывает особенности работы карьерного транспорта. При отсутствии таких программ могут быть использованы рекомендации, которые приведены в этой методике, относительно использования Microsoft® Office Excel или аналогичных программ.

В.2 Условные обозначения, размерности и точность величин, которые используются в методике

Таблица В.1

Условное обозначение	Размерность	Точность	Характеристика
V	км/ч	0,1	Скорость
ΔV	км/ч	0,1	Интервал скорости движения
P	т	1	Расчетная масса локомотива, моторных вагонов
$l_{л}$	м	1	Длина локомотива
Q	т	10	Масса состава (вагонов) поезда
$q_{в}$	т	1	Масса одного вагона (брутто)
$q_{т}$	т	1	Масса тары вагона
$q_{о}$	т	0,1	Масса вагона брутто, приходящаяся на одну ось
$l_{в}$	м	1	Длина вагона
$l_{п}$	м	1	Длина поезда
i	‰	0,1	Уклон элемента продольного профиля; подъем со знаком «+», спуск – «-»
$i_{р}$	‰	1	Расчетный уклон, по которому определяется масса состава поезда
l	м	1	Длина элемента продольного профиля
R	м	1	Радиус круговой кривой в плане
l_{R}	м	1	Длина круговой кривой в плане
S	м	1	Путь, который проехал поезд
ΔS	м	1	Интервал пройденного поездом пути
t	минуты	0,1	Время движения поезда
t_n	сек	0,1	Время подготовки тормозов к действию
Δt	минуты	0,1	Изменение времени движения поезда

Условное обозначение	Размерность	Точность	Характеристика
w'_o	кгс/т	0,1	Удельное основное сопротивление движению локомотива в тяговом режиме
w'_x	кгс/т	0,1	Удельное основное сопротивление движению локомотива в холостом режиме
w''_o	кгс/т	0,1	Удельное основное сопротивление движению состава поезда
w_o	кгс/т	0,1	Удельное основное сопротивление движению поезда в тяговом режиме
w_i	кгс/т	0,1	Удельное сопротивление движению поезда от уклона продольного профиля. Численно равняется уклону.
w_R	кгс/т	0,1	Удельное сопротивление движению поезда при прохождении кривых участков пути
$w_{зр}$	кгс/т	0,1	Удельное основное сопротивление движению состава поезда при трогании с места
$i_{зр}$	кгс/т	0,1	Уклон, на котором происходит трогание поезда
$w_{вв}$	кгс/т	0,1	Удельное основное сопротивление движению состава поезда при движении вагонами вперед
w_B	кгс/т	0,1	Удельное сопротивление движению поезда при сильном ветре
r	кгс/т	0,1	Общая удельная сила, действующая на поезд
α	м/с ²	0,01	Ускорение поезда при трогании с места
W	кгс	50	Полное сопротивление движению поезда
K	кгс	50	Действительная сила нажатия тормозной колодки на ось
k_t	-	0,01	Коэффициент, учитывающий постепенность наполнения тормозных цилиндров
t_z	с	0,1	Время, прошедшее от начала включения торможения
t_{z1}	с	0,1	Время, прошедшее от начала включения торможения, при котором тормозные цилиндры наполняются полностью
ψ	-	0,001	Расчетный коэффициент сцепления колес локомотива с рельсами
ψ_R	-	0,001	Коэффициент сцепления колес локомотива с рельсами в кривых
ψ_T	-	0,001	Коэффициент тяги для тепловозов
ϕ	-	0,001	Действительный коэффициент трения тормозной колодки о колесо
b_z	кгс/т	0,1	Удельная тормозная сила поезда
B_z	кгс	50	Полная тормозная сила поезда
B_m	кгс	50	Тормозная сила, которая реализуется магниторельсовыми тормозами
N	кВт	1	Мощность локомотива
η	-	0,001	Коэффициент приближения реальной тяговой характеристики тепловоза к идеальной
F_o	кгс	50	Полная касательная сила тяги локомотива
V_p	км/ч	0,1	Расчетно-минимальная скорость локомотива

Условное обозначение	Размерность	Точность	Характеристика
V_{\max}	км/ч	0,1	Максимальная (конструкционная) скорость локомотива
V_a	км/ч	0,1	Скорость выхода на автоматическую характеристику
$F_{\text{др}}$	кгс	50	Полная касательная сила тяги локомотива при расчетно-минимальной скорости
$f_{\text{д}}$	кгс	50	Удельная касательная сила тяги локомотива
$F_{\text{дR}}$	кгс	50	Полная касательная сила тяги локомотива в кривых
$F_{\text{зр}}$	кгс	50	Полная касательная сила тяги локомотиву при трогании с места
R_m	тыс. кгс·км	1	Механическая работа локомотива
A	кВт·ч	10	Расход электроэнергии
$a_{\text{ен}}$	кВт·ч/ч	1	Расход электроэнергии на собственные нужды за час работы
$I_{\text{д}}$	А	1	Ток, потребляемый электродвигателем
I_e	А	1	Эффективный ток электродвигателя
I_t	А	1	Максимальный ток электродвигателя за определенное время
I	А	1	Ток, потребляемый локомотивом
U	тыс. В	0,01	Напряжение контактной сети
$U_{\text{д}}$	тыс. В	0,01	Напряжение электродвигателя
$g_{\text{ен}}$	кг/ч	0,5	Расход топлива на собственные нужды за час работы
g_m	кг/ч	0,5	Расход топлива в тяговом режиме за час работы
G	кг	1	Расход топлива общий

В.3 Основное сопротивление движению поезда

В.3.1 Основное сопротивление сопровождает движение поезда постоянно.

В.3.2 Основное удельное сопротивление движения локомотивов определяется по формулам:

а) для тягового режима

$$w'_o = a'_o + b'_o \cdot V + c'_o \cdot V^2; \quad (\text{В.1})$$

б) для режима холостого хода

$$w'_x = a'_x + b'_x \cdot V + c'_x \cdot V^2. \quad (\text{В.2})$$

В.3.3 Коэффициенты, которые входят в состав приведенных формул, принимаются согласно таблицы В.2.

Таблица В. 2

Тип локомотива	Путь	a'_o	b'_o	c'_o	a'_x	b'_x	c'_x
Магистральные	звеньевой	1,90	0,010	0,00030	2,40	0,011	0,00035
	бесстыковой	1,90	0,008	0,00025	2,40	0,009	0,00035
Промышленные тепловозы							
с электро- передачей	постоянный	3,00	0,010	0,00020	3,50	0,010	0,00020
	передвижной	3,90	0,013	0,00026	4,55	0,013	0,00026
с гидро- передачей	постоянный (маневровый режим)	2,50	0,130	0,00300	2,40	0,050	

Тип локомотива	Путь	a'_o	b'_o	c'_o	a'_x	b'_x	c'_x
	постоянный (поездной режим)	2,00	0,040	0,00200	2,40	0,050	
	передвижной	2,60	0,052	0,00260	3,12	0,065	
Промышленные электровозы							
переменного тока	постоянный	2,60	0,070	0,00250	2,80	0,023	0,00075
	передвижной	3,38	0,091	0,00325	3,64	0,030	0,00098
постоянного тока с нагрузкой на ось до 25 т	постоянный	2,90	0,080		3,70	0,090	
	передвижной	3,80	0,100		4,50	0,100	
постоянного тока с нагрузкой на ось 30 т	постоянный	2,75	0,080		3,54	0,090	
	передвижной	3,60	0,110		4,60	0,120	

В.3.3 Основное удельное сопротивление движения вагонов в зависимости от скорости принимается в виде:

а) для грузовых магистральных вагонов при нагрузках на ось $q_o > 6$ т

$$w''_o = d''_o + \frac{a''_o + b''_o \cdot V + c''_o \cdot V^2}{q_o}; \quad (\text{В.3})$$

б) для грузовых магистральных вагонов при нагрузках на ось $q_o \leq 6$ т

$$w''_o = a''_{ox} + b''_{ox} \cdot V + c''_{ox} \cdot V^2; \quad (\text{В.4})$$

в) для промышленных вагонов в загруженном состоянии

$$w''_o = a''_o + b''_o \cdot V; \quad (\text{В.5})$$

г) для промышленных порожних вагонов

$$w''_o = a''_{ox} + b''_{ox} \cdot V. \quad (\text{В.6})$$

В.3.4 Коэффициенты, которые входят в эти формулы принимаются согласно табл. В.3.

Таблица В.3

Тип вагонов	Путь	a''_o	b''_o	c''_o	d''_o	a''_{ox}	b''_{ox}	c''_{ox}
Магистральные								
4-осные	звеньевой	3	0,100	0,0025	0,7	1,0	0,044	0,00024
8-осные		6	0,038	0,0021	0,7	рассчитывается по формуле (В.3)		
4-осные	бесстыковой	3	0,090	0,0020	0,7	1,0	0,042	0,00016
8-осные		6	0,026	0,0017	0,7	рассчитывается по формуле (В.3)		
Промышленные								
Думпкары ВС100, 2ВС105, 2ВС180	постоянный	3,6	0,04			4,3	0,05	
Думпкары ВС80, ВС85		3,1	0,02			4,0	0,03	
Думпкары 3ВС50, 6ВС60		2,7	0,03			3,5	0,04	
Хоппер 57 т		1,5	0,03			2,5	0,04	

Тип вагонов	Путь	a''_o	b''_o	c''_o	d''_o	a''_{ox}	b''_{ox}	c''_{ox}
Все типы	передвижной	На 30% больше сопротивления для постоянного пути						

В.4 Дополнительное сопротивление движению поезда

В.4.1 К дополнительному сопротивлению относятся непостоянно действующие факторы.

В.4.2 Дополнительное удельное сопротивление движению от уклона численно равняется самому уклону, который определен в тысячных (%).

$$w_i = i. \quad (B.7)$$

Если поезд движется на подъем, то уклон берется со знаком «+», а при спусках – со знаком «-».

В.4.3 Дополнительное удельное сопротивление, которое возникает при движении поезда в кривой, определяется в зависимости от радиуса кривой:

а) при $R \geq 300$ м

$$w_R = \frac{700}{R}; \quad (B.8)$$

б) при меньших значениях радиуса

$$w_R = \frac{900}{100 + R}. \quad (B.9)$$

В.4.4 Формулы (В.8-В.9) применяются, если длина кривой больше длины поезда. При длине кривой $l_R < l_n$ дополнительное удельное сопротивление от кривой уменьшается пропорционально отношению длины кривой к длине поезда. При спрямлении профиля уменьшение происходит пропорционально отношению длины кривой к длине спрямленного элемента профиля.

В.4.5 При движении поезда происходит вагонами вперед возникает дополнительное сопротивление движению, удельное значение которого может определяться по формуле

$$w_{вс} = \left(0,15 + \frac{i}{1000} \right) \cdot w_o. \quad (B.10)$$

Удельное основное сопротивление движению поезда w_o определяется как средневзвешенное для локомотива и вагонов $w_o = \frac{w'_o \cdot P + w''_o \cdot Q}{P + Q}$. При движении в режиме холостого хода вместо w'_o в формулу подставляется w'_x .

В.4.6 Если в задании на проектирование указано, что на участке постоянно дуют ветры, то для учета их влияния значение основного удельного сопротивления может увеличиваться на 20 %, то есть $w_в = 0,2 \cdot w_o$.

В.4.7 Полное сопротивление движению поезда в тяговом режиме определяется как сумма основного и дополнительных сопротивлений и зависит от скорости поезда и места его расположения.

$$W = w'_o \cdot P + w''_o \cdot Q + (P + Q) \cdot (w_i + w_R + w_{вс} + w_в). \quad (B.11)$$

При движении в режиме холостого хода вместо w'_o в формулу подставляется w'_x .

В.5 Тормозные силы

В.5.1 Для торможения используется пневматическое тормозное колодочное оборудование локомотива и вагонов. Кроме того при электротяге могут использоваться магниторельсовое и электрическое реостатное торможения. При колодочном торможении тормозная сила получается благодаря трению тормозных колодок и колеса.

В.5.2 Полная тормозная сила при колодочном торможении определяется по формуле

$$B_z = \sum \varphi \cdot K. \quad (B.12)$$

Сумма берется для локомотива и всех вагонов. В расчетах для карьерного транспорта учитываются все тормозные возможности поезда.

В.5.3 Удельная тормозная сила при колодочном торможении определяется по формуле

$$b_z = \frac{B_z}{P+Q}. \quad (B.13)$$

В.5.4 Коэффициент трения φ в зависимости от типа колодок может определяться по формулам:

а) при стандартных чугунных колодках

$$\varphi = 0,6 \frac{0,016K + 100}{0,080K + 100} \cdot \frac{V + 100}{5V + 100}; \quad (B.14)$$

б) при чугунных колодках с содержанием фосфора 1,0-1,4 %

$$\varphi = 0,5 \frac{0,016K + 100}{0,052K + 100} \cdot \frac{V + 100}{5V + 100}; \quad (B.15)$$

в) при композиционных колодках

$$\varphi = 0,44 \frac{0,001K + 20}{0,004K + 20} \cdot \frac{V + 150}{2V + 150}; \quad (B.16)$$

г) для карьерного транспорта при чугунных стандартных колодках

$$\varphi = 0,78 \frac{0,016K + 100}{0,080K + 100} \cdot \frac{100}{3,18V + 100}; \quad (B.17)$$

д) для карьерного транспорта при композиционных колодках

$$\varphi = 0,603 \frac{0,005K + 100}{0,02K + 100} \cdot \frac{100}{1,406V + 100}. \quad (B.18)$$

В общем виде обозначим

$$\varphi = a_1 \frac{a_2 \cdot K + a_3}{a_4 K + a_5} \cdot \frac{a_6 \cdot V + a_7}{a_8 \cdot V + a_9}. \quad (B.19)$$

В.5.5 Для карьерного транспорта тормозные расчеты следует выполнять по действительным силам нажатия и действительным коэффициентам трения в прямом и обратном направлениях. Действительные тормозные силы нажатия на колодку для магистральных вагонов можно определять по таблице В. 4.

Таблица В.4

Тип вагона	Кол-во осей	Кол-во колодок	Тип колодок	K, кгс при режиме торможения		
				грузовом	среднем	порожном
Полувагон, цементовоз	4	8	чугунные	3800	2300	1260
			композиционные	2400	1480	820
Платформа, крытый, цистерна	4	8	чугунные	3820	2340	1280
			композиционные	2500	1540	850
Полувагон	8	16	чугунные	3500	2180	1240
			композиционные	2200	1350	750
Цистерна	8	16	чугунные	3700	2300	1300
			композиционные	2500	1500	860

Для промышленного транспорта значения тормозных сил нажатия приведены в таблице В.5.

Таблица В.5

Подвижной состав и тип колодок (ч – чугунные, к – композиционные)	Давление в тормозном цилиндре, кПа					
	390		255		135	
	K, кгс	$\sum K$, кгс	K, кгс	$\sum K$, кгс	K, кгс	$\sum K$, кгс

Подвижной состав и тип колодок (ч – чугунные, к – композиционные)	Давление в тормозном цилиндре, кПа					
	390		255		135	
	K , кгс	$\sum K$, кгс	K , кгс	$\sum K$, кгс	K , кгс	$\sum K$, кгс
ТЭ-10 1 секция (ч)	7100	85200	4300	51600	1900	22800
ТЭ-3 1 секция (ч)	6000	72000	2300	27600	1000	12000
ТЭМ2 (ч)	6000	72000	3000	36000	1300	15600
ТЭМ1 (ч)	6000	72000	3000	36000	1300	15000
ТГМ6А 1 секция (ч)	6750	54000	3400	27200	1500	12000
ТГМ4 (ч)	6700	53600	3400	27200	1500	12000
ТГМ3 (ч)	4900	39200	2700	21600	1200	9600
ТГМ23, ТГМ1 (ч)	3800	22800	2500	15000	1300	7800
ТГК2 (ч)	2200	17600	1400	11200	900	7200
Электровоз IVКП-1А (ч)	6400	51200	3900	31200	1800	14400
ЕЛ2 (ч)	6900	55200	4200	33600	2000	16000
ЕЛ1 (ч)	6900	82800	4200	50400	2000	24000
26Е2М (ч)	7100	85200	4400	52800	2200	26400
ПЭ2М, ПЭ1, ПЭ3Т на электровоз управления или моторный думпка́р (ч)	4300	68800	2600	41600	1200	19200
ПЭ2М, ПЭ1, ПЭ3Т на электровоз управления или моторный думпка́р (к)	1900	30400	1200	19200	500	8000
Д94 (ч)	3800	60800	2400	38400	1200	19200
ЕЛ10 на электровоз управления или моторный думпка́р (ч)	2400	38400	1500	24000	600	9600
ОПЭ1 на электровоз управления, дизельную секцию или моторный думпка́р (ч)	5000	80000	3200	51200	1500	24000
ОПЭ1А, ОПЭ2 на электровоз управления, дизельную секцию или моторный думпка́р (ч)	4300	68800	2600	41600	1200	19200
ОПЭ1А, ОПЭ2 на электровоз управления, дизельную секцию или моторный думпка́р (к)	1900	30400	1200	19200	500	8000
3ВС50 (ч)	3200	25600	2000	16000	1000	8000
6ВС60 (ч)	3700	29600	2300	18400	1100	8800
6ВС60 (к)	2400	19200	1500	12000	700	7200
ВС80, ВС85 (ч)	4500	36000	2800	22400	1400	11200
ВС80, ВС85 (к)	3000	24000	1900	15200	900	7200
2ВС85 (ч)	3500	42000	2200	26400	1100	13200
ВС100-1 вар-т (ч)	4200	50400	2700	32400	1300	15600
ВС100-2 вар-т (ч)	3600	43200	2200	26400	1100	13200
ВС100-3 вар-т (ч)*	4100	44000	2600	28000	1300	13600
	1400		900		400	
ВС100-3 вар-т (к)*	2300	24800	1500	16000	700	7200
	800		500		200	

Подвижной состав и тип колодок (ч – чугунные, к – композиционные)	Давление в тормозном цилиндре, кПа					
	390		255		135	
	K , кгс	$\sum K$, кгс	K , кгс	$\sum K$, кгс	K , кгс	$\sum K$, кгс
2BC105-1 вар-т (ч)*	$\frac{3800}{800}$	36800	$\frac{2400}{500}$	23200	$\frac{1200}{300}$	12000
2BC105-1 вар-т (к)* 2BC105-2 вар-т*	$\frac{2200}{500}$	21600	$\frac{1400}{300}$	13600	$\frac{700}{100}$	6400
2BC105-3 вар-т (ч)*	$\frac{7200}{2800}$	80000	$\frac{4500}{1800}$	50400	$\frac{2200}{900}$	24800
2BC105-3 вар-т (к)*	$\frac{4100}{1600}$	45600	$\frac{2600}{1000}$	28800	$\frac{1300}{500}$	14400
2BC180 (к)	2200	35200	1400	22400	700	11200

* – В числителе приведены значения для крайних осей тележек думпкара, а в знаменателе – для средней

В.5.6 В процессе торможения полное значение тормозной силы не может быть реализовано мгновенно. Постепенность процесса наполнения тормозных цилиндров упрощенно может учитываться через время подготовки тормозов к действию t_n , которое вычисляется по следующим формулам:

а) при общем количестве осей 200 и меньше

$$t_n = 7 - \frac{10i}{b_2}; \quad (B.20)$$

б) при общем количестве осей больше 200 (до 300)

$$t_n = 10 - \frac{15i}{b_2}; \quad (B.21)$$

в) при общем количестве осей больше 300

$$t_n = 12 - \frac{18i}{b_2}. \quad (B.22)$$

Для коротких поездов из нескольких вагонов время подготовки тормозов к действию определяется по формулам:

а) в летний период

$$t_n = 3 - \frac{5i}{b_2}; \quad (B.23)$$

б) в зимний период при температуре воздуха ниже 10 градусов мороза

$$t_n = 4 - \frac{6,5i}{b_2}. \quad (B.24)$$

В.5.7 Для карьерного транспорта рекомендуется выполнять тормозные расчеты путем численной интеграции с учетом постепенности наполнения тормозных цилиндров. В этом случае значение силы нажатия $K_i = k_i \cdot K$ зависит от времени, которое прошло с начала торможения и отпадает потребность в определении времени и пути подготовки тормозов к действию.. Значение коэффициента k_i для разных случаев приведено в табл. В.6-В.8.

Таблица В.6

Значение коэффициента k_i для магистрального транспорта

Время от начала торможения t_2 , с	Экстренное торможение		Полное служебное торможение	
	$l_n = 500$ м	$l_n = 800$ м	$l_n = 500$ м	$l_n = 800$ м
0-3	0,00	0,00	0,00	0,00
3-6	0,20	0,15	0,15	0,02
6-9	0,45	0,35	0,40	0,25

9-12	0,65	0,50	0,60	0,45
12-15	0,80	0,65	0,75	0,60
15-18	0,90	0,75	0,85	0,70
18-21	0,95	0,85	0,90	0,80
21-24	0,98	0,95	0,95	0,90
24-27	1,00	0,98	1,00	0,95
27-30		1,00		0,98
30-33				1,00

Таблица В.7

Значение коэффициента k_t для промышленного транспорта с пневматическими тормозами

Время от начала торможения t_2 , с	Чугунные колодки	Композиционные колодки
0-3	0,15	0,15
3-6	0,38	0,46
6-9	0,55	0,66
9-12	0,66	0,78
12-15	0,76	0,86
15-18	0,82	0,90
18-21	0,88	0,93
21-24	0,93	0,97
24-27	0,96	0,98
27-30	0,98	1,00
30-30,4	1,00	

Таблица В.8

Значение коэффициента k_t для промышленного транспорта с электропневматическими тормозами

Время от начала торможения, с	k_t
0-1	0,25
1-2	0,50
2-3	0,75
3-4	1,00

В.5.8 При выполнении расчетов на компьютере вместо табличных значений следует воспользоваться зависимостью

$$k_t = at_2^3 + bt_2^2 + ct_2. \quad (B.25)$$

Зависимость действует в диапазоне значений $0 \leq t_2 \leq t_{21}$. При $t_2 = t_{21}$ $k_t = 1$.

Значения коэффициентов a , b , c для приведенных в таблицах В.6-В.8 случаев даны в таблице В.9.

Таблица В.9

Вид торможения	t_{21} , с	a	b	c
Магистральный транспорт, экстренное торможение, $l_n = 500$ м	27	-0,0000358	0,000563	0,048
Магистральный транспорт, экстренное торможение, $l_n = 800$ м	30	-0,0000194	0,0000535	0,049
Магистральный транспорт, служебное торможение, $l_n = 500$ м	27	-0,0000191	-0,000343	0,060

Магистральный транспорт, служебное торможение, $l_n = 800$ м	33	-0,0000255	0,000766	0,033
Промышленный транспорт с чугунными колодками	30,4	0,0000107	-0,00173	0,076
Промышленный транспорт с композиционными колодками	30	0,0000237	-0,00253	0,088
Промышленный транспорт с электропневматическими тормозами	4	0	0	0,25

В.5.9 При использовании тяговых агрегатов с магниторельсовыми тормозами следует учитывать дополнительную тормозную силу B_m . Эту силу можно определить по эмпирической формуле:

$$B_m = 21940 \cdot e^{-0,0184V}, \quad (B.26)$$

где e – основание натурального логарифма.

Значения B_m , приведены в табл. В.10

Таблица В.10

V	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
B_m , кгс	21940	20010	18250	16650	15185	13850	12630	11520	10510	9590

Полное значение эта тормозная сила набирает через 4,6 с после начала торможения, то есть в диапазоне времени $t_2 = 0 \div 5$ с значения B_m нужно умножать на коэффициент $0,2 \cdot t_2$.

В.5.10 Электрическое реостатное торможение используется в качестве дополнительного на длинных спусках и в данной методике не учитывается.

В.6 Сила тяги локомотивов

В.6.1 Зависимость силы тяги локомотива от скорости имеет достаточно сложный характер и определяется позицией контролера (для тепловозов), типом включения электродвигателей и ограничением магнитного поля (для электровозов), коэффициентом сцепления колеса и рельса. Для тяговых расчетов во время проектирования разрешается использовать расчетные тяговые, топливные и токовые характеристики, которые приведены в п. В.14.

В.6.2 На начальных участках тяговых характеристик, максимальное значение силы тяги, ограничивается как правило сцеплением рельса и колеса. Значение коэффициента сцепления для разных типов локомотивов и разных условий эксплуатации определяется по следующим формулами:

а) тепловозы ТЭ10

$$\psi = 0,118 + \frac{4}{22 + V}; \quad (B.27)$$

б) другие магистральные тепловозы

$$\psi = 0,118 + \frac{5}{27,5 + V}; \quad (B.28)$$

в) тепловозы промышленного транспорта

$$\psi = 0,25 + \frac{8}{100 + 20V}; \quad (B.29)$$

г) магистральные электровозы постоянного тока

$$\psi = 0,25 + \frac{8}{100 + 20V}; \quad (B.30)$$

д) промышленные электровозы постоянного тока на постоянных путях

$$\psi = 0,225 + \frac{7,2}{100 + 20V}; \quad (\text{В.31})$$

е) промышленные электровозы постоянного тока на передвижных путях

$$\psi = 0,01 + \frac{54}{250 + 21V}; \quad (\text{В.32})$$

ж) магистральные электровозы переменного тока

$$\psi = 0,28 + \frac{4}{50 + 6V} - 0,0006V; \quad (\text{В.33})$$

з) промышленные электровозы переменного тока на подъездных путях

$$\psi = 0,228 + \frac{7}{53 + 3V}; \quad (\text{В.34})$$

и) промышленные электровозы переменного тока на постоянных путях

$$\psi = 0,21 + \frac{7}{53 + 3V}; \quad (\text{В.35})$$

к) промышленные электровозы переменного тока на передвижных путях

$$\psi = 0,01 + \frac{54}{250 + 21V}. \quad (\text{В.36})$$

В общем виде коэффициент сцепления определяется по формуле

$$\psi = a_{\psi} + \frac{b_{\psi}}{c_{\psi} + d_{\psi} \cdot V} - e_{\psi}V. \quad (\text{В.37})$$

В.6.3 При движении локомотива в кривых участках пути происходит снижение коэффициента сцепления ψ до значения ψ_R , которое определяется по формуле

$$\psi_R = \psi \frac{250 + 1,55R}{500 + 1,1R}. \quad (\text{В.38})$$

В ПТР формула (В.38) рекомендуется для электрической тяги при радиусах меньше 500 м, а для тепловозной тяги при радиусах меньше 800 м используется формула

$$\psi_R = \psi \frac{3,5R}{400 + 3R}. \quad (\text{В.39})$$

При радиусах, которые больше указанных, $\psi_R = \psi$.

В общем виде снижение коэффициента сцепления ψ до значения ψ_R определяется формулой

$$\psi_R = \psi \frac{h_{\psi} + m_{\psi} \cdot R}{n_{\psi} + z_{\psi} \cdot R}. \quad (\text{В.40})$$

В.6.4 Сила тяги локомотива на участках ограничения по сцеплению определяется:

а) для прямых

$$F_{\delta} = 1000 \cdot P \cdot \psi; \quad (\text{В.41})$$

б) для кривых

$$F_{\delta} = 1000 \cdot P \cdot \psi_R. \quad (\text{В.42})$$

В.6.5 Эксплуатация тепловозов должна происходить на скоростях, выше скорости выхода на автоматическую характеристику V_a , которая определяется по формуле

$$V_a = \frac{0,367 \cdot \eta \cdot N}{\psi_T \cdot P}. \quad (\text{В.43})$$

Коэффициент тяги ψ_T для средних условий эксплуатации принимается в размере 0,14 при электрической передаче и 0,19 - при гидравлической, а при чистых рельсах, соответственно 0,18 и 0,25. Коэффициенты приближения реальной тяговой характеристики

тепловоза к идеальной η , значения V_a и соответствующие N для тепловозов, которые применяются на промышленном транспорте в средних условиях, приведены в таблице В.11. В этой же таблице приведены значения максимальной конструкционной скорости.

Таблица В.11

Серия тепловоза	P , т	η	V_a , км/ч	N , кВт	V_{\max} , км/ч
ТГК2	28	0,58	6,5	162	60
ТГМ1	46	0,60	7,4	294	60
ТГМ23	44	0,60	9,7	368	60
ТГМ3А	68	0,62	9,7	552	90
ТГМ4	80	0,63	8,4	552	55
ТГМ6А	90	0,64	12,1	883	80
ТЭМ1	120	0,70	11,3	736	100
ТЭМ2	120	0,70	13,5	883	100
ТЭ3 – 1 секция	127	0,70	21,3	1472	100
ТЭМ7	180	0,73	15,6	1472	100
ТЭ10Л – 1 секция	130	0,75	33,4	2208	100

В.6.6 Касательная сила тяги тепловоза для автоматической характеристики может определяться по формуле

$$F_o = \frac{367 \cdot \eta \cdot N}{V}, \quad (\text{В.44})$$

где N – мощность локомотива, кВт.

В.6.7 Удельная касательная сила тяги определяется по формуле

$$f_o = \frac{F_o}{P + Q}. \quad (\text{В.45})$$

В.7 Определение массы состава поезда

В.7.1 Масса состава поезда Q определяется из условия движения поезда с постоянной расчетно-минимальной скоростью V_p на руководящем подъеме i_p

$$Q = \frac{F_{op} - (w_o' + i_p) \cdot P}{(w_o'' + i_p)}. \quad (\text{В.46})$$

В.7.2 Значения V_p , F_{op} и другие параметры для электровозов приведены в таблице В.12.

Таблица В.12

Электровоз	Ток	P , т	V_p , км/ч	F_{op} , кгс	V_{\max} , км/ч	Ток часовой, А	Ток длительный, А
IV КП	пост.	80	20,2	18400	70	280	235
ЕЛ2	-«-	100	28,0	23000	65	250	205
ЕЛ1	-«-	150	28,0	34500	65	250	205
13Е i 21Е	-«-	150	25,6	34500	65	190	148
26Е2М	-«-	180	25,5	41500	65	304	264
ПЭ2М	-«-	368	28,0	83000	65	335	300
ПЭ1	-«-	360	28,0	83000	65	335	300
ПЭ3Т	-«-		26,5	98000	65	335	300
Д94	перем.	94	25,0	25000	85	380	340
Д100м	-«-	100	26,5	26000	70	315	265
НП1	-«-	368	25,0	107000	65		
ЕЛ10	-«-	360	23,0	94000	65	500	445
ОПЭ1	-«-	360	27,0	94000	65	560	476
ОПЭ2	-«-	368	25,4	98000	65	330	300

ОПЭ1А	-«-	372	25,0	96000	65	330	300
-------	-----	-----	------	-------	----	-----	-----

В.7.3 Для тепловозов промышленного транспорта массу состава поезда следует определять по формуле

$$Q = \frac{367 \cdot \eta \cdot N}{V_p} - (w'_o + i_p) \cdot P, \quad (B.47)$$

или в упрощенном виде

$$Q = \frac{367 \cdot \eta \cdot N}{V_p (w''_o + i_p)} - P. \quad (B.48)$$

Значения V_p для тепловозов принимается не меньше скорости выхода на автоматическую характеристику. Другие значения, которые входят в формулы (B.47, B.48) принимаются для соответствующей скорости V_p .

В.7.4 Поскольку при движении поезда в кривых участках пути возникает дополнительное сопротивление и снижается сила тяги, при проектировании продольного профиля следует уменьшать руководящий уклон на значение дополнительного сопротивления от кривой (B.8, B.9). Влияние уменьшения коэффициента сцепления от кривой может учитываться дополнительным уменьшением уклона на величину, которая приведена в таблице B.13.

Таблица B.13

R, м	Тепловозы			Электровозы		
	Руководящий уклон, ‰					
	60	40	20	60	40	20
400	8	5,5	3	5	3,5	2
300	12,5	8,5	5	9,5	6,5	3,5
200	19,5	13,5	7,5	15	10	5,5
100	32	22,5	12,5	22	15,5	9
60	41	28,5	16	26	18	10

Возможность применения большей массы состава поезда или больших уклонов за счет кинетической энергии поезда следует проверять путем выполнения тяговых расчетов.

В.7.5 Полученную массу состава поезда следует проверить на трогание с места, на не превышение длины приемно-отправных колеи, а также на перегрев тяговых электродвигателей.

В.7.6 Проверка массы состава поезда на трогание с места согласно ПТР выполняется следующим образом

$$Q \leq \frac{F_{zp}}{w_{zp} + i_{zp}} - P, \quad (B.49)$$

где w_{zp} – удельное основное сопротивление движения состава поезду при трогании с места.

Для магистрального транспорта и подшипников качения

$$w_{zp} = \frac{28}{q_o + 7}. \quad (B.50)$$

Значения w_{zp} для промышленного транспорта принимаются:

а) для подшипников скольжения

$$w_{zp} = \frac{80}{q_o}; \quad (B.51)$$

б) для подшипников качения

$$w_{зр} = \frac{20}{q_o}, \quad (B.52)$$

$i_{зр}$ – уклон, на котором происходит трогание поезда. Для карьерного транспорта необходимо обеспечить трогание поезда с места на руководящем уклоне.

В.7.7 Для локомотивов промышленного транспорта следует выполнять проверку по следующей формуле

$$Q \leq \frac{F_{зр}}{110 \cdot a + w_o + w_{зр} + i_{зр}} - P, \quad (B.52)$$

где a – ускорение поезда при трогании с места, принимается $0,05 \text{ м/с}^2$ при вывозной работе, $0,1 \text{ м/с}^2$ – при маневровой.

В.7.8 Значения силы тяги локомотивов при трогании с места при нормальных условиях могут приниматься согласно таблицы В.14.

Таблица В.14

Локомотив	$F_{зр}$, кгс
ТГК2	8400
ТГМ1	13800
ТГМ23	13200
ТГМ3А	12000
ТГМ4	24000
ТГМ6	26500
ТЭМ1	35400
ТЭМ2	35400
ТЭ3 – 1 секция	29100
ТЭМ7	54000
ТЭ10Л – 1 секция	38200
II КП	10500
IV КП	20000
ЕЛ2	30000
ЕЛ1	45000
13Е i 21Е	45000
26Е2М	54000
ПЭ2М	110000
ПЭ1	110000
ПЭ3Т	120000
Д94	32000
Д100м	33000
НП1	120000
ЕЛ10	120000
ОПЭ1	120000
ОПЭ2	120000
ОПЭ3, 4	80000
ОПЭ1А	120000

В.7.9 Для проверки достаточности длины приемно-отправочных путей необходимо подсчитать длину поезда. Длина приемно-отправочных путей должна быть большей длины поезда минимум на 10 м. Длины локомотивов и вагонов приведены в таблице В.15.

Таблица В.15

Локомотив или вагон	Длина единицы, м
ТГК	9
ТГМ1	10

Локомотив или вагон	Длина единицы, м
ТГМ23	9
ТГМ3	13
ТГМ6	14
ТЭМ1	17
ТЭМ2	17
ТЭ3 – 1 секция	17
ТЭМ7	22
ТЭ10Л – 1 секция	17
II КП	11
IV КП	12,2
ЕЛ2	13,8
ЕЛ1	21,3
13Е i 21Е	22
26Е2М	21,5
ПЭ2М	51,3
ПЭ1	51,3
ПЭ3Т	51,3
Д94	16,4
ЕЛ10	52,3
ОПЭ1	55,2
ОПЭ2	51,3
ОПЭ1А	51,3
Восьмиосные вагоны магистральные	20
Четырехосные вагоны магистральные	14
Четырехосные цистерны и думпкары магистральные	12
Думпкары 3ВС50, 6ВС60	12
Думпкары ВС80, ВС82	14
Думпкары ВС85	12
Думпкары ВС100	16
Думпкары 2ВС105	15
Думпкары 2ВС140, 2ВС180	17,6

В.7.10 Проверку массы состава поезда на перегрев тяговых электродвигателей следует производить при выполнении тяговых расчетов.

В.8 Ограничения скорости

В.8.1 Перед построением зависимости скорости поезда от пройденного пути необходимо определить ограничение скорости на разных участках. При выполнении тяговых расчетов следует учитывать ограничения скорости движения, которые определяются конструкцией единиц подвижного состава и локомотивов, типами стрелочных переводов, требованиями безопасности движения. Основные ограничения, которые определяются безопасностью движения, связаны с необходимостью обеспечить экстренное торможение поезда на расстоянии, которое не превышает нормативное. Для промышленного транспорта скорость поезда и его тормозное оборудование должны обеспечить остановку поезда на расстоянии, которое не превышает 300 метров.

В.8.2 Определение максимально допустимой скорости по условиям торможения лучше выполнять численной интеграцией с помощью Microsoft® Office Excel или аналогичных программ.

В.8.3 Если принять, что на интервале времени $\Delta t = 1\text{с}$ равнодействующая сила не изменяется, то уменьшение скорости в км/ч при торможении можно определить по следующей формуле

$$\Delta V = \frac{r}{30}. \quad (\text{B.53})$$

Значение $r = b_c + b_m$ принимается для начальной скорости V . После определения ΔV вычисляется путь ΔS

$$\Delta S = \frac{\left(V - \frac{\Delta V}{2}\right)}{3,6}. \quad (\text{B.54})$$

В.8.4 Расчеты повторяют до момента, когда $V - \Delta V \leq 0$. Таким образом вычисляется путь, который пройдет поезд от начала торможения. Изменяя начальную скорость, находят ее значение, при котором полный путь торможения составит 300 метров. Выполнив расчеты при нескольких значениях уклонов, получают зависимость максимальной скорости по условиям торможения от уклона, которая необходима для дальнейших расчетов.

В.8.5 Рассмотрим в качестве примера заполнение клеточек таблицы Microsoft® Office Excel для решения тормозной задачи. После создания такой таблицы ее можно будет многократно использовать для разных данных. Все значения рассчитываются при скорости в начале интервала интеграции. Для повышения точности можно прибавить колонки с одной или несколькими итерациями с определением значений по средней скорости интервала.

В.8.5.1 В 1-й, 3-й и 6-й строках запишем обозначения величин, которые находятся под соответствующими клетками.

В.8.5.2 Заполнение 2-й строки приведено в таблице В.16.

Таблица В.16

Столбец	Характеристика значения в соответствующей клеточке	Значение в примере
A	Уклон, на котором происходит торможение, ‰	-40
B	Начальная скорость торможения, км/ч	26,8
D	Коэффициент a из таблицы В.9 для локомотива	0,0000107
E	Коэффициент b из таблицы В.9 для локомотива	-0,00173
F	Коэффициент c из таблицы В.9 для локомотива	0,076
G	Коэффициент a из таблицы В.9 для вагонов	0,0000237
H	Коэффициент b из таблицы В.9 для вагонов	-0,00253
I	Коэффициент c из таблицы В.9 для вагонов	0,088
J	Сума нажатий тормозных колодок локомотива, кгс	115200
K	Масса локомотива, т	360
L	Коэффициент a_1 (В.19) для локомотива	0,78
M	Коэффициент a_2 (В.19) для локомотива	0,016
N	Коэффициент a_3 (В.19) для локомотива	100
O	Коэффициент a_4 (В.19) для локомотива	0,080
P	Коэффициент a_5 (В.19) для локомотива	100
Q	Коэффициент a_6 (В.19) для локомотива	0
R	Коэффициент a_7 (В.19) для локомотива	100
S	Коэффициент a_8 (В.19) для локомотива	3,18
T	Коэффициент a_9 (В.19) для локомотива	100
U	Количество тормозных колодок локомотива	48

В.8.5.3 Заполнение 4-й строки приведено в таблице В.17.

Таблица В.17

Столбец	Характеристика значения в соответствующей клеточке	Значения в примере
A	Коэффициент a'_x	2,9

Столбец	Характеристика значения в соответствующей клеточке	Значения в примере
B	Коэффициент b'_x	0,08
C	Коэффициент c'_x	0
D	Коэффициент a''_{ox}	3,6
E	Коэффициент b''_{ox}	0,04
F	Коэффициент c''_{ox}	0
G	Признак учета магниторельсовых тормозов. При их учете задается «1», в другом случае – «0»	0
H	Время выхода на полное значение нажатия тормозных колодок локомотива $t_{2,2}$, с	30,4
I	Время выхода на полное значение нажатия тормозных колодок вагонов $t_{2,2}$, с	30
J	Сумма нажатий тормозных колодок вагонов, кгс	151200
K	Масса состава поезда, т	1095
L	Коэффициент a_1 (B.19) для вагонов	0,603
M	Коэффициент a_2 (B.19) для вагонов	0,005
N	Коэффициент a_3 (B.19) для вагонов	100
O	Коэффициент a_4 (B.19) для вагонов	0,02
P	Коэффициент a_5 (B.19) для вагонов	100
Q	Коэффициент a_6 (B.19) для вагонов	0
R	Коэффициент a_7 (B.19) для вагонов	100
S	Коэффициент a_8 (B.19) для вагонов	1,406
T	Коэффициент a_9 (B.19) для вагонов	100
U	Количество тормозных колодок вагонов	112

В.8.5.4 В клеточке **T7** запишем начальную ординату пройденного пути (0), а в клеточке **U7** в виде формулы запишем «=B2». В клеточке **A8** записываем время от начала торможения (1), клетки **A8-A207** заполняем в виде прогрессии с шагом 1 (Правка-Заполнить-Прогрессия).

В.8.5.5 Другие клетки 8-го ряда заполняем согласно таблицы В.18

Таблица В.18

Столбец	Характеристика значения в соответствующей клеточке	Формула, которая записана в клеточке
B	Начальная скорость, км/ч	=ЕСЛИ(U7>0;U7;0)
C	Коэффициент k_t для локомотива	=ЕСЛИ(A8<\$H\$4;\$D\$2*A8*A8*A8+\$E\$2*A8*A8+\$F\$2*A8;1)
D	Реализованное значение $\sum K$ для локомотива, кгс	=C8*\$J\$2
E	Коэффициент трения колодок локомотив	=\$L\$2*((\$M\$2*D8/\$U\$2+\$N\$2)/(\$O\$2*D8/\$U\$2+\$P\$2))*(\$Q\$2*B8+\$R\$2)/(\$S\$2*B8+\$T\$2)

Столбец	Характеристика значения в соответствующей клеточке	Формула, которая записана в клеточке
F	Коэффициент k_t для вагонов	=ЕСЛИ(A8<\$I\$4;\$G\$2*A8*A8*A8+\$H\$2*A8*A8+\$I\$2*A8;1)
G	Реализованное значение $\sum K$ для вагонов, кгс	=F8*\$J\$4
H	Коэффициент трения колодок вагонов	=\$L\$4*(\$M\$4*G8/\$U\$4+\$N\$4)/(\$O\$4*G8/\$U\$2+\$P\$4)*(\$Q\$4*B8+\$R\$4)/(\$S\$4*B8+\$T\$4)
I	Суммарная тормозная сила от пневмотормозов, кгс	=D8*E8+G8*H8
J	Тормозная сила от магниторельсовых тормозов, кгс	=ЕСЛИ(A29<5;0,2*A29*\$G\$4*21940*EXP(-0,0184*B29); \$G\$4*21940*EXP(-0,0184*B29))
K	Суммарная тормозная сила, кгс	=I8+J8
L	w'_x , кгс/т	=\$A\$4+\$B\$4*B8+\$C\$4*B8*B8
M	w''_{ox} , кгс/т	=\$D\$4+\$E\$4*B8+\$F\$4*B8*B8
N	w_x , кгс/т	=(L8*\$K\$2+M8*\$K\$4)/(\$K\$2+\$K\$4)
O	r , кгс/т	=\$A\$2+N8+K8/(\$K\$2+\$K\$4)
P	Δv , км/ч	=O8/30
Q	Средняя скорость, км/ч	=B8-P8/2
R	Начальный путь, м	=T7
S	ΔS , м	=Q8/3,6
T	Конечный путь, м	=R8+S8
U	Скорость в конце, км/ч	=B8-P8

После заполнения 8-й строки она копируется во все следующие строки.

В.8.5.6 Для расчетов нужно заполнить соответствующими значениями 2-ю, 4-ю и 7-ю строки. В колонке **U** находим момент достижения нулевой скорости. Изменяя начальное значение скорости в клеточке **B3**, находим такое значение, при котором путь торможения не превысит 300 метров. Расчеты выполняются для всего диапазона уклонов, пока начальная скорость не превысит конструкционную скорость подвижного состава.

В.8.5.7 Результаты расчетов в отдельных колонках для приведенных данных представлены в таблице В.19.

Таблица В.19

A	E	H	I	N	P	Q	S	T	U
1	0,379	0,431	8809	4,764	-0,97	27,3	7,6	8	27,8
2	0,342	0,420	16257	4,813	-0,80	28,2	7,8	15	28,6
3	0,314	0,410	22700	4,853	-0,65	28,9	8,0	23	29,2
4	0,292	0,402	28364	4,885	-0,52	29,5	8,2	32	29,7
5	0,275	0,396	33404	4,911	-0,40	29,9	8,3	40	30,1
6	0,261	0,390	37930	4,931	-0,30	30,3	8,4	48	30,4
7	0,249	0,385	42025	4,946	-0,21	30,6	8,5	57	30,7

A	E	H	I	N	P	Q	S	T	U
8	0,240	0,380	45750	4,956	-0,12	30,7	8,5	65	30,8
9	0,232	0,377	49156	4,962	-0,04	30,8	8,6	74	30,8
10	0,226	0,374	52282	4,964	0,03	30,8	8,6	82	30,8
11	0,220	0,371	55160	4,963	0,10	30,7	8,5	91	30,7
12	0,216	0,369	57818	4,958	0,16	30,6	8,5	100	30,5
13	0,212	0,368	60277	4,950	0,21	30,4	8,5	108	30,3
14	0,209	0,366	62557	4,940	0,26	30,2	8,4	116	30,1
15	0,207	0,366	64674	4,927	0,31	29,9	8,3	125	29,7
16	0,205	0,365	66643	4,911	0,36	29,6	8,2	133	29,4
17	0,204	0,365	68477	4,893	0,40	29,2	8,1	141	29,0
18	0,203	0,365	70186	4,873	0,44	28,8	8,0	149	28,6
19	0,202	0,366	71782	4,851	0,47	28,3	7,9	157	28,1
20	0,202	0,367	73273	4,828	0,51	27,8	7,7	165	27,6
21	0,202	0,368	74668	4,803	0,54	27,3	7,6	172	27,0
22	0,203	0,369	75974	4,776	0,57	26,8	7,4	180	26,5
23	0,204	0,371	77200	4,748	0,59	26,2	7,3	187	25,9
24	0,205	0,373	78353	4,718	0,62	25,6	7,1	194	25,3
25	0,206	0,375	79439	4,687	0,64	24,9	6,9	201	24,6
26	0,208	0,377	80465	4,655	0,67	24,3	6,7	208	23,9
27	0,210	0,379	81437	4,622	0,69	23,6	6,6	214	23,3
28	0,212	0,382	82364	4,588	0,71	22,9	6,4	221	22,6
29	0,214	0,385	83251	4,552	0,73	22,2	6,2	227	21,8
30	0,217	0,388	83961	4,516	0,74	21,5	6,0	233	21,1
31	0,221	0,391	84601	4,479	0,75	20,7	5,8	238	20,3
32	0,225	0,394	85460	4,442	0,77	19,9	5,5	244	19,6
33	0,228	0,398	86359	4,403	0,79	19,2	5,3	249	18,8
34	0,232	0,401	87303	4,363	0,81	18,4	5,1	254	18,0
35	0,235	0,405	88294	4,323	0,83	17,5	4,9	259	17,1
36	0,239	0,408	89337	4,281	0,86	16,7	4,6	264	16,3
37	0,244	0,412	90437	4,239	0,88	15,8	4,4	268	15,4
38	0,248	0,417	91598	4,195	0,90	14,9	4,1	272	14,5
39	0,253	0,421	92828	4,150	0,93	14,0	3,9	276	13,6
40	0,258	0,426	94132	4,103	0,96	13,1	3,6	280	12,6
41	0,264	0,431	95519	4,055	0,99	12,1	3,4	283	11,6
42	0,270	0,436	96997	4,006	1,02	11,1	3,1	286	10,6
43	0,277	0,441	98579	3,955	1,06	10,1	2,8	289	9,5
44	0,284	0,447	100275	3,902	1,09	9,0	2,5	292	8,4
45	0,292	0,453	102101	3,847	1,13	7,9	2,2	294	7,3
46	0,300	0,460	104075	3,791	1,18	6,7	1,9	296	6,1
47	0,309	0,467	106218	3,732	1,22	5,5	1,5	297	4,9
48	0,320	0,474	108556	3,671	1,28	4,3	1,2	298	3,6
49	0,332	0,482	111121	3,607	1,33	3,0	0,8	299	2,3
50	0,345	0,491	113954	3,541	1,40	1,6	0,4	300	0,9
51	0,360	0,501	117105	3,471	1,47	0,2	0,0	300	-0,6

В.8.5.8 Для грузового и порожнего направлений расчеты выполняются отдельно, поскольку значение массы вагонов, и соответствующее сопротивление движению в этих случаях отличаются.

В.8.5.9 По результатам расчетов можно построить диаграмму зависимости $V=f(S)$. В таблице В.20 приведены результаты расчетов для приведенных данных при разных значениях уклона.

Таблица В.20

Уклон, на котором происходит экстренное торможение, ‰	Максимальная скорость, при которой путь торможения не превышает 300 метров, км/ч
-40	26,8
-20	41,1
-10	47,3
0	53,0
10	58,4
20	63,5

В.8.5.10 Полученные результаты для последующих тяговых расчетов целесообразно аппроксимировать линейной зависимостью. Для этого следует в Microsoft® Office Excel построить график зависимости скорости V_{\max} от уклона i и на графике добавить линию тренда. В нашем случае была получена зависимость

$$V_{\max} = a_{z_{\max}} i + b_{z_{\max}} = 0,609 \cdot i + 52,4. \quad (\text{В.55})$$

В.8.5.11 Готовую таблицу Microsoft® Office Excel с приведенными формулами для решения тормозной задачи можно взять в Internet на сайте <http://www.kipdiit.dp.ua>.

В.9 Подготовка продольного профиля к выполнению расчетов

В.9.1 При графическом выполнении расчетов методом МПС или при выполнении их с помощью компьютера в случаях, когда не учитывается реальное положение профиля и плана по всей длине поезда, для уменьшения ошибок и упрощения расчетов следует сделать условный (спрямленный) профиль с элементами как можно большей длины. В случае использования специализированных компьютерных программ, которые учитывают длину поезда, реальное положение (план и профиль) пути, который находится под поездом, спрямления профиля выполнять не нужно.

В.9.2 При спрямлении профиля объединяются соседние элементы профиля, и учитывается сопротивление от кривых. Совмещаются только близкие по значению уклоны одного знака. Допускается совмещать элементы, если разница между действительным и спрямленным элементами профиля по высоте не превысит 2 м.

В.9.3 Спрямленный уклон выпрямленного элемента профиля для n объединенных элементов определяется по формуле

$$i_c = \frac{\sum_{j=1}^n i_j l_j}{\sum_{j=1}^n l_j}, \quad (\text{В.56})$$

а его длина – $l_c = \sum_{j=1}^n l_j$. Для каждого из элементов, которые объединяются, должно выполняться условие $l_j |i_j - i_c| \leq 2000$.

Для каждой кривой, которая приходится на спрямленный элемент профиля, вычисляется дополнительное сопротивление Δi_c , отнесенное к спрямленному элементу

$$\Delta i_c = \frac{w_R \cdot l_R}{l_c}. \quad \text{Значение } w_R \text{ вычисляется по формулам (В.8, В.9). Если на элементе}$$

расположена только часть кривой, в качестве l_R принимается длина этой части.

В.9.4 Поскольку сопротивление от кривых всегда имеет положительное значение, спрямленный профиль создается отдельно для прямого и обратного направлений. Полный спрямленный уклон определяется как сумма i_c и Δi_c .

В.10 Определение скорости, времени движения и энергозатрат поезда

В.10.1 При использовании специализированного программного обеспечения все расчеты выполняются автоматически с учетом всех особенностей, которые перечислены выше.

В.10.2 При графическом выполнении расчетов методом МПС для учета снижения коэффициента сцепления в кривых малых радиусов графики $f_o - w_o$ следует строить отдельно для прямой и кривых малых радиусов. Также эти графики строятся отдельно для постоянных и передвижных путей. Если движение происходит вагонами вперед или в условиях ветровой нагрузки, дополнительное удельное сопротивление от этих факторов включается в состав основного удельного сопротивления w_o . Сопротивление от кривых включается в спрямленный уклон i_c .

В.10.3 Расчеты можно выполнить с помощью Microsoft® Office Excel или аналогичной программы. В этом случае нужно выполнить расчеты в тяговом режиме в прямом направлении и в режиме служебного торможения в обратном.

В.10.3 Для компьютерных расчетов используется численная интеграция с шагом интеграции по пути ΔS , м. В этом случае в тяговом режиме

$$\Delta V = \sqrt{V_n^2 + 0,24 \cdot (f_o - w - i_c) \cdot \Delta S} - V_n; \quad (\text{B.57})$$

$$V_k = V_n + \Delta V; \quad (\text{B.58})$$

$$\Delta t = \frac{60 \cdot \Delta S}{500 \cdot (V_n + V_k)}, \quad (\text{B.59})$$

где ΔV – изменение скорости, км/ч;

V_n – скорость поезда в начале шага интегрирования, км/ч;

V_k – скорость поезда в конце шага интегрирования, км/ч;

Δt – изменение времени, минут.

В.10.4 В режиме служебного торможения (расчет в обратном направлении)

$$\Delta V = \sqrt{V_n^2 + 0,24 \cdot (k_{cc} \cdot b_z + w + i_c) \cdot \Delta S} - V_n; \quad (\text{B.60})$$

$$\Delta t = \frac{60 \cdot \Delta S}{1000 \cdot \left(V_n + \frac{\Delta V}{2} \right)}, \quad (\text{B.61})$$

где k_{cc} – коэффициент использования тормозной силы во время служебного торможения, принимается 0,5.

В.10.5 Если скорость ограничивается, то следует определить нужную для ее обеспечения ограниченную силу тяги:

$$F = (P + Q) \cdot (w_o + i_c). \quad (\text{B.62})$$

При отрицательных значениях принимается нулевое значение.

В.10.6 Механическая работа локомотива определяется суммированием произведений силы тяги локомотива на интервалы пути, пройденные в тяговом режиме

$$R_m = \sum F \cdot \Delta S. \quad (\text{B.63})$$

В.10.7 Определение механической работы и расходов топлива или электроэнергии делается путем их подсчетов на каждом интервале. Для упрощения расчетов (особенно при неполном использовании силы тяги) можно предварительно при помощи тренда в Microsoft® Office Excel определить линейную зависимость потребляемой электровозом силы тока I (А) от силы тяги F_o (кГс):

$$I = a_I F_o + b_I. \quad (\text{B.64})$$

Почасовые расходы топлива g_m (кг/ч) при фиксированной мощности двигателя являются практически постоянными и определяются из справочных данных. При ограниченном использовании силы тяги почасовые расходы топлива определяются по мощности, которая отвечает установленному положению контролера.

В.10.8 Расходы топлива G (кг) или электроэнергии A (кВт·ч) в тяговом режиме определяются добавлением этих расходов на каждом интервале интегрирования:

$$G = \frac{\sum g_m \cdot \Delta t}{60}; \quad (B.65)$$

$$A = 1,17 \frac{\sum n_o \cdot U_o \cdot I_o \cdot \Delta t}{60}, \quad (B.66)$$

где n_o - количество электродвигателей;

U_o - напряжение на электродвигателе, тыс. В;

I_o - ток электродвигателя, А.

В.10.9 В расчетах можно принять, что все двигатели соединены параллельно, тогда

$$n_o \cdot I_o = I \quad (B.67)$$

и

$$A = 1,17 \frac{\sum U_o \cdot I \cdot \Delta t}{60}. \quad (B.68)$$

Для электровозов переменного тока напряжение на электродвигателе определяется для расчетной позиции в виде линейной зависимости от тока двигателя, а для постоянного тока - принимается постоянной и равной напряжению в контактной сети.

В.10.10 Расходы топлива g_{en} или электроэнергии a_{en} на собственные нужды определяются через соответствующие значения п. В.14 и время движения.

В.10.11 С достаточной точностью можно определять расходы топлива и электроэнергии через механическую работу локомотива:

$$G = (0,8 \div 0,85) \cdot R_m; \quad (B.69)$$

$$A = k_e \cdot R_m, \quad (B.70)$$

де k_e принимается 3,2 для постоянного тока и 3,3 – для переменного.

В.10.12 Интервал интегрирования ΔS принимается не менее 50 м. Все значения рассчитываются при скорости в начале интервала интеграции. Для повышения точности можно прибавить колонки с одной или несколькими итерациями с определением значений по средней скорости интервала.

В.10.13 Рассмотрим в качестве примера заполнение клеточек таблицы Microsoft® Office Excel для тягового расчета. После создания такой таблицы ее можно будет многократно использовать для разных данных.

В.10.13.1 В таблице В.21 приведено заполнение клеточек с начальными данными для расчетов. Над этими клеточками можно самостоятельно записать пояснения к ним.

Таблица В.21

Клеточка	Характеристика значения	Значение или формула
B2	Масса локомотива P , т	368
C2	Масса вагонов Q , т	2470
D2	Начальная скорость на участке, км/ч	0
E2	Коэффициент для расчета основного удельного сопротивления движению локомотива a'_o	2,6
F2	Коэффициент для расчета основного удельного сопротивления движению локомотива b'_o	0,07

Клеточка	Характеристика значения	Значение или формула
G2	Коэффициент для расчета основного удельного сопротивления движению локомотива c'_o	0,0025
H2	Коэффициент для расчета основного удельного сопротивления движению вагонов a''_o	3,6
I2	Коэффициент для расчета основного удельного сопротивления движению вагонов b''_o	0,04
J2	Коэффициент для расчета основного удельного сопротивления движению вагонов c''_o	0
K2	Коэффициент a_ψ (B.37)	0,21
L2	Коэффициент b_ψ (B.37)	7
M2	Коэффициент c_ψ (B.37)	53
N2	Коэффициент d_ψ (B.37)	3
O2	Коэффициент e_ψ (B.37)	0
P2	Коэффициент h_ψ (B.40)	250
Q2	Коэффициент m_ψ (B.40)	1,55
R2	Коэффициент n_ψ (B.40)	500
S2	Коэффициент z_ψ (B.40)	1,1
T2	Предельное значение радиуса, при котором уже не учитывается уменьшение коэффициента сцепления	500
A5	Количество тормозных колодок у локомотива	48
B5	Сумма нажатий тормозных колодок локомотива, кгс	206400
C5	Коэффициент a_1 (B.19) для локомотива	0,78
D5	Коэффициент a_2 (B.19) для локомотива	0,016
E5	Коэффициент a_3 (B.19) для локомотива	100
F5	Коэффициент a_4 (B.19) для локомотива	0,080
G5	Коэффициент a_5 (B.19) для локомотива	100
H5	Коэффициент a_6 (B.19) для локомотива	0
I5	Коэффициент a_7 (B.19) для локомотива	100
J5	Коэффициент a_8 (B.19) для локомотива	3,18
K5	Коэффициент a_9 (B.19) для локомотива	100
L5	Коэффициент использования тормозной силы при служебном торможении	0,5
M5	Максимальная скорость для подвижного состава, км/ч	65
N5	Вспомогательный коэффициент для расчета удельного основного сопротивления движению поезда в тяговом режиме	$=(E2*\$B\$2+H2*\$C\$2)/(\$B\$2+\$C\$2)$
O5	То же	$=(F2*\$B\$2+I2*\$C\$2)/(\$B\$2+\$C\$2)$
P5	То же	$=(G2*\$B\$2+J2*\$C\$2)/(\$B\$2+\$C\$2)$
A8	Количество тормозных колодок у вагонов	192
B8	Сумма нажатий тормозных колодок вагонов, кгс	345600
C8	Коэффициент a_1 (B.19) для вагонов	0,603

Клеточка	Характеристика значения	Значение или формула
D8	Коэффициент a_2 (В.19) для вагонов	0,005
E8	Коэффициент a_3 (В.19) для вагонов	100
F8	Коэффициент a_4 (В.19) для вагонов	0,02
G8	Коэффициент a_5 (В.19) для вагонов	100
H8	Коэффициент a_6 (В.19) для вагонов	0
I8	Коэффициент a_7 (В.19) для вагонов	100
J8	Коэффициент a_8 (В.19) для вагонов	3,18
K8	Коэффициент a_9 (В.19) для вагонов	100
L8	Коэффициент $a_{z,max}$ (В.23)	0,545
M8	Коэффициент $b_{z,max}$ (В.23)	52,9
N8	Коэффициент a'_x	2,8
O8	Коэффициент b'_x	0,0023
P8	Коэффициент c'_x	0,00075
Q8	Вспомогательный коэффициент для расчета удельного основного сопротивления движению поезда в режиме холостого хода	$=(N8*B2+H2*C2)/(B2+C2)$
R8	То же	$=(O8*B2+I2*C2)/(B2+C2)$
S8	То же	$=(P8*B2+J2*C2)/(B2+C2)$
C10- Q10	Значение скоростей (км/ч) в таблице зависимости касательной силы тяги от скоростей	0; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 60; 70; 80; 90
C11- Q11	Соответствующие значения касательной силы тяги (кгс) из тяговой характеристики локомотива. Значения в диапазоне действия ограничения по сцеплению можно задавать равными $F_{зп}$, поскольку они будут рассчитываться в процессе расчета	126600; 126600; 126600; 126600; 126600; 99000; 63000; 40500; 27900; 20400; 15900; 10500; 7800; 0; 0
S10	Коэффициент a_l (В.64). Для тепловоза задать «0».	0,0457
T10	Коэффициент b_l (В.64). Для тепловоза задать g_m .	820
U10	Количество параллельно соединенных электродвигателей. Для тепловоза задать «1»	12
V10	Коэффициент зависимости напряжения двигателя от тока. Для тепловоза и электровоза постоянного тока задать «0»	-0,0007
W10	Постоянный член зависимости напряжения двигателя от тока. Для тепловоза задать «1», а для электровоза постоянного тока – напряжение контактной сети в тысячах вольт	1,7
X10	Коэффициент, учитывающий потери электроэнергии. Для тепловоза задать «1»	1,17

В.10.13.2 Непосредственно тяговый расчет происходит, начиная с 17-й строки. В 16-й строке в клеточках **C16**, **T16**, **U16**, **AG16**, **AJ16** задаются начальные значения «0». В клеточку **Q16** необходимо ввести формулу «=D2», а в клеточку **AH16** начальную проектную отметку, м. В столбце **В**, начиная с клеточки **B17** и далее, задается шаг интегрирования. Поскольку при разгоне поезда скорость изменяется очень быстро, в начале задается шаг интеграции 5, 5, 10, 15, 15 метров, а после этого для всех других клеточек – 50 (Правка-Заполнить). В клеточке **C17** для подсчета пройденного пути задается формула «=C16+B17». После этого эта клеточка копируется в столбец **С**, начиная с 18-й строки и далее. Если длина

какого-то элемента профиля не является кратной 50 м, то в соответствующей клеточке записываем шаг интегрирования меньше 50 м. Количество строк в столбцах **В** и **С**, которые необходимо заполнять, определяется длиной участка. Значение шага интегрирования по окончании участка должно равняться «0».

В.10.13.3 В столбце **А**, начиная с клеточки **А17**, записываем значение радиуса «1000», что не приводит к уменьшению сцепления (Правка-Заполнить). После этого, согласно плана участка, в соответствующие клеточки столбца записываем значение радиусов кривых в метрах. В столбце **Д**, начиная с 17-й строки, записываем спрямленные уклоны продольного профиля в тысячных. Для спусков используем отрицательные значения.

В.10.13.4 В 17-й строке в столбце **Е** и далее записываются формулы, в соответствии с таблицей В.22.

Таблица В.22

Столбец	Характеристика значения в соответствующей клеточке	Формула, записанная в клеточке
Е	Скорость в начале шага интегрирования, км/ч	=Q16
Ф	Максимально-допустимая скорость, км/ч	=ЕСЛИ((L\$8*D17+M\$8)>M\$5;M\$5;L\$8*D17+M\$8)
Г	Скорость в таблице с тяговой характеристикой, меньше скорости в столбце Е	=ГПР(E17;C\$10:Q\$10;1;ИСТИНА)
Н	Скорость в таблице с тяговой характеристикой, больше скорости в столбике Е	=ВЫБОР(ПОИСКПОЗ(G17;C\$10:Q\$10;0)+1; C\$10;D\$10;E\$10;F\$10;G\$10;H\$10;I\$10;J\$10;K\$10;L\$10; M\$10;N\$10;O\$10;P\$10;Q\$10;0)
И	Сила тяги (кгс), соответствующая скорости в столбце Г	=ГПР(E17;C\$10:Q\$11;2;ИСТИНА)
Ж	Сила тяги (кгс), соответствующая скорости в столбце Н	=ВЫБОР(ПОИСКПОЗ(I17;C\$11:Q\$11;0)+1; C\$11;D\$11;E\$11;F\$11;G\$11;H\$11;I\$11;J\$11;K\$11;L\$11; M\$11;N\$11;O\$11;P\$11;Q\$11;0)
К	Сила тяги (кгс), соответствующая скорости в столбце Е	=(E17-G17)*(I17-J17)/(G17-H17)+I17
Л	Коэффициент, учитывающий уменьшение коэффициента сцепления в кривых	=ЕСЛИ(A17>=T\$2;1;(\$P\$2+Q\$2*A17)/(\$R\$2+S\$2*A17))
М	Сила тяги (кгс), соответствующая ограничению по коэффициенту сцепления	=1000*B\$2*L17*(K\$2+L\$2/(M\$2+N\$2*E17)-O\$2*E17)

Стол-бец	Характеристика значения в соответствующей клеточке	Формула, записанная в клеточке
N	Сила тяги (кгс), которая может быть реализованной	=ЕСЛИ(М17<К17;М17;К17)
O	Основное удельное сопротивление движению поезда, кгс/т	=\$N\$5+\$O\$5*E17+\$P\$5*E17*E17
P	Изменение скорости на конец шага интегрирования для режима полной тяги, км/ч	=КОРЕНЬ(E17*E17+0,24*(N17/(\$B\$2+\$C\$2)-O17-D17)*B17)-E17
Q	Скорость на конце шага интегрирования, км/ч	=ЕСЛИ((E17+P17)>F17;F17;E17+P17)
R	Потребная сила тяги (кгс)	=ЕСЛИ(Q17=E17;ЕСЛИ((\$B\$2+\$C\$2)*(O17+D17)>0;(\$B\$2+\$C\$2)*(O17+D17);0);N17)
S	Изменение времени на конец шага интегрирования, мин.	=60*B17/(500*(E17+Q17))
T	Время движения поезда, мин.	=T16+S17
U	Механическая работа локомотива, тысячи кгс·км	=U16+R17*B17/1000000
V	Скорость служебного торможения на конец шага интегрирования, км/ч	=ЕСЛИ(AB18>=\$M\$5;\$M\$5;AB18)
W	Удельное основное сопротивление в режиме торможения, кгс/т	=\$Q\$8+\$R\$8*V17+\$S\$8*V17*V17
X	Полная тормозная сила локомотива, кгс	=\$B\$5*\$C\$5*(\$D\$5*\$B\$5/\$A\$5+\$E\$5)/(\$F\$5*\$B\$5/\$A\$5+\$G\$5)*(\$H\$5*V17+\$I\$5)/(\$J\$5*V17+\$K\$5)
Y	Полная тормозная сила вагонов, кгс	=\$B\$8*\$C\$8*(\$D\$8*\$B\$8/\$A\$8+\$E\$8)/(\$F\$8*\$B\$8/\$A\$8+\$G\$8)*(\$H\$8*V17+\$I\$8)/(\$J\$8*V17+\$K\$8)
Z	Удельная тормозная сила, кгс/т	=(X17+Y17)/(\$B\$2+\$C\$2)
AA	Изменение скорости на конец шага интегрирования, км/ч	=КОРЕНЬ(V17*V17+0,24*(\$L\$5*Z17+W17+D17)*B17)-V17
AB	Скорость служебного торможения в начале шага интегрирования, км/ч	=ЕСЛИ(B17=0;0;V17+AA17)
AC	Изменение времени на конец шага интегрирования, мин.	=ЕСЛИ(B17=0;0;60*B17/(1000*(V17+AA17/2)))

Столбец	Характеристика значения в соответствующей клеточке	Формула, записанная в клеточке
AD	Время движения поезда в режиме служебного торможения, мин.	=AD18+AC17
AE	Сила тока (А) или расход топлива (кг/ч) на интервале интегрирования	=\$S\$10*R17+\$T\$10
AF	Вспомогательное значение (А·ч) или (кг)	=AE17*S17/60
AG	Расход электроэнергии (кВт·ч) или топлива (кг)	=AG16+\$X\$10*AF17*(\$V\$10*AE17/\$U\$10+\$W\$10)
AH	Проектная отметка на конец интервала интегрирования, м	=AH16+B17*D17/1000
AI	$I_o^2 \cdot \Delta t$ (см. п. В.11)	=(AE17/\$U\$10)*(AE17/\$U\$10)*S17
AJ	$\sum I_o^2 \cdot \Delta t$ (см. п. В.11)	=AJ16+AI17
AK	Эффективный струм I_e , А (см. п. В.11)	=КОРЕНЬ(AJ17/T17)

В.10.13.5 После записи всех формул они копируются и вставляются во все строки до конца участка. Расчет автоматически выполняется. При этом тяговый режим рассчитывается в прямом направлении, а тормозной режим - в обратном. Проанализировав последние строки в столбцах **Q** и **AB**, определяем момент перехода к служебному торможению. Для этого момента берем время хода (мин.) в тяговом режиме в столбце **T** и в режиме служебного торможения в столбце **AD**. Для этого же момента в столбце **U** определяем механическую работу локомотива (тысячи кгс·км) и расход электроэнергии (кВт·ч) или топлива (кг) в столбце **AG**. Расходы энергии и топлива на собственные нужды определяются отдельно через время хода и почасовые расходы на собственные нужды. В столбце **AH** получаем приблизительные значения проектной отметки, поскольку в спрямленные уклоны включается сопротивление от кривых.

В.10.13.6 Для наглядности можно построить график скорости (Точечная диаграмма), взяв в качестве **X** значения пути (столбик **C**), а в качестве **Y** – значения скорости (столбики **Q** и **AB**).

В.10.13.7 Готовую таблицу Microsoft® Office Excel с приведенными формулами для выполнения тяговых расчетов можно взять в Internet на сайте <http://www.kipdiit.dp.ua>.

В.11 Проверка электродвигателей на перегрев

В.11.1 Для детальных расчетов перегрева нужно рассчитывать перегрев обмоток двигателя по достаточно сложным зависимостям.

В.11.2 Для проверки электродвигателей на перегрев при проектировании карьерного транспорта можно воспользоваться упрощенной методикой. По этой методике на самом сложном участке нужно определить эффективный ток двигателя

$$I_e = \sqrt{\frac{\sum I_o^2 \cdot \Delta t}{T}}, \quad (B.71)$$

где T – время хода поезда, мин.

Полученное значение тока сравнивается с 15- или 30-минутным током двигателя электровоза I_t . Если $I_e \leq (0,85 \div 0,90)I_t$, то можно считать, что перегрев не состоится. При отсутствии значений соответствующего тока можно использовать значение часового тока из табл. В.12.

В.12 Выбор подвижного состава

В.12.1 При выборе подвижного состава исходят в первую очередь из его технических характеристик. При сравнении нескольких возможных вариантов подвижного состава лучше всего сравнивать их между собой с использованием показателя чистого дисконтного дохода (ЧДД), который будет изменяться во времени. Для вычисления ЧДД используют формулу (В.28).

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T \frac{[(D_t - B_t - \text{ПП}_t) - K_t]}{(1 + E_m)^t}, \quad (\text{В.72})$$

где ЧДД - чистый дисконтный доход;

D_t - прогнозные годовые доходы, которые будут получены от эксплуатации карьера;

B_t - прогнозные годовые эксплуатационные расходы (без амортизационных отчислений);

ПП_t - прогнозная величина налога на прибыль по налоговому учету в расчетном году;

K_t - прогнозные годовые капиталовложения;

E_m - модифицированная норма дисконта;

t - номер расчетного года: $t=0, 1, 2, 3, \dots, T$. T - срок сравнения вариантов, который равняется сроку эксплуатации.

В.12.2 Величина D_t определяется как доход без налога на добавленную стоимость, который будет получен от реализации продукции карьера. Величина B_t определяется как суммарные эксплуатационные расходы (материалы, заработная плата, начисления на заработную плату, топливо, электроэнергия и другие расходы) на движение поездов и содержание подвижного состава, и расходы, связанные с содержанием инфраструктуры (путь, искусственные сооружения, контактная сеть, СЦБ, телекоммуникации, связь, станции и другое). Величина K_t определяется как годовая суммарная стоимость (без НДС) строительства, реконструкции и технической переоснастки инфраструктуры пути, инвестиций на приобретение подвижного состава и реконструкцию.

В.12.3 Прогнозная величина налога на прибыль ПП_t определяется за формулой $\text{ПП}_t = (D_t - B_t - A_t) \cdot s$, где A_t - амортизационные отчисления определенные по правилам налогового учета; s - ставка налога на прибыль.

В.12.4 При сравнении двух вариантов можно считать, что значения D_t и ПП_t не будут отличаться, а капиталовложения делаются только в нулевой срок. В таком случае разница между значениями ЧДД может определяться по формуле

$$\Delta \text{ЧДД}_{1-2} = \text{ЧДД}_2 - \text{ЧДД}_1 = K_1 - K_2 + \sum_{t=0}^T \frac{B_{1t} - B_{2t}}{(1 + E_m)^t}. \quad (\text{В.73})$$

Если $\Delta \text{ЧДД}_{1-2} > 0$, то второй вариант по показателю доходности лучше первого.

В.12.5 Для приблизительной оценки можно считать, что эксплуатационные расходы по годам одинаковы. Тогда при $T=15$ и $E_m=0,1$

$$\Delta \text{ЧДД}_{1-2} = K_1 - K_2 + 7,6 \cdot (B_1 - B_2). \quad (\text{В.74})$$

В.12.6 При отсутствии информации можно условно определять разницу между эксплуатационными расходами как разницу расходов на топливо и электроэнергию между вариантами.

В.13 Пример тягового расчета

В.13.1 Рассмотрим тяговый расчет для профиля и плана, заданных в таблице В.23, и информации о подвижном составе, приведенной в таблице В.21. Локомотив ОПЭ2 3 секции, 16 думпкаров ВС105 общей массой 2470 т.

Таблица В.23

Спрямоленный уклон, ‰	Длина, м	Радиус, м	Длина, м
10	300	Пряма	150
16	300	100	250
26	1000	Пряма	100
-2	500	300	150
15	500	Пряма	300
-5	700	450	200
26	500	Пряма	450
0	500	200	250
		Пряма	2450

В.13.2 Заполнив столбцы соответствующей информацией, видим, что торможение начинается после 103-й строки. Значения некоторых строк и столбцов приведены в таблице В.24.

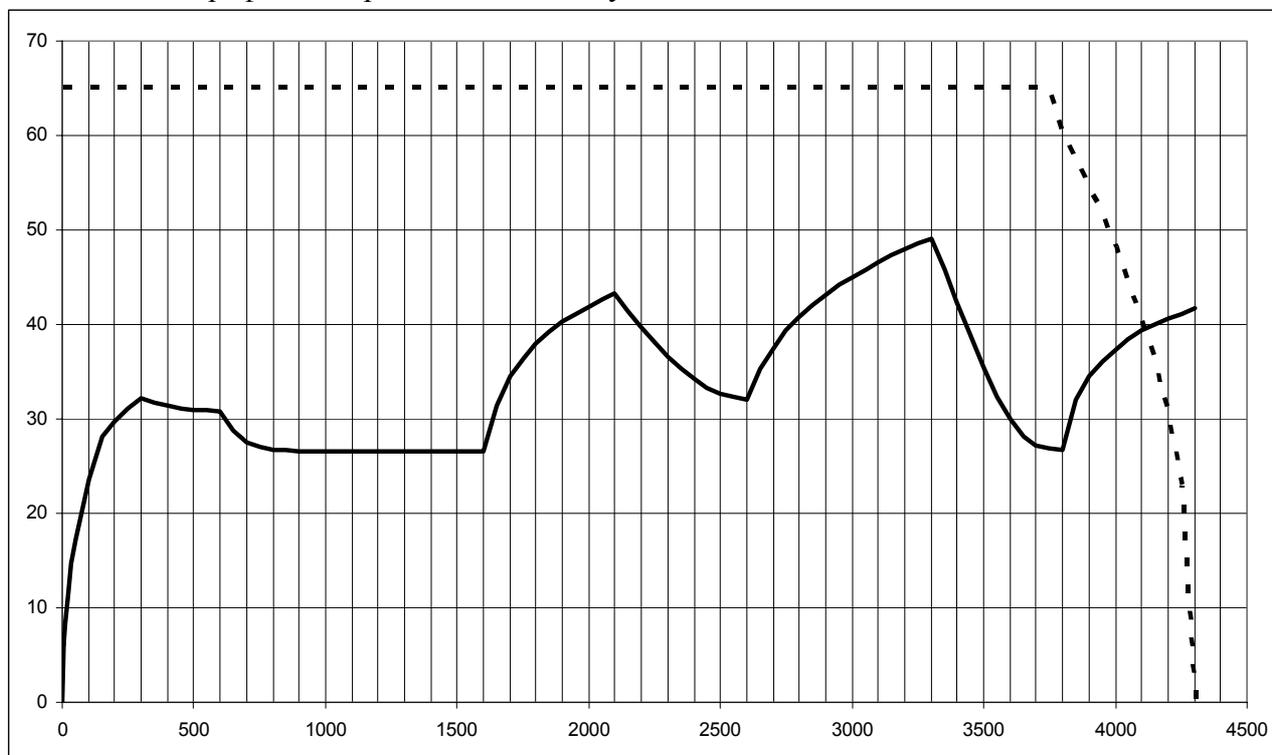
Таблица В.24

№№ ряд.	№№ столбцов																
	A	B	C	D	E	K	M	Q	T	U	V	Z	AB	AD	AE	AG	AK
16			0					0	0	0						0	
17	1000	5	5	10	0,0	126600	125884	6,1	0,1	1	65,0	37,782	65,3	4,3	6573	17	548
18	1000	5	10	10	6,1	126600	113427	8,3	0,1	1	65,0	37,782	65,3	4,3	6004	23	534
19	1000	10	20	10	8,3	126600	110376	11,3	0,2	2	65,0	37,782	65,6	4,3	5864	33	521
20	1000	15	35	10	11,3	126600	106882	14,6	0,3	4	65,0	37,782	66,0	4,3	5704	43	509
21	1000	15	50	10	14,6	126600	103875	17,2	0,3	5	65,0	37,782	66,0	4,3	5567	52	502
22	1000	50	100	10	17,2	126600	101935	23,5	0,5	11	65,0	37,782	68,2	4,3	5478	73	488
23	1000	50	150	10	23,5	126600	98123	28,1	0,6	15	65,0	37,782	68,2	4,2	5304	90	480
24	100	50	200	10	28,1	76327	63752	29,7	0,7	19	65,0	37,782	68,2	4,2	3733	101	458
25	100	50	250	10	29,7	65125	63343	31,1	0,8	22	65,0	37,782	68,2	4,1	3715	112	443
26	100	50	300	10	31,1	57885	62990	32,1	0,9	25	65,0	37,782	68,2	4,1	3465	122	429
27	100	50	350	16	32,1	53408	62757	31,7	1,0	27	65,0	37,782	68,7	4,1	3261	131	416
28	100	50	400	16	31,7	55436	62862	31,4	1,1	30	65,0	37,782	68,7	4,0	3353	140	406
29	1000	50	450	16	31,4	56852	94792	31,1	1,2	33	65,0	37,782	68,7	4,0	3418	150	398
30	1000	50	500	16	31,1	57831	94870	31,0	1,3	36	65,0	37,782	68,7	3,9	3463	159	390
31	300	50	550	16	31,0	58504	81772	30,9	1,4	39	65,0	37,782	68,7	3,9	3494	169	384
32	300	50	600	16	30,9	58964	81804	30,8	1,5	42	65,0	37,782	68,7	3,8	3515	179	379
33	300	50	650	26	30,8	59279	81826	28,8	1,6	45	65,0	37,782	69,6	3,8	3529	190	374
34	1000	50	700	26	28,8	71898	95773	27,6	1,7	48	65,0	37,782	69,6	3,7	4106	202	372
...
75	1000	50	2750	-5	37,6	34023	92825	39,4	5,6	171	65,0	37,782	66,8	1,9	2375	620	341
76	1000	50	2800	-5	39,4	29537	92340	40,8	5,7	172	65,0	37,782	66,8	1,9	2170	625	340
77	1000	50	2850	-5	40,8	26694	91965	42,1	5,7	174	65,0	37,782	66,8	1,8	2040	630	338
78	1000	50	2900	-5	42,1	24825	91659	43,2	5,8	175	65,0	37,782	66,8	1,8	1954	634	337
79	1000	50	2950	-5	43,2	23165	91397	44,1	5,9	176	65,0	37,782	66,8	1,7	1879	638	335
80	1000	50	3000	-5	44,1	21681	91171	45,0	5,9	177	65,0	37,782	66,8	1,7	1811	642	333
81	1000	50	3050	-5	45,0	20370	90975	45,8	6,0	178	65,0	37,782	66,8	1,6	1751	645	332
82	1000	50	3100	-5	45,8	19648	90802	46,6	6,1	179	65,0	37,782	66,8	1,6	1718	649	331
83	1000	50	3150	-5	46,6	18975	90644	47,3	6,1	180	65,0	37,782	66,8	1,5	1687	652	329
84	1000	50	3200	-5	47,3	18346	90501	47,9	6,2	181	65,0	37,782	66,8	1,5	1658	656	328
85	1000	50	3250	-5	47,9	17756	90369	48,6	6,3	182	65,0	37,782	66,8	1,4	1631	659	326
86	1000	50	3300	-5	48,6	17204	90247	49,1	6,3	183	65,0	37,782	66,8	1,4	1606	662	325
87	1000	50	3350	26	49,1	16685	90135	45,8	6,4	184	65,0	37,782	69,6	1,4	1582	665	324

№№ ряд.	№№ столбцов																
	A	B	C	D	E	K	M	Q	T	U	V	Z	AB	AD	AE	AG	AK
88	1000	50	3400	26	45,8	19704	90815	42,3	6,5	185	65,0	37,782	69,6	1,3	1720	669	322
89	1000	50	3450	26	42,3	24391	91590	38,9	6,5	186	65,0	37,782	69,6	1,3	1935	673	321
90	1000	50	3500	26	38,9	30683	92461	35,5	6,6	187	65,0	37,782	69,6	1,2	2222	679	320
91	1000	50	3550	26	35,5	39157	93421	32,4	6,7	189	65,0	37,782	69,6	1,2	2609	685	319
92	1000	50	3600	26	32,4	52122	94425	29,9	6,8	192	65,0	37,782	69,6	1,1	3202	695	318
93	1000	50	3650	26	29,9	63425	95316	28,1	6,9	195	65,0	37,782	69,6	1,1	3719	706	318
94	1000	50	3700	26	28,1	76407	96026	27,3	7,0	199	65,0	37,782	69,6	1,0	4312	719	318
95	1000	50	3750	26	27,3	82706	96391	26,9	7,1	203	64,9	37,812	69,5	1,0	4600	733	320
96	1000	50	3800	26	26,9	85524	96559	26,7	7,2	207	59,9	39,360	64,9	0,9	4728	748	321
97	1000	50	3850	0	26,7	86731	96632	32,0	7,3	212	57,3	40,243	59,9	0,9	4784	761	322
98	1000	50	3900	0	32,0	54186	94583	34,5	7,4	214	54,5	41,228	57,3	0,8	3296	770	321
99	1000	50	3950	0	34,5	42896	93750	36,1	7,5	216	51,4	42,340	54,5	0,8	2780	777	321
100	1000	50	4000	0	36,1	37666	93243	37,4	7,6	218	48,1	43,617	51,4	0,7	2541	783	320
101	1000	50	4050	0	37,4	34461	92874	38,4	7,7	220	44,5	45,113	48,1	0,7	2395	789	319
102	1000	50	4100	0	38,4	31838	92585	39,3	7,7	222	40,5	46,918	44,5	0,6	2275	795	318
103	1000	50	4150	0	39,3	29666	92353	40,0	7,8	223	35,9	49,187	40,5	0,5	2176	800	317
104	1000	50	4200	0	40,0	27872	92165	40,6	7,9	225	30,3	52,249	35,9	0,5	2094	804	316
105	1000	50	4250	0	40,6	26962	92010	41,2	8,0	226	22,9	56,997	30,3	0,4	2052	809	315
106	1000	50	4300	0	41,2	26145	91874	41,7	8,0	227	0,0	80,419	22,9	0,3	2015	814	313

В.13.3 Время движения поезда составляет $7,8+0,5=8,3$ мин. Механическая работа локомотива 223 тыс. кгс·км, расход электроэнергии на тягу – 800 кВт·ч и на собственные нужды – $206 \cdot 8,3/60=28$ кВт·ч. Эффективный ток электродвигателей через минуту движения не превышает 400 А, что менее $0,85 \cdot 500 = 425$ А. Таким образом можно сделать вывод, что двигатели перегреваться не будут.

В.13.4 Графики скорости имеют следующий вид



В.14 Тяговые и другие характеристики подвижного состава карьерного транспорта

В.14.1 Поскольку для промышленного транспорта характеристики локомотивов одного и того же типа могут существенно колебаться в зависимости от оборудования и сцепной массы, при наличии конкретных характеристик следует использовать их.

В.14.2 Для выполнения тяговых расчетов на проектных стадиях можно использовать расчетную зависимость силы тяги от скорости. Для тепловозов значения этих показателей после выхода на автоматическую характеристику можно рассчитывать по формуле В.44 при стопроцентном использовании мощности N .

В.14.3 В пределах действия ограничения силы тяги по сцеплению зависимость силы тяги от скорости можно рассчитывать по формуле В.41. В таблицу Microsoft® Office Excel можно вводить значение $F_{зп}$, поскольку значение силы тяги, ограниченной по сцеплению, там рассчитывается по соответствующим формулам.

В.14.4 Зависимости силы тяги от скорости после ограничения по сцеплению и другие данные можно принимать по таблице В.25.

Таблица В.25

Тепловозы							
ТГК2 (поездной режим)							
V , км/ч	0	0,5	15	30	40	50	60
F , кгс	8400	6000	2700	1300	950	700	500
$g_m = 40 \text{ кг/ч}$				$g_{вп} = 5,5 \text{ кг/ч}$			
ТГМ1 (поездной режим)							
V , км/ч	0	0,5	10	23	36	37	50
F , кгс	13800	8000	5600	2400	2300	1700	1600
$g_m = 71 \text{ кг/ч}$				$g_{вп} = 7 \text{ кг/ч}$			
ТГМ23 (поездной режим)							
V , км/ч	0	0,5	10	25	36	37	60
F , кгс	13200	8500	6750	3750	3200	2100	1900
$g_m = 89 \text{ кг/ч}$				$g_{вп} = 7 \text{ кг/ч}$			
ТГМ3А (поездной режим)							
V , км/ч	0	8,5	15	25	49,5	67,3	70
F , кгс	12000	12000	8720	5200	2750	2280	890
$g_m = 135 \text{ кг/ч}$				$g_{вп} = 10 \text{ кг/ч}$			
ТГМ4 (поездной режим)							
V , км/ч	0	14	20	27	40	50	60
F , кгс	24000	18500	13600	9200	6700	5200	3800
$g_m = 126 \text{ кг/ч}$				$g_{вп} = 10 \text{ кг/ч}$			
ТГМ6 (поездной режим)							
V , км/ч	0	1	10	20	30	60	65
F , кгс	26500	24000	15000	11000	6000	3500	3450
$g_m = 192 \text{ кг/ч}$				$g_{вп} = 11,5 \text{ кг/ч}$			
ТЭМ1							
V , км/ч	0	5	11	22	40	60	90
F , кгс	35400	32100	14300	8500	4920	2640	1050
$g_m = 180 \text{ кг/ч}$				$g_{вп} = 11,5 \text{ кг/ч}$			
ТЭМ2							
V , км/ч	0	7,1	15	25	40	60	100
F , кгс	35400	31000	14550	9100	5900	3900	1660
$g_m = 203 \text{ кг/ч}$				$g_{вп} = 11,5 \text{ кг/ч}$			

ТЭЗ – 1 секция							
V_2 , км/ч	0	13	20	30	50	70	100
F , кгс	29100	29100	20650	13600	8300	5700	3000
$g_m = 356 \text{ кг/ч}$				$g_{en} = 27 \text{ кг/ч}$			
ТЭМ7							
V_2 , км/ч	0	7	15	25	35	60	100
F , кгс	54000	48500	26000	17000	12000	6000	2000
$g_m = 306 \text{ кг/ч}$				$g_{en} = _ \text{ кг/ч}$			
ТЭ10Л – 1 секция							
V_2 , км/ч	0	10	27,5	38	50	62,5	100
F , кгс	38200	31000	22000	16600	12550	10000	6100
$g_m = 501 \text{ кг/ч}$				$g_{en} = 23 \text{ кг/ч}$			
Электровозы постоянного тока							
IV КП							
V_2 , км/ч	20	22	26	30	34	38	42
F , кгс	18000	12000	6600	3600	2200	1500	1100
$I = 0,0389 \cdot F_\delta + 78$				$a_{en} = 25 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ч}$			
ЕЛ2							
V_2 , км/ч	28	30	34	38	42	46	50
F , кгс	23000	17800	11000	7000	5000	4000	3200
$I = 0,0471 \cdot F_\delta + 212$				$a_{en} = 33 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ч}$			
ЕЛ1							
V_2 , км/ч	28	30	32	36	40	45	50
F , кгс	34000	26000	20600	13400	8900	5800	4600
$I = 0,0481 \cdot F_\delta + 308$				$a_{en} = 60 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ч}$			
13Е i 21Е							
V_2 , км/ч	26	28	32	34	38	42	50
F , кгс	28400	20600	13200	11000	7600	6000	4200
$I = 0,0481 \cdot F_\delta + 217$				$a_{en} = \text{кВт} \cdot \text{ч/ч}$			
26Е2М							
V_2 , км/ч	28	30	32	36	40	44	50
F , кгс	38000	29800	22400	15800	11300	9000	6700
$I = 0,062 \cdot F_\delta + 134$				$a_{en} = 60 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ч}$			
ПЭ2М (3000 В)							
V_2 , км/ч	28	30	32	35	40	44	50
F , кгс	25000	20000	16000	10400	7800	6000	4000
$I = 0,0251 \cdot F_\delta + 97$				$a_{en} = \text{кВт} \cdot \text{ч/ч}$			
ПЭ1 (1 секция)							
V_2 , км/ч	28	30	32	35	40	44	50
F , кгс	25000	20000	16000	10400	7800	6000	4000
$I = 0,0251 \cdot F_\delta + 97$				$a_{en} = 110 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ч}$			
Электровозы переменного тока							
Д94							
V_2 , км/ч	30	35	40	45	50	60	70
F , кгс	24500	17500	13000	10000	8000	5000	2500
$I = 0,015 \cdot F_\delta + 80$			$U_\delta = 1,39 - 0,0005 \cdot I_\delta$			$a_{en} = 72 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ч}$	
ЕЛ10 (3 секции)							

$V, \text{ км/ч}$	23	25	27	30	35	40	55
$F, \text{ кгс}$	96000	75000	60000	45000	32600	24500	13500
$I = 0,0667 \cdot F_{\delta} + 1600$			$U_{\delta} = 1,004 - 0,0003 \cdot I_{\delta}$			$a_{\text{ен}} = 206 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ч}$	
ОПЭ1 (3 секции)							
$V, \text{ км/ч}$	26	30	35	40	45	50	60
$F, \text{ кгс}$	102000	73000	47000	32000	21000	15000	8000
$I = 0,0632 \cdot F_{\delta} + 1560$			$U_{\delta} = 1,216 - 0,0002 \cdot I_{\delta}$			$a_{\text{ен}} = 206 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ч}$	
ОПЭ2 (3 секции)							
$V, \text{ км/ч}$	25,5	27	30	35	40	50	70
$F, \text{ кгс}$	99000	84000	63000	40500	27900	15900	7800
$I = 0,0457 \cdot F_{\delta} + 820$			$U_{\delta} = 1,688 - 0,00068 \cdot I_{\delta}$			$a_{\text{ен}} = 206 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ч}$	
ОПЭ1А (3 секции)							
$V, \text{ км/ч}$	25,5	27	30	35	40	50	70
$F, \text{ кгс}$	99000	84000	63000	40500	27900	15900	7800
$I = 0,0457 \cdot F_{\delta} + 820$			$U_{\delta} = 1,216 - 0,0002 \cdot I_{\delta}$			$a_{\text{ен}} = 206 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ч}$	

Использованная литература:

1. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
2. Правила тяговых расчетов для поездной работы промышленных электровозов и тяговых агрегатов постоянного тока. 2-е изд., вып. 4322. – М.: Промтрансниипроект, 1977. – 88 с.
3. Правила тяговых расчетов для поездной работы промышленных электровозов и тяговых агрегатов переменного тока. 2-е изд., вып. 4323. – М.: Промтрансниипроект, 1977. – 78 с.
4. Правила тяговых расчетов для тепловозов на промышленном транспорте. 2-е изд., вып. 4324. – М.: Промтрансниипроект, 1977. – 117 с.
5. Залит Н. Н. Справочник по тепловозам промышленного транспорта. – М.: Транспорт, 1969. – 256 с.
6. Справочник проектировщика промышленного транспорта/ Под ред. А. С. Гельмана. – М.: Стройиздат, 1972. – 232 с.
7. Гребенюк П. Т., Долганов А. Н., Скворцова А. И. Тяговые расчеты: Справочник/ Под ред. П. Т. Гребенюка. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
8. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии с открытым способом разработки. ННТП-13-1-86/МЧМ СССР. – Л.: Гипроруда, 1986. – 260 с.
9. Выбор вида тяги на железных дорогах промышленных предприятий/ Методические указания, вып. 3802. – М.: Промтрансниипроект, 1973. – 108 с.
10. Методические указания по выбору вида тяги, рода тока и величины напряжения на промышленном железнодорожном транспорте металлургических заводов. – М.: МЧМ СССР, 1985. – 51 с.
11. Раков В. А. Локомотивы отечественных железных дорог (1845-1955 гг.). – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1995. – 564 с.
12. Раков В. А. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза (1956-1965 гг.). – М.: Транспорт, 1966. – 248 с.
13. Раков В. А. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза (1966-1975 гг.). – М.: Транспорт, 1979. – 213 с.
14. Раков В. А. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза (1976-1985 гг.). – М.: Транспорт, 1990. – 238 с.
15. Шелест П. А. Тяговые расчеты тепловозов промышленного транспорта. – М.: Транспорт, 1972. – 160 с.

16. Корженевич И. П. Программа расчетов переустройства плана железнодорожного пути RWPlan 1.2. – <http://www.kipdiit.dp.ua>, 2006.
17. Казаринов В. М., Гребенюк П. Т., Клыков Е. В. Методы тормозных расчетов. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 56 с.
18. Изыскания и проектирование железных дорог / Турбин И. В., Гавриленков А. В., Кантор И. И. и др.; Под ред. И. В. Турбина. – М.: Транспорт, 1989. – 479 с.
19. Шульпенков В. М. Выполнение инженерных расчетов на ЭВМ «Наири» при проектировании железных дорог. – Гомель: БелИИЖТ, 1981. – 50 с.
20. Кантор И. И. Изыскания и проектирование железных дорог. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 288 с.