

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА: ПРАКТИКУМ

Кузьменко С.В., Чередниченко С.П., Игнатьев О.Л.



Луганск, 2012

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ, МОЛОДЕЖИ И
СПОРТА УКРАИНЫ

ВОСТОЧНОУКРАИНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

Кузьменко С.В., Чередниченко С.П., Игнатьев О.Л.

**ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ
ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА:
ПРАКТИКУМ**

Луганск, 2012

УДК 629.4

Рекомендовано Ученым советом Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля.

Рецензенты:

Нечаев Г.И. д.т.н., профессор, заведующий кафедрой транспортных систем Восточноукраинского университета имени Владимира Даля.

Попов С.В., к.т.н., доцент кафедры железнодорожного транспорта Восточноукраинского университета имени Владимира Даля.

Кузьменко С.В., Чередниченко С.П., Игнатьев О.Л.
Железнодорожные транспортные средства: практикум. - Луганск: Изд-во Ноулидж, 2012. - 120 с.

ISBN

В учебном пособии рассмотрены основы теории тяги поездов, методы тяговых расчетов при электрической и тепловозной тяге. На основании сил, действующих на поезд, определено их влияние на характер его движения, вопросы расхода электрической энергии и топлива на тягу. Представлены данные тепловых режимов работы тяговых электродвигателей и генераторов при работе локомотивов.

Для лучшего усвоения теоретического материала приведены примеры решения задач. При выполнении расчетов предусмотрено использование вычислительной техники.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям «Транспортные технологии», «Подвижной состав железных дорог».

© Кузьменко С.В., Чередниченко С.П., Игнатьев О.Л.

© Ноулидж

СОДЕРЖАНИЕ

1. СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	6
1.1. Основное удельное сопротивление движению	6
1.2. Удельное сопротивление состава при трогании с места.....	8
1.3. Дополнительное удельное сопротивление движению	8
1.4. Практическое задание	9
1.5. Задание для самостоятельной работы.....	13
2. РАСЧЕТ МАССЫ СОСТАВА	15
2.1. Общие указания	15
2.2. Расчет массы состава при движении с равномерной скоростью на расчетном подъеме	15
2.3. Проверка массы состава с учетом использования кинетической энергии поезда.....	16
2.4. Проверка массы состава при трогании с места.....	18
2.5. Проверка массы поезда по длине приемо-отправочных путей	18
2.6. Кратная тяга и подталкивание.....	19
2.7. Практическое задание	20
2.8. Задание для самостоятельной работы.....	25
3. ТОРМОЗНЫЕ РАСЧЕТЫ	27
3.1. Тормозная сила локомотива	27
3.2. Тормозная сила поезда.....	27
3.3. Коэффициент трения	27
3.4. Тормозной коэффициент поезда	28
3.5. Тормозной путь.....	29
3.6. Расчеты при ручных тормозах.....	31
3.7. Практическое задание	31
3.7.1. Тормозная задача первого типа	31

3.7.2. Тормозная задача второго типа.....	38
3.8. Задание для самостоятельной работы.....	42
4. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА ПО ПЕРЕГОНУ.....	43
4.1. Определение скорости движения и времени хода поезда.....	43
4.2. Определение удельной ускоряющей и замедляющей силы	45
4.3. Расчет массы состава и времени хода по перегонам при электрической тяге	47
4.3.1. Порядок расчетов при одиночной и кратной тяге.....	47
4.3.2. Проверка тяговых электродвигателей на нагревание	50
4.3.3. Определение расхода электрической энергии.....	52
4.4. Расчет массы состава и времени хода по перегонам при тепловозной тяге.....	55
4.4.1. Расчет массы состава и времени хода по перегонам.....	55
4.4.2. Проверка тягового генератора и тяговых электродвигателей на нагревание.....	56
4.4.3. Определение расхода топлива	58
4.5. Практическое задание	59
4.5.1. Расчет параметров движения поезда при тепловозной тяге	60
4.5.2. Расчет параметров движения поезда при электрической тяге.....	70
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	81
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Основные характеристики вагонов.....	82
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Основные характеристики локомотивов.....	88

1. СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

1.1. Основное удельное сопротивление движению*

Основное удельное сопротивление движению грузовых вагонов в составе поезда (основные характеристики представлены в приложении А) на звеньевом пути определять по формулам:

- а) четырехосные вагоны на подшипниках скольжения и шестиосные вагоны на роликовых подшипниках ($q_o > 6$ т)

$$w_0 = \left(0,7 + \frac{8 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_0} \right) g, \text{ (Н/т)} \quad (1.1)$$

где v – скорость движения подвижного состава (км/ч);

q_o – нагрузка от оси на рельсы (т);

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

- б) четырехосные вагоны на подшипниках скольжения ($q_o \leq 6$ т)

$$w_0 = \left(1,5 + 0,045v + 0,00027v^2 \right) g, \text{ (Н/т)} \quad (1.2)$$

- в) четырехосные вагоны на роликовых подшипниках и вагоны рефрижераторных поездов ($q_o > 6$ т)

$$w_0 = \left(0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_0} \right) g, \text{ (Н/т)} \quad (1.3)$$

- г) четырехосные и шестиосные вагоны на роликовых подшипниках ($q_o \leq 6$ т)

$$w_0 = \left(1,0 + 0,044v + 0,00024v^2 \right) g, \text{ (Н/т)} \quad (1.4)$$

- д) восьмиосные вагоны на роликовых подшипниках

$$w_0 = \left(0,7 + \frac{6 + 0,038v + 0,0021v^2}{q_0} \right) g, \text{ (Н/т)} \quad (1.5)$$

Основное удельное сопротивление движению грузовых вагонов (в составе поезда) на бесстыковом пути определять по формулам:

- а) четырехосные вагоны на подшипниках скольжения и шестиосные вагоны на роликовых подшипниках ($q_o > 6$ т)

$$w_0 = \left(0,7 + \frac{8 + 0,08v + 0,002v^2}{q_0} \right) g, \text{ (Н/т)} \quad (1.6)$$

- б) четырехосные вагоны на подшипниках скольжения ($q_o \leq 6$ т)

* Теоретические положения данного и последующих разделов настоящего пособия приведены в соответствии с изданием «Правила тяговых расчетов для поездной работы. М: Транспорт, 1985. – 287с.» с авторской обработкой.

$$w_0'' = \left(1,5 + 0,042v + 0,00018v^2 \right) g, \text{ (H/t)} \quad (1.7)$$

в) четырехосные вагоны на роликовых подшипниках и вагоны рефрижераторных поездов ($q_o > 6$ т)

$$w_0'' = \left(0,7 + \frac{3 + 0,09v + 0,002v^2}{q_0} \right) g, \text{ (H/t)} \quad (1.8)$$

г) четырехосные и шестиосные вагоны на роликовых подшипниках ($q_o \leq 6$ т)

$$w_0'' = \left(1,0 + 0,042v + 0,00016v^2 \right) g, \text{ (H/t)} \quad (1.9)$$

д) восьмиосные вагоны на роликовых подшипниках

$$w_0'' = \left(0,7 + \frac{6 + 0,026v + 0,0017v^2}{q_0} \right) g, \text{ (H/t)} \quad (1.10)$$

Основное удельное сопротивление движению цельнометаллических пассажирских вагонов на роликовых подшипниках (в составе поезда) для скоростей движения до 160 км/ч определять по формулам:

а) на звеневом пути

$$w_0'' = \left(0,7 + \frac{8 + 0,18v + 0,003v^2}{q_0} \right) g, \text{ (H/t)} \quad (1.11)$$

б) на бесстыковом пути

$$w_0'' = \left(0,7 + \frac{8 + 0,16v + 0,0023v^2}{q_0} \right) g, \text{ (H/t)} \quad (1.12)$$

Основное удельное сопротивление движению состава разных типов вагонов определять по формуле:

$$w_{0c}'' = \alpha_1 w_{0_1}'' + \alpha_2 w_{0_2}'' + \dots + \alpha_i w_{0_i}'' + \dots + \alpha_m w_{0_m}'', \text{ (H/t)} \quad (1.13)$$

$$\alpha_i = \frac{n_i m_{\dot{a}\delta_i}}{Q}, \quad (1.14)$$

где α_i - весовой коэффициент вагонов i-го типа;

w_{0_i}'' - основное удельное сопротивление вагонов i-го типа;

m - общее количество групп однотипных вагонов в составе;

n_i - количество вагонов i-го типа;

$m_{\dot{a}\delta_i}$ - масса брутто вагона i-го типа, т;

Q - масса состава, т.

При определении весовых коэффициентов обязательным является соблюдение следующего условия

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i + \dots + \alpha_m = 1. \quad (1.15)$$

Основное удельное сопротивление движению локомотивов определять по формулам:

а) электровозы и тепловозы на звеньевом пути

$$w_0' = (1,9 + 0,01v + 0,0003v^2)g, \text{ (Н/т)} \quad (1.16)$$

$$w_x = (2,4 + 0,011v + 0,00035v^2)g, \text{ (Н/т)} \quad (1.17)$$

где w_0' - основное удельное сопротивление движению локомотивов в режиме тяги;

w_x - основное удельное сопротивление движению локомотивов в режиме выбега.

б) электровозы и тепловозы на бесстыковом пути

$$w_0' = (1,9 + 0,008v + 0,00025v^2)g, \text{ (Н/т)} \quad (1.18)$$

$$w_x = (2,4 + 0,009v + 0,00035v^2)g, \text{ (Н/т)} \quad (1.19)$$

1.2. Удельное сопротивление состава при трогании с места

Удельное сопротивление состава при трогании с места на площадке определять по формулам:

а) подвижной состав на подшипниках скольжения

$$w_{\delta\delta} = \frac{142}{q_0 + 7} g, \text{ (Н/т)} \quad (1.20)$$

б) подвижной состав на подшипниках качения

$$w_{\delta\delta} = \frac{28}{q_0 + 7} g, \text{ (Н/т)} \quad (1.21)$$

При наличии в составе поезда разнотипных вагонов удельное сопротивление состава при трогании с места определяется как средневзвешенная величина.

1.3. Дополнительное удельное сопротивление движению

Дополнительное удельное сопротивление движению от уклона (подъема или спуска) для всех видов подвижного состава принимать пропорционально числу промилле подъема или спуска, т. е.

$$w_i = ig, \text{ (Н/т)} \quad (1.22)$$

Дополнительное удельное сопротивление движению от кривой на эксплуатируемых железных дорогах для всех видов подвижного состава принимать по формулам:

а) при длине поезда менее или равной длине кривой

$$w_r = \frac{700}{R} g, (\text{Н/т}) \quad (1.23)$$

где R – радиус криволинейного участка пути, м.

б) при длине поезда более длины кривой

$$w_r = \frac{700}{R} \frac{s_{\text{ед}}}{l_i} g, (\text{Н/т}) \quad (1.24)$$

где $s_{\text{ед}}$ - длина криволинейного участка пути, м;

l_i - длина поезда, м

1.4. Практическое задание

Определить удельное сопротивление движению состава вагонов.

Состав сформирован следующим образом в процентном отношении к общей массе состава:

- 20% порожних крытых вагонов (4-х осных);
- 50% груженых полувагонов (8-и осных);
- 30% груженых цистерн (4-х осных).

Параметры участка перегона:

- уклон 10 ‰;
- радиус кривизны 1000 м
- путь бесстыковый.

При расчете принять, что длина криволинейного участка больше длины состава.

Расчет произвести для скоростей движения 0 км/ч, 50 км/ч и 100 км/ч.

Построить график удельного сопротивления состава от скорости движения.

Решение.

Определим удельные нагрузки от колесной пары на рельс для вагонов (табл.1.1) на основании следующих зависимостей:

- для порожних вагонов $q_0 = m_\delta / n_i ; (\text{т})$

- для груженых вагонов $q_0 = (m_\delta + m_{\text{ад}}) / n_i , (\text{т})$

где m_δ - масса тары вагона, т.

$m_{\text{вс}}$ - грузоподъемность вагона, т.

n_i - количество осей вагона.

Таблица 1.1. Масса и удельная нагрузка вагонов

№ п/п	Тип вагона	Кол-во осей n_i , шт.	Масса тары вагона $m_{\text{т}}$, т	Масса груза $m_{\text{вс}}$, т	Удельная нагрузка на ось q_0 , т
1.	Крытый	4	22,0	0	5,5
2.	Полувагон	8	45,2	125	21,28
3.	Цистерна	4	25,3	62	21,83

Основное удельное сопротивление грузовых вагонов на роликовых подшипниках при движении по бесстыковому пути будем рассчитывать по следующим формулам:

- для первой группы вагонов (порожние четырехосные крытые вагоны):

$$w_{0_1}'' = \left(1,0 + 0,042v + 0,00016v^2 \right) g;$$

$$\text{для } 0 \text{ км/ч } w_{0_1}'' = \left(1,0 + 0,042 \cdot 0 + 0,00016 \cdot 0^2 \right) 9,81 = 9,81 \text{ Н/т};$$

$$\text{для } 50 \text{ км/ч } w_{0_1}'' = \left(1,0 + 0,042 \cdot 50 + 0,00016 \cdot 50^2 \right) 9,81 = 34,33 \text{ Н/т};$$

$$\text{для } 100 \text{ км/ч } w_{0_1}'' = \left(1,0 + 0,042 \cdot 100 + 0,00016 \cdot 100^2 \right) 9,81 = 66,71 \text{ Н/т};$$

- для второй группы вагонов (груженые восьмиосные полувагоны)

$$w_{0_2}'' = \left(0,7 + \frac{6 + 0,026v + 0,0017v^2}{q_0} \right) g$$

$$\text{для } 0 \text{ км/ч } w_{0_2}'' = \left(0,7 + \frac{6 + 0,026 \cdot 0 + 0,0017 \cdot 0^2}{21,28} \right) 9,81 = 9,63 \text{ Н/т};$$

$$\text{для } 50 \text{ км/ч } w_{0_2}'' = \left(0,7 + \frac{6 + 0,026 \cdot 50 + 0,0017 \cdot 50^2}{21,28} \right) 9,81 = 12,16 \text{ Н/т};$$

$$\text{для } 100 \text{ км/ч } w_{0_2}'' = \left(0,7 + \frac{6 + 0,026 \cdot 100 + 0,0017 \cdot 100^2}{21,28} \right) 9,81 = 18,64 \text{ Н/т};$$

- для третьей группы вагонов (груженые четырехосные цистерны)

$$w_{0_3}'' = \left(0,7 + \frac{3 + 0,09v + 0,002v^2}{q_0} \right) g$$

$$\text{для } 0 \text{ км/ч } w_{0_3} = \left(0,7 + \frac{3 + 0,09 \cdot 0 + 0,002 \cdot 0^2}{21,83} \right) 9,81 = 8,14 \text{ Н/т};$$

$$\text{для } 50 \text{ км/ч } w_{0_3} = \left(0,7 + \frac{3 + 0,09 \cdot 50 + 0,002 \cdot 50^2}{21,83} \right) 9,81 = 12,46 \text{ Н/т};$$

$$\text{для } 100 \text{ км/ч } w_{0_3} = \left(0,7 + \frac{3 + 0,09 \cdot 100 + 0,002 \cdot 100^2}{21,83} \right) 9,81 = 21,29 \text{ Н/т};$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 1.2.

Таблица 1.2. Удельные сопротивления вагонов (Н/т) для расчетных скоростей движения

№ п/п	Тип вагона	Скорость движения, км/ч		
		0	50	100
1.	Крытый (порожний)	9,81	34,33	66,71
2.	Полувагон (груженый)	9,63	12,16	18,64
3.	Цистерна (груженая)	8,14	12,46	21,29

На основании исходных данных осуществим переход от процентных долей к долям от единицы в массовом распределении структуры состава, в результате чего получим для:

- порожних крытых вагонов (20% 4-х осных) $\alpha_1 = 0,2$;
- груженых полуваагонов (50% 8-и осных) $\alpha_2 = 0,5$;
- груженых цистерн (30% 4-х осных) $\alpha_3 = 0,3$.

Обязательным условием при определении весовых коэффициентов является выполнение следующего равенства:

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n = 1.$$

С помощью проверки получаем:

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 0,2 + 0,5 + 0,3 = 1$$

Основное удельное сопротивление движению состава, сформированного на основании представленных весовых коэффициентов, определяется как (табл.1.3):

$$w_{0_c} = \alpha_1 w_{01} + \alpha_2 w_{02} + \alpha_3 w_{03},$$

где w_{01}, w_{02}, w_{03} – основные удельные сопротивления движению крытых вагонов, полуваагонов и цистерн, соответственно (см. табл.1.2).

Таким образом получаем:

$$\text{для } 0 \text{ км/ч } w_{0_c} = 0,2 \cdot 9,81 + 0,5 \cdot 9,63 + 0,3 \cdot 8,14 = 9,21 \text{ Н/т};$$

для 50 км/ч $w_{0c}^* = 0,2 \cdot 34,33 + 0,5 \cdot 12,16 + 0,3 \cdot 12,46 = 16,67 \text{ Н/т};$

для 100 км/ч $w_{0c}^* = 0,2 \cdot 66,71 + 0,5 \cdot 18,64 + 0,3 \cdot 21,28 = 29,05 \text{ Н/т};$

Результаты расчета сведем в таблицу 1.3.

Таблица 1.3. Основное удельное сопротивление состава для расчетных скоростей движения

Параметр	Скорость движения, км/ч		
	0	50	100
Основное удельное сопротивление состава w_{0c}^* , Н/т	9,21	16,67	29,05

Дополнительное удельное сопротивление движению состава оказывают уклон и криволинейность пути, которые определяются следующим образом:

– дополнительное удельное сопротивление движению от уклона (подъема или спуска) при условии, что $i=10\%$.

$$w_i = ig = 10 \cdot 9,81 = 98,1 \text{ Н/т}$$

– дополнительное удельное сопротивление движению поезда от кривой при длине поезда менее или равной длине кривой

$$w_r = \frac{700}{R} g = \frac{700}{1000} 9,81 = 6,87 \text{ Н/т.}$$

Удельное сопротивление движению состава определится следующим образом:

$$w_c^* = w_{0c}^* + w_i + w_r;$$

для 0 км/ч $w_c^* = 9,21 + 98,1 + 6,87 = 114,18 \text{ Н/т};$

для 50 км/ч $w_c^* = 16,67 + 98,1 + 6,87 = 121,64 \text{ Н/т};$

для 100 км/ч $w_c^* = 29,05 + 98,1 + 6,87 = 134,02 \text{ Н/т};$

Результаты расчетов сведем в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 Удельное сопротивление состава для расчетных скоростей движения

Параметр	Скорость движения, км/ч		
	0	50	100
Удельное сопротивление состава w_c^* , Н/т	114,18	121,64	134,02

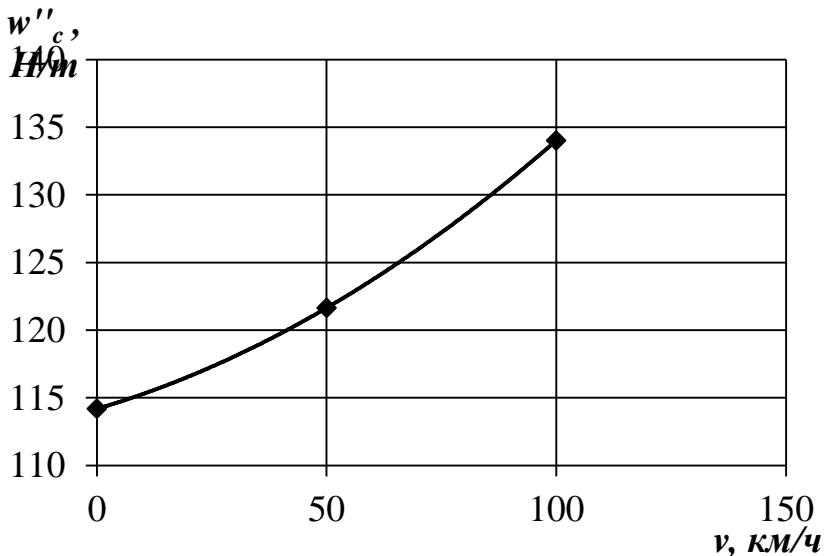


Рис.1. График удельного сопротивления состава

1.5. Задание для самостоятельной работы

Определить удельное сопротивление движению состава вагонов в соответствии с исходными данными, приведенными в таблице 1.5. Параметры подвижного состава представлены в приложении А.

Параметры участка перегона:

- уклон 8 ‰;
- радиус кривизны 2000 м

При расчете принять, что длина криволинейного участка больше длины состава.

Расчет произвести для скоростей движения 0 км/ч, 50 км/ч и 100 км/ч.

Построить график удельного сопротивления состава от скорости движения.

Таблица 1.5. Исходные данные

№ вар.	Тип подвижного состава			Тип пути
	платформа (4-осн)	крытый (4-осн)	цистерна (8-осн.)	
1.	30 % порожн.	35 % груж.	35 % груж.	звеньевой
2.	10 % груж.	40 % порожн.	50 % груж.	бесстыковый
3.	24 % груж.	16 % груж.	60 % порожн.	звеньевой
4.	12 % груж.	18 % груж.	70 % порожн.	бесстыковый
5.	50 % порожн.	30 % груж.	20 % груж.	звеньевой
6.	38 % груж.	12 % порожн.	50 % груж.	бесстыковый
7.	16 % груж.	24 % груж.	60 % порожн.	звеньевой
8.	12 % груж.	18 % груж.	70 % порожн.	бесстыковый
9.	35 % порожн.	25 % груж.	40 % груж.	звеньевой
10.	8 % груж.	22 % порожн.	70 % груж.	бесстыковый
11.	6 % груж.	14 % порожн.	80 % груж.	звеньевой
12.	12 % груж.	28 % груж.	60 % порожн.	бесстыковый
13.	10 % порожн.	10 % груж.	80 % груж.	звеньевой
14.	20 % груж.	15 % порожн.	65 % груж.	бесстыковый
15.	40 % порожн.	20 % груж.	40 % груж.	звеньевой
16.	32 % груж.	18 % груж.	50 % порожн.	бесстыковый
17.	30 % порожн.	12 % груж.	58 % груж.	звеньевой
18.	15 % груж.	5 % порожн.	80 % груж.	бесстыковый
19.	6 % груж.	44 % груж.	50 % порожн.	звеньевой
20.	12 % груж.	48 % груж.	40 % порожн.	бесстыковый
21.	10 % порожн.	20 % груж.	70 % груж.	звеньевой
22.	8 % груж.	12 % порожн.	80 % груж.	бесстыковый
23.	6 % груж.	34 % порожн.	60 % груж.	звеньевой
24.	12 % груж.	18 % груж.	70 % порожн.	бесстыковый
25.	30 % порожн.	20 % груж.	50 % груж.	звеньевой

2. РАСЧЕТ МАССЫ СОСТАВА

2.1. Общие указания

Массу состава и скорость движения поезда определять исходя из условий полного использования мощности и тяговых качеств локомотивов, а также кинетической энергии поезда. В необходимых случаях для обеспечения заданной массы состава и технической скорости предусматривать подталкивание, кратную тягу, более мощные локомотивы, перенос остановок с раздельных пунктов, расположенных перед затяжными подъемами и т. д.

В зависимости от характера профиля пути данного участка расчет массы состава грузового поезда выполнять исходя из условий безостановочного движения: по расчетному подъему с равномерной скоростью; по最难行进的 подъемам с неравномерной скоростью с учетом использования кинетической энергии поезда.

В тех случаях, когда не представляется возможным реализовать установленные расчетные значения силы тяги локомотивов из-за ограничений массы поезда по длине станционных путей, необходимости повышения пропускной способности, в том числе линий с преимущественным пассажирским движением, условий унификации нормы массы состава и т. п., допускается повышение расчетной скорости при использовании полной мощности локомотива.

При определении скорости движения и времени хода поезд принимать за материальную точку, в которой сосредоточена вся его масса. Положение этой точки условно считать в середине поезда.

2.2. Расчет массы состава при движении с равномерной скоростью на расчетном подъеме

Если длина最难行进的 на данном участке подъема, характер прилегающих к нему элементов профиля пути, допускаемые скорости движения по состоянию пути и расположение остановочных пунктов позволяют установить, что этот подъем не может быть преодолен с использованием кинетической энергии поезда, то такой подъем следует принимать расчетным (i_p). Массу состава в этом случае определять по формуле

$$Q = \frac{F_{ep} - P(w_0' + w_i + w_r)}{w_0'' + w_i + w_r}, \quad (2.1)$$

где $F_{\dot{e}p}$ - касательная сила тяги локомотива на расчетном режиме, Н;
 P - масса локомотива, т.

2.3. Проверка массы состава с учетом использования кинетической энергии поезда

Если характер профиля пути, расположение остановочных пунктов и допускаемые скорости движения по состоянию пути на участке не позволяют надежно определить расчетный затяжной подъем, то массу состава рассчитывают методом подбора.

Для этого следует задаться расчетным подъемом по значению меньшим, чем самый крутой на участке, определить по нему массу состава по формуле (2.1) для данной серии локомотива и рассчитать удельные ускоряющие силы поезда. Полученную массу состава проверить на прохождение поездом участков профиля пути с подъемами большей крутизны, чем расчетный подъем, учитывая при этом использование кинетической энергии поезда; проверять графическим способом или аналитически.

При графической проверке, используя диаграммы ускоряющих сил поезда, необходимо определить скорость движения для всех перегонов, на которых крутизна подъемов по спрямленному профилю превышает крутизну подъема, принятую для расчета массы состава. Построение зависимости $v = f(s)$ следует начинать с элемента профиля, где скорость движения поезда может быть заранее известна (например, от раздельного пункта, где была остановка; от равномерной скорости, когда перед проверяемым подъемом есть затяжные элементы профиля; от пункта, где имеется ограничение скорости, и т. д.).

Аналитическую проверку делать по формуле

$$s \leq \frac{40,91(v_e^2 - v_i^2)}{f_e - w_e}, \text{ (м)} \quad (2.2)$$

где s — длина проверяемого участка профиля с подъемом большей крутизны, чем у расчетного подъема, м;

v_k, v_n — скорость движения поезда соответственно в конце и начале проверяемого подъема, км/ч;

f_e, w_e — средняя ускоряющая и замедляющая сила, действующая на поезд в пределах интервала скорости от v_k до v_n , Н/т.

Для повышения точности аналитического расчета интервалы изменения скорости следует брать в пределах 10 км/ч и тогда

$$s \leq \sum s_i = \sum \frac{40,91(v_{ei}^2 - v_{ii}^2)}{f_{ei} - w_{ei}}, \text{ (M)} \quad (2.3)$$

где v_{ki} , v_{ii} — скорость движения поезда соответственно в конце и начале проверяемого подъема, км/ч;

f_{ei} , w_{ei} — средняя ускоряющая и замедляющая сила, действующая на поезд в пределах интервала скорости от v_{ki} до v_{ii} , Н/т.

Средняя ускоряющая и замедляющая сила для i-го расчетного интервала определяются на основании следующих зависимостей:

$$f_{ei} = \frac{F_{ei}}{P+Q}, \text{ (Н/т)} \quad (2.4)$$

$$w_{ei} = w'_{0i} \frac{P}{P+Q} + w''_{ci} \frac{Q}{P+Q} + w_i + w_r. \text{ (Н/т)} \quad (2.5)$$

При проверке любым способом массу состава следует считать определившейся, если скорость движения в конце проверяемого подъема получилась равной или несколько более расчетной скорости для данной серии локомотива.

В отдельных случаях для эксплуатируемых дорог в зависимости от местных условий разрешается выходную скорость со скоростных подъемов принимать:

а) для электровозов постоянного тока и двойного питания (ВЛ82, ВЛ82М) — по значению скорости при полном возбуждении последовательно-параллельного соединения тяговых электродвигателей;

б) для электровозов переменного тока — по значению скорости при нормальном возбуждении на 21-й позиции у электровозов серии ВЛ60К, ВЛ60Р, ВЛ80К, ВЛ80Т, ВЛ80С и 0,5 зоны 3 для электровоза ВЛ80Р;

в) для тепловозов ТЭ3, М62 и 2М62 — 16 км/ч, тепловозов 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, 2ТЭ10М, 3ТЭ10М и 2ТЭ116 — 20 км/ч при выходе на ограничение по сцеплению с переходом на режимы, соответствующие промежуточным позициям контроллера машиниста.

Во всех случаях протяженность пути, проходимого со скоростью меньшей, чем расчетная, не должна превышать 500 м. Отступление от этой величины может быть допущено с разрешения Укрзализныци при наличии резервов пропускной способности участка и соблюдении установленных норм по нагреву тяговых электрических машин.

2.4. Проверка массы состава при трогании с места

Рассчитанная по п. 2.2 масса грузового состава проверяется на трогание с места на остановочных пунктах по формуле:

$$Q_{\delta\delta} = \frac{F_{\delta\delta}}{w_{\delta\delta} + w_{i\delta\delta}} - P_{\text{,т}} \quad (2.6)$$

где $F_{\delta\delta}$ - касательная сила тяги локомотива при трогании, Н;

$w_{\delta\delta}$ - удельная сила сопротивления при трогании с места, определяемая по формулам (1.20) и (1.21), Н/т;

$w_{i\delta\delta}$ - дополнительное удельное сопротивление движению от уклона участка пути, где осуществляется трогание, Н/т.

Масса состава, рассчитанная по формуле (2.2), должна быть меньше массы состава, полученной по формуле (2.1), т. е. $Q < Q_{mp}$.

2.5. Проверка массы поезда по длине приемо-отправочных путей

Длина поезда l_n не должна превышать полезной длины приемо-отправочных путей l_{non} на участках обращения данного поезда (с учетом допуска 10 м на установку поезда), т. е. $l_n \leq l_{non}$

Длина поезда определяется из выражения

$$l_i = l_n + m_e l_e + 10, \text{ (м)} \quad (2.7)$$

где l_n - длина состава, м;

m_e - число локомотивов;

l_e - длина локомотива.

Длина состава, включающего в себя однотипные вагоны, определится как

$$l_c = n_{\hat{a}} l_{\hat{a}}, \text{ (м)} \quad (2.8)$$

где $n_{\hat{a}}$ - количество вагонов, шт.;

$l_{\hat{a}}$ - длина вагонов по осям автосцепок, м.

Количество вагонов определяется следующим образом

$$n_{\hat{a}} = Q / m_{\hat{a}}^{\delta\delta}, \quad (2.9)$$

где $m_{\hat{a}}^{\delta\delta}$ - масса вагона брутто, т.

Длина состава для вагонов разных типов определится как

$$l_c = \sum_i n_{\hat{a}i} l_{\hat{a}i}, \text{ (м)} \quad (2.10)$$

где $n_{\hat{a}i}$ - количество вагонов i-й группы;

$l_{\hat{a}i}$ - длина вагонов i -й группы.

Количество вагонов i -й группы определяется следующим образом

$$n_{\hat{a}i} = \alpha_i Q / m_{\hat{a}i}^{\hat{a}\delta}, \quad (2.11)$$

где α_i - весовой коэффициент вагонов i -го типа;

$m_{\hat{a}i}^{\hat{a}\delta}$ - масса вагона i -й группы брутто, т.

При определении количества вагонов состава по формулам (2.9, 2.11) полученное значение следует округлить в меньшую сторону. Это связано с недопустимостью превышения расчетного веса поезда и, соответственно, уменьшении скорости расчетного режима локомотива.

2.6. Кратная тяга и подталкивание

Силу тяги локомотивов при кратной тяге принимать 100% расчетной; для подталкивающих локомотивов (в хвосте поезда) F_k также принимать 100% расчетной.

В случае определения массы состава при кратной тяге с локомотивами разных серий расчетную скорость принимать равной расчетной скорости локомотива, у которого она больше.

Для предупреждения разрыва поездов наибольшая суммарная сила тяги локомотивов, находящихся в голове поезда, при трогании поезда с места определяется исходя из максимально допустимого продольного усилия на автосцепке при трогании, равного 932 кН, а наибольшая суммарная сила тяги при разгоне и движении по最难 подъему определяется исходя из максимально допустимого продольного усилия на автосцепке, равного 1275 кН, т. е.:

- при трогании поезда до скорости 10 км/ч

$$\sum F_{e\delta\delta} \leq 9,32 \cdot 10^5 + \sum P(w_{\delta\delta} + i_{\delta\delta}), \text{ (Н)} \quad (2.12)$$

- при разгоне и движении по最难 подъемам

$$\sum F_{e\delta\delta} \leq 1,275 \cdot 10^6 + \sum P(w'_0 + i_{\bar{n}}), \text{ (Н)} \quad (2.13)$$

Для обеспечения устойчивости вагонов от выжимания продольными силами при подталкивании или электрическом торможении локомотивами, находящимися в голове поезда, наибольшие значения сил тяги подталкивающих локомотивов и сил электрического торможения определяются исходя из максимально допустимых продольных сжимающих сил, зависящих от типа и степени загрузки вагонов, находящихся в поезде, с учетом сопротивления движению локомотивов. Для четырехосных вагонов допустимая продольная сила при $q'_0 \leq 118$ кН — 491 кН, а при $q'_0 > 118$ кН — 981 кН, а для шести- и восьмиосных ваго-

нов соответственно 981 кН и 2453 кН. Здесь q'_o — нагрузка от оси колесной пары на рельсы наименее нагруженного вагона.

Для линии с кривыми радиусом менее 300 м допускаемые продольные усилия устанавливаются по местным условиям.

2.7. Практическое задание

Определить массу состава для следующих условий:

- путь перегона звеньевой;
- профиль перегона представлен в таблице 2.1, причем движение осуществляется от участка 1 к участку 10;
 - длина приемо-отправочных путей станции 850 м с уклоном $i_{cm}=0^0/00$;
 - локомотив 2ТЭ116;
 - состав сформирован из груженых четырехосных полуwagonов с подшипниками качения;
 - на перегоне допускается движение со скоростью не более 90 км/ч.
 - при расчетах принять что длина поезда меньше длины криволинейных участков пути.

Таблица 2.1. Профиль перегона

№ участка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина,км	5,0	0,5	4,0	3,0	6,0	1,0	6,0	0,2	8,0	4,0
Уклон, $^0/00$	0	-2	5	0	-3	10	1	2	8	0
Радиус,м	-	-	500	-	-	800	-	-	1000	-

Решение.

Проведем анализ профиля перегона.

Наибольшие значения уклонов соответствуют участку № 6 с уклоном $10^0/00$ и участку №9 с уклоном $8^0/00$.

№ участка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина,км	5,0	0,5	4,0	3,0	6,0	1,0	6,0	0,2	8,0	4,0
Уклон, $^0/00$	0	-2	5	0	-3	10	1	2	8	0
Радиус,м	-	-	500	-	-	800	-	-	1000	-

Длина участка №6 составляет 1 км с прилежащим перед ним горизонтальной площадкой длиной 3 км и спуском $-3^0/00$ длиной 6 км, где поезд может разогнаться.

№ участка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина,км	5,0	0,5	4,0	3,0	6,0	1,0	6,0	0,2	8,0	4,0
Уклон, $^0/00$	0	-2	5	0	-3	10	1	2	8	0
Радиус,м	-	-	500	-	-	700	-	-	1000	-

Длина участка №9 составляет 8 км с прилежащими перед ним подъемами уклоном 1% и 2% и длиной, соответственно, 6 км и 0,2 км, ввиду чего предварительный разгон невозможен и использование кинетической энергии поезда становится неэффективным.

№ участка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина,км	5,0	0,5	4,0	3,0	6,0	1,0	6,0	0,2	8,0	4,0
Уклон, %	0	-2	5	0	-3	10	1	2	8	0
Радиус,м	-	-	500	-	-	800	-	-	1000	-

Из этого следует, что наиболее тяжелым (предположительно) для преодоления поездом будем считать участок №9 и его принимаем руководящим. Соответственно, для участка №6 возможно использование кинетической энергии, предварительно накопленной на спуске участка №5, и данный подъем принимаем скоростным.

Данные предположения проверим расчетным путем.

Проведем расчет массы состава в соответствии с (2.1) для расчетного подъема $i_p=8\%$.

Для локомотива 2ТЭ116:

- сила тяги на расчетном режиме составляет $F_{kp}=496$ кН;
- скорость расчетного режима $v_p=24,2$ км/ч;
- цепной вес тепловоза составляет $P=271$ т;
- нагрузка от оси на рельсы $q_0=22,58$ т;
- длина по осям автосцепок $l_m=36$ м.

Для груженого четырехосного полувагона:

- удельная нагрузка от оси на рельс $q_0=22$ т;
- масса вагона брутто $m_{bp}=88$ т;
- длина вагона по осям автосцепок $l_e=13,92$ м.

Основное удельное сопротивление для тепловозов на звеньевом пути при скорости расчетного режима $v_p=24,2$ км/ч

$$w_0' = (1,9 + 0,01v + 0,0003v^2)g = (1,9 + 0,01 \cdot 24,2 + 0,0003 \cdot 24,2^2) \cdot 9,81 = 22,74 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление для груженых четырехосных полувагонов на роликовых подшипниках

$$w_0'' = \left(0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_0} \right) g = \left(0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot 24,2 + 0,0025 \cdot 24,2^2}{22} \right) \cdot 9,81 = 9,94 \text{ Н/т.}$$

Дополнительное удельное сопротивление движению от уклона

$$w_i = ig = 8 \cdot 9,81 = 78,48 \text{ Н/т.}$$

Дополнительное удельное сопротивление движению от кривой при длине поезда менее ее длины

$$w_r = \frac{700}{R} g = \frac{700}{1000} 9,81 = 6,87 \text{ Н/т.}$$

Таким образом, вес поезда

$$Q = \frac{F_{ep} - P(w_0' + w_i + w_r)}{w_0'' + w_i + w_r} = \frac{496000 - 271(22,74 + 78,48 + 6,87)}{9,94 + 78,48 + 6,87} = 4898 \text{ т.}$$

Осуществим проверку рассчитанной весовой нормы на возможность преодоления поездом скоростного подъема уклоном 10% и длиной 1 км.

Поскольку перед данным подъемом расположен затяжной спуск, в начале расчетного участка принимаем скорость поезда 90 км/ч, как максимально допустимую. Расчет будем производить с интервалом скорости 10 км/ч.

Минимально допустимая скорость, обеспечивающая возможность преодоления скоростного подъема соответствует скорости расчетного режима.

При расчетах предполагается реализация максимальной мощности тепловоза.

Участок 1.

Изменение скорости от $v_{hl}=90$ км/ч до $v_{kl}=80$ км/ч.

Средняя скорость $v_{cp1}=85$ км/ч.

Для данной скорости на основании тяговой характеристики тепловоза 2ТЭ116 определяем силу тяги локомотива $F_k=149,3$ кН.

Удельная ускоряющая сила, действующая на поезд

$$f_{el} = \frac{F_{el}}{P+Q} = \frac{149300}{271+4898} = 28,88 \text{ Н/т}$$

Перед тем как определить удельную замедляющую силу, рассчитаем основные удельные сопротивления движению локомотива и вагонов

$$w_{01}' = (1,9 + 0,01v_{hl1} + 0,0003v_{hl1}^2)g = (1,9 + 0,01 \cdot 85 + 0,0003 \cdot 85^2) \cdot 9,81 = 48,24 \text{ Н/т.}$$

$$w_{01}'' = \left(0,7 + \frac{3 + 0,1v_{hl1} + 0,0025v_{hl1}^2}{q_0} \right)g = \left(0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot 85 + 0,0025 \cdot 85^2}{22} \right) \cdot 9,81 = 20,05 \text{ Н/т.}$$

Дополнительное удельное сопротивление движению от уклона

$$w_i = ig = 10 \cdot 9,81 = 98,1 \text{ Н/т.}$$

Дополнительное удельное сопротивление движению от кривой при длине поезда менее ее длины

$$w_r = \frac{700}{R} g = \frac{700}{700} 9,81 = 9,81 \text{ Н/т.}$$

Таким образом, удельная замедляющая сила

$$w_{e1} = w'_{01} \frac{P}{P+Q} + w''_{c1} \frac{Q}{P+Q} + w_i + w_r = \\ = 48,24 \frac{271}{271+4898} + 20,05 \frac{4898}{271+4898} + 98,1 + 9,81 = 129,44 \text{ кН/д.}$$

Пройденный путь на участке 1 составит

$$s_1 = \frac{40,91(v_{e1}^2 - v_{i1}^2)}{f_{e1} - w_{e1}} = \frac{40,91(80^2 - 90^2)}{28,88 - 129,44} = 690,9 \text{ м}$$

Участок 2: изменение скорости от $v_{n2}=80$ км/ч до $v_{k2}=70$ км/ч.

Средняя скорость $v_{cp2}=75$ км/ч.

Для данной скорости на основании тяговой характеристики тепловоза 2ТЭ116 определяем силу тяги локомотива $F_k=168,93$ кН.

Удельная ускоряющая сила, действующая на поезд

$$\frac{F_{e2}}{P+Q} = \frac{168930}{271+4898} = 32,68 \text{ Н/т}$$

Перед тем как определить удельную замедляющую силу, рассчитаем основные удельные сопротивления движению локомотива и вагонов

$$w_{01}' = (1,9 + 0,01v_{n2} + 0,0003v_{n2}^2)g = (1,9 + 0,01 \cdot 75 + 0,0003 \cdot 75^2) \cdot 9,81 = 42,55 \text{ Н/т.}$$

$$w_{01}'' = \left(0,7 + \frac{3 + 0,1v_{n2} + 0,0025v_{n2}^2}{q_0} \right)g = \left(0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot 75 + 0,0025 \cdot 75^2}{22} \right) \cdot 9,81 = 17,82 \text{ Н/т.}$$

Дополнительное удельное сопротивление движению от уклона

$$w_i = ig = 10 \cdot 9,81 = 98,1 \text{ Н/т.}$$

Дополнительное удельное сопротивление движению от кривой при длине поезда менее ее длины

$$w_r = \frac{700}{R}g = \frac{700}{700}9,81 = 9,81 \text{ Н/т.}$$

Таким образом, удельная замедляющая сила

$$w_{e1} = w'_{01} \frac{P}{P+Q} + w''_{c1} \frac{Q}{P+Q} + w_i + w_r = \\ = 42,55 \frac{271}{271+4898} + 17,82 \frac{4898}{271+4898} + 98,1 + 9,81 = 127,03 \text{ кН/д.}$$

Пройденный путь на участке 2 составит

$$s_1 = \frac{40,91(v_{e1}^2 - v_{i1}^2)}{f_{e1} - w_{e1}} = \frac{40,91(70^2 - 80^2)}{32,68 - 127,03} = 384,22 \text{ м}$$

Суммарный пройденный путь 1 и 2 участков составит
 $s=s_1+s_2=690,9+384,22=1075,12$ м.

Таким образом, поезд закончит преодоление уклона в 10% длиной в 1 км со скоростью чуть более 70 км/ч, что существенно больше скорости расчетного режима. Соответственно, начальные предположения о принятии значений расчетного 8% и скоростного 10% уклонов подтвердились.

Осуществим проверку массы состава по троганию с места со станционных путей, для чего предварительно рассчитаем удельные сопротивления для подвижного состава в соответствии с (1.21)

для тепловоза

$$w'_{\delta\delta} = \frac{28}{q_0 + 7} g = \frac{28}{22,58 + 7} 9,81 = 9,22 \text{ Н/т};$$

для вагонов

$$w''_{\delta\delta} = \frac{28}{q_0 + 7} g = \frac{28}{22 + 7} 9,81 = 9,52 \text{ Н/т};$$

Средневзвешенные значения удельного сопротивления при трогании с места поезда

$$w_{\delta\delta} = w'_{\delta\delta} \frac{P}{P+Q} + w''_{\delta\delta} \frac{Q}{P+Q} = 9,22 \frac{271}{271+4898} + 9,52 \frac{4898}{271+4898} = 9,5 \text{ Н/т.}$$

Масса грузового состава проверяется на трогание с места на остановочных пунктах по формуле (2.6) при том условии что для тепловоза 2ТЭ116 максимальная сила тяги при трогании $F_{\delta\delta}=797,5$ кН и удельное сопротивление от уклона на станционной площадке $w_{i\delta\delta}=0$ Н/т, то:

$$Q = 4898 \leq Q_{\delta\delta} = \frac{F_{\delta\delta}}{w_{\delta\delta} + w_{i\delta\delta}} - P = \frac{787500}{9,5} - 271 = 82623 \text{ д.}$$

Условие выполняется, то есть тепловоз 2ТЭ116 сможет стронуть с места состав массой 4898 т с горизонтальной станционной площадки.

Осуществим проверку возможности расположения поезда с составом данной массы в пределах приемо-отправочных путей станции.

Расчетное количество вагонов состава определим следующим образом

$$n'_a = Q / m_a^{\delta\delta} = 4898 / 88 = 55,7 \text{ шт.}$$

После округления фактическое количество вагонов составит $n_a = 55$ шт.

Длина состава, включающего в себя однотипные вагоны определится как

$$l_c = n_{\bar{a}} l_{\bar{a}} = 55 \cdot 13,92 = 765,6 \text{ м.}$$

Длина поезда определяется из выражения

$$l_i = l_{\bar{n}} + m_e l_e + 10 = 765,6 + 36 + 10 = 802,6 \text{ м.}$$

При длине приемо-отправочных путей станции 850 м поезд может быть установлен при рассчитанной весовой норме.

С учетом округления числа вагонов фактическая масса состава составит

$$Q = n_{\bar{a}} m_{\bar{a}}^{\delta\delta} = 55 \cdot 88 = 4840 \text{ т.}$$

2.8. Задание для самостоятельной работы

Определить массу поезда на основании исходных данных, представленных в таблицах 2.2 - 2.6., приложениях А, Б и следующих условиях:

- движение по перегону осуществляется от участка 1 к участку 10;
- длина приемо-отправочных путей станции 850 м при уклоне $i_{cm}=0^{\circ}/_{00}$;
- состав сформирован из груженых вагонов;
- на перегоне допускается движение со скоростью не более 90 км/ч.
- при расчетах принять что длина поезда меньше длины криволинейных участков пути.

Таблица 2.2. Исходные данные

№ п/п	Локомотив	Путь	Профиль перегона	Тип вагона
1.	2ТЭ116	звеньевой	№1	полувагон (4-х осн.)
2.	2ТЭ10В	бесстыковый	№2	цистерна (4-х осн.)
3.	2М62	звеньевой	№3	платформа (4-х осн.)
4.	М62	бесстыковый	№4	крытый (4-х осн.)
5.	ТЭМ2	звеньевой	№1	хоппер (4-х осн.)
6.	ТЭП70	бесстыковый	№2	пасс. плацкартный
7.	2ТЭ116	звеньевой	№3	цистерна (8-х осн.)
8.	2ТЭ10В	бесстыковый	№4	платформа (4-х осн.)
9.	2М62	звеньевой	№1	крытый (4-х осн.)
10.	М62	бесстыковый	№2	хоппер (4-х осн.)
11.	ТЭМ2	звеньевой	№3	полувагон (4-х осн.)

№ п/п	Локомотив	Путь	Профиль перегона	Тип вагона
12.	ТЭП70	бесстыковый	№4	пасс. купейный
13.	2ТЭ116	звеньевой	№1	платформа (4-х осн.)
14.	ВЛ8	бесстыковый	№2	крытый (4-х осн.)
15.	ВЛ10	звеньевой	№3	хоппер (4-х осн.)
16.	ВЛ10 ^у	бесстыковый	№4	полувагон (8-х осн.)
17.	ВЛ60 ^к	звеньевой	№1	цистерна (8-х осн.)
18.	ВЛ80 ^с	бесстыковый	№2	платформа (4-х осн.)
19.	ВЛ80 ^р	звеньевой	№3	крытый (4-х осн.)
20.	ЧС2	бесстыковый	№4	пасс. плацкартный
21.	ЧС4 ^т	звеньевой	№1	пасс. купейный
22.	ВЛ8	бесстыковый	№2	цистерна (4-х осн.)
23.	ВЛ10	звеньевой	№3	платформа (4-х осн.)
24.	ВЛ60 ^к	бесстыковый	№4	крытый (4-х осн.)
25.	ВЛ80 ^с	звеньевой	№1	хоппер (4-х осн.)

Таблица 2.3. Профиль перегона №1

Участок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина, км	5,0	0,5	4,0	3,0	6,0	1,0	6,0	8,0	0,2	4,0
Уклон, %/00	0	-2	5	0	-3	9	5	11	0	-3
Радиус, км	-	-	0,5	-	-	0,8	-	-	1,0	-

Таблица 2.4. Профиль перегона №2

Участок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина, км	4,0	2,0	3,5	1,5	5,5	2,5	4,5	6,5	1,7	3,3
Уклон, %/00	0	-4	-5	11	-3	7	1	10	0	5
Радиус, км	-	-	0,8	-	-	-	-	1,0	-	-

Таблица 2.5. Профиль перегона №3

Участок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина, км	4,0	2,0	4,5	0,8	2,0	5,0	8,0	6,0	2,2	4,0
Уклон, %/00	0	3	-5	14	-1	5	2	12	2	-3
Радиус, км	-	1,2	-	-	0,8	-	-	1,0	-	-

Таблица 2.6. Профиль перегона №4

Участок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина, км	3,0	4,0	2,5	3,5	5,5	1,0	4,0	8,0	1,5	2,7
Уклон, %/00	0	-1	5	-1	-3	10	1	8	-2	-3
Радиус, км	0,9	-	-	-	-	0,6	-	-	-	1,0

3. ТОРМОЗНЫЕ РАСЧЕТЫ

3.1. Тормозная сила локомотива

В грузовых поездах на спусках до 20 % тормозную силу пневматического тормоза локомотива и его массу в расчет не принимать. В остальных случаях, а также при движении одиночного локомотива тормозную силу локомотива и его массу учитывать.

Электрическое рекуперативное торможение электровоза применять как регулировочное при движении поезда по перегону. При определении скорости движения поезда тормозную силу электровоза принимать в соответствии с тормозными характеристиками. Значение тормозной силы электровоза не должно превышать ограничения по сцеплению.

3.2. Тормозная сила поезда

Тормозную силу поезда определять как сумму расчетных (приведенных) сил нажатия тормозных колодок K_p , умноженную на расчетный (приведенный) коэффициент трения колодок φ_{kp} .

$$B_{\delta} = \varphi_{e\delta} \sum K_{\delta}, (\text{Н}) \quad (3.1)$$

3.3. Коэффициент трения

При расчете тормозной силы с использованием расчетной силы нажатия колодок расчетный коэффициент трения φ_{kp} колодки о колесо определять по формулам:

а) чугунные колодки стандартные и колодки с повышенным содержанием фосфора

$$\varphi_{e\delta} = 0,27 \frac{\nu + 100}{5\nu + 100}; \quad (3.2);$$

б) композиционные колодки

$$\varphi_{e\delta} = 0,36 \frac{\nu + 150}{2\nu + 150}. \quad (3.3);$$

Расчетные коэффициенты трения, вычисляемые по этим формулам, определены исходя из условия, что $K_p=26,5$ кН для чугунных колодок и 15,7 кН — для композиционных. Эти значения K_p приняты условно и соответствуют среднему значению действительных сил нажатия на колодку четырехосного вагона при груженом и порожнем режимах торможения.

Действительные значения расчетных сил нажатия для различных типов вагонов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Расчетные силы нажатия чугунных тормозных колодок пассажирских к грузовых вагонов

Тип вагона	Сила нажатия колодок на ось, кН
Цельнометаллические пассажирские вагоны с массой тары:	
53 т и более	98,1
48 т и более, но менее 53 т	88,3
42 т и более, но менее 48 т	78,5
Грузовые вагоны на порожнем режиме торможения	34,3
Грузовые вагоны, оборудованные чугунными колодками на режиме:	
груженом	68,7
среднем	49,1
Грузовые вагоны, оборудованные композиционными колодками (в пересчете на чугунные колодки) на режиме:	
груженом	83,4
среднем	68,7
порожнем	34,3

3.4. Тормозной коэффициент поезда

Расчетным тормозным коэффициентом поезда называется отношение суммы тормозных расчетных сил нажатия всех тормозных колодок поезда к массе поезда

$$\vartheta_{\delta} = \frac{\sum \hat{E}_{\delta}}{Q + P_{\delta}}, (\text{Н/т}) \quad (3.4)$$

где $\sum \hat{E}_{\delta}$ - сумма расчетных сил нажатия на тормозные оси поезда, Н;

Q - масса состава, электро-, дизель-поезда, т;

P_y - учетная масса локомотива, т.

Для уменьшения скорости движения поезда применяется служебное торможение, полное служебное торможение и экстренное торможение.

Служебное торможение используется при:

- регулировочных торможениях для поддержания заданной скорости движения (I ступень служебного торможения в соответствии с ПТР);

- остановках на станциях и раздельных пунктах, предусмотренных графиком движения (II ступень служебного торможения в соответствии с ПТР);

Полное служебное торможение (III ступень служебного торможения в соответствии с ПТР) используется для остановки поезда перед постоянными сигналами на пути следования в том случае, если требуемая длина тормозного пути не может быть обеспечена служебным торможением I или II ступени.

Экстренное торможение применяется, когда дальнейшему движению поезда угрожает опасность и требуется его немедленная остановка.

Для служебного торможения:

- I ступени значение расчетного тормозного коэффициента принимать 0,3 его полного расчетного значения;

- II ступени значение расчетного тормозного коэффициента принимать равным для грузовых поездов 0,5; для пассажирских поездов, электро- и дизель-поездов — 0,6 его полного расчетного значения;

- III ступени (полное служебное торможение) значение расчетного тормозного коэффициента принимать равным 0,8 его полного расчетного значения.

Для экстренного торможения расчетный тормозной коэффициент принимать равным его полному значению.

3.5. Тормозной путь

Тормозным путем называется расстояние, проходимое поездом от начала торможения (с момента поворота ручки крана машиниста или стоп-крана) до его остановки.

Тормозной путь s_T при расчетах принимать равным сумме подготовительного тормозного пути s_n и действительного пути торможения s_d :

$$s_d = s_{\bar{i}} + s_{\bar{A}}, \text{ (м)} \quad (3.5)$$

$$s_{\bar{i}} = 0,278v_0t_{\bar{i}}, \text{ (м)} \quad (3.6)$$

$$s_{\bar{A}} = \sum s_{\bar{A}i} = \sum \frac{500(v_i^2 - v_e^2)}{\zeta(\theta_{\delta}\varphi_{\delta\delta} + w_{i\delta} + w_{i_n})}, \text{ (м)} \quad (3.7)$$

где v_0 - скорость начала процесса торможения, км/ч;

$t_{\bar{t}}$ - время подготовки тормозов к действию, с;

v_i , v_e - начальная и конечная скорость расчетного интервала действительного торможения, км/ч;

$w_{e\delta}$ - основное удельное сопротивление движению поезда в режиме выбега (холостого хода) Н/т;

$w_{\bar{i}\delta}$ - удельное сопротивление от спрямленного (в профиле и плане) уклона, для которого производятся расчеты, Н/т;

$\zeta = 12,23 \text{ км} \cdot \text{т}/(\text{Н} \cdot \text{ч}^2)$ - замедление грузового или пассажирского поезда под действием удельной замедляющей силы.

Время подготовки тормозов к действию $t_{\bar{t}}$ определять по формулам:

а) грузовые составы длиной 200 осей и менее при автоматических тормозах и одиночно следующие грузовые локомотивы

$$t_{\bar{t}} = 7 - \frac{10gi_c}{g_\delta \varphi_{e\delta}}, \text{ (c)} \quad (3.8)$$

б) грузовые составы длиной более 200 осей (до 300 осей) при автоматических тормозах

$$t_{\bar{t}} = 10 - \frac{15gi_c}{g_\delta \varphi_{e\delta}}, \text{ (c)} \quad (3.9)$$

в) грузовые поезда длиной более 300 осей при автоматических тормозах

$$t_{\bar{t}} = 12 - \frac{18gi_c}{g_\delta \varphi_{e\delta}}, \text{ (c)} \quad (3.10)$$

г) пассажирские поезда при пневматических тормозах и одиночно следующие пассажирские локомотивы

$$t_{\bar{t}} = 4 - \frac{5gi_c}{g_\delta \varphi_{e\delta}}, \text{ (c)} \quad (3.11)$$

д) пассажирские поезда при электропневматических тормозах

$$t_{\bar{t}} = 2 - \frac{3gi_c}{g_\delta \varphi_{e\delta}}, \text{ (c)} \quad (3.12)$$

е) при ручных тормозах $t_{\bar{t}} = 60$ с.

При срабатывании автостопа время подготовки автоматических тормозов к действию $t_{\bar{t}}$, определяемое по формулам (3.8 - 3.12), увеличивать на 14 с.

3.6. Расчеты при ручных тормозах

При ручных тормозах принимать в расчет тормозную силу от действия тормозных колодок локомотивов, включая тендер, и тормозных вагонов.

Расчетную силу нажатия чугунных тормозных колодок на оси при ручном торможении принимать:

- для пассажирских цельнометаллических вагонов, вагонов рефрижераторных поездов 39,24 кН;
- для остальных пассажирских вагонов и всех грузовых вагонов (с тормозной площадкой) 19,62 кН;
- для электровозов, тепловозов, электро- и дизель-поездов 49,05 кН.

Тормозную силу локомотива при удержании остановившегося поезда на станции, разъезде и обгонном пункте, имеющих спуск, вспомогательным тормозом локомотива определять по формуле

$$B_{\delta} = 0,25 \sum K_{\delta}, (\text{Н}) \quad (3.13)$$

3.7. Практическое задание

3.7.1. Тормозная задача первого типа

Определить длину тормозного пути поезда при экстренном торможении для следующих условий:

- расчетный участок пути бесстыковый, прямолинейный, с уклоном $i_c = -2^{\circ}/00$;
- локомотив ВЛ80^к;
- состав сформирован из 50 груженых четырехосных цистерн с подшипниками качения;
- тормозные колодки вагонов чугунные;
- тормозной режим груженый;
- начальная скорость торможения $v_0 = 90 \text{ км/ч}$.

Решение.

Полный тормозной путь поезда на основании (3.5) состоит из подготовительного и действительного пути торможения. Ввиду этого, последовательно рассчитаем каждый из них.

Определим тормозной путь подготовки тормозов к действию в соответствии с (3.6), рассчитав количество тормозных осей n_{α} состава:

$$n_{\partial} = 4n_{\hat{a}\hat{a}\hat{a}} = 4 \cdot 50 = 200 \text{ шт},$$

где 4 – количество осей одного вагона, шт;

$n_{\hat{a}\hat{a}\hat{a}}$ - количество вагонов состава, шт.

Исходя из определенного количества тормозных осей время подготовки тормозов к действию может быть рассчитано в соответствии с (3.8). Чтобы перейти к расчету, определим значение тормозного коэффициента состава и расчетного коэффициента трения.

Расчетная сила нажатия чугунных тормозных колодок на ось для цистерны на грузовом режиме на основании таблицы 3.1 составляет $K_p=68,7 \text{ кН}$.

Масса состава

$$Q = n_{\hat{a}\hat{a}\hat{a}} m_{\hat{a}\hat{a}\hat{a}}^{\partial} = 50 \cdot 88 = 4400 \text{ т},$$

где $m_{\hat{a}\hat{a}\hat{a}}^{\partial}=88 \text{ т}$ – масса вагона брутто.

Учетная масса электровоза ВЛ80к $P_o=184 \text{ т}$.

Таким образом, расчетный тормозной коэффициент поезда

$$\vartheta_{\partial} = \frac{\sum \hat{E}_{\partial}}{Q + P_o} = \frac{200 \cdot 68700}{4400 + 184} = 2996,07 \text{ Н/т.}$$

Расчетный коэффициент трения для чугунных колодок в соответствии с (3.2) для скорости начала торможения $v_0=90 \text{ км/ч}$

$$\varphi_{\partial} = 0,27 \frac{v+100}{5v+100} = 0,27 \frac{90+100}{5 \cdot 90+100} = 0,093.$$

Таким образом, время подготовки тормозов к действию

$$t_{\bar{i}} = 7 - \frac{10gi_c}{\vartheta_{\partial}\varphi_{\partial}} = 7 - \frac{10 \cdot 9,81(-2)}{2996,07 \cdot 0,093} = 7,7 \text{ с.}$$

Подготовительный тормозной путь на основании (3.6)

$$s_{\bar{i}} = 0,278v_0t_{\bar{i}} = 0,278 \cdot 90 \cdot 7,7 = 192,65 \text{ м.}$$

Расчет действительного пути торможения в соответствии с (3.7) будем осуществлять по интервалам скоростей с шагом $\Delta v=10 \text{ км/ч}$.

Ранее определенный расчетный тормозной коэффициент поезда для всего диапазона торможения $\vartheta_{\partial} = 2996,07 \text{ Н/т.}$

Удельное сопротивление от спрямленного уклона, для которого производятся расчеты $w_{i_{\bar{i}}} = i_c g = -2 \cdot 9,81 = -19,62 \text{ Н/т.}$

1 участок.

Начальная скорость $v_i=90 \text{ км/ч.}$

Конечная скорость $v_{\bar{i}}=80 \text{ км/ч.}$

Средняя скорость для участка $v_{\text{ср}} = 85 \text{ км/ч}$.

Расчетный коэффициент трения для средней скорости $v_{\text{ср}}$ расчетного участка

$$\varphi_{\text{ср}} = 0,27 \frac{85+100}{5 \cdot 85+100} = 0,095 .$$

Основное удельное сопротивление движению локомотива в режиме выбега на бесстыковом пути в соответствии с (1.19)

$$w_x = (2,4 + 0,009v + 0,00035v^2)g = (2,4 + 0,009 \cdot 85 + 0,00035 \cdot 85^2)9,81 = 55,86 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению вагонов на бесстыковом пути в соответствии с (1.8)

$$w_0 = \left(0,7 + \frac{3+0,09v+0,002v^2}{q_0} \right)g = \left(0,7 + \frac{3+0,09 \cdot 85+0,002 \cdot 85^2}{22} \right)9,81 = 18,06 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению поезда в режиме выбега

$$w_{i\delta} = \frac{184}{4400+184} 55,86 + \frac{4400}{4400+184} 18,06 = 19,58 \text{ Н/т.}$$

Тормозной путь для первого участка в соответствии с (3.7)

$$s_{A1} = \frac{500(v_i^2 - v_e^2)}{\zeta(\vartheta_{\delta}\varphi_{\text{ср}} + w_{i\delta} + w_{i_h})} = \frac{500(90^2 - 80^2)}{12,23(2996,07 \cdot 0,095 + 19,58 - 19,62)} = 243,85 \text{ м.}$$

2 участок.

Начальная скорость $v_i = 80 \text{ км/ч}$.

Конечная скорость $v_e = 70 \text{ км/ч}$.

Средняя скорость для участка $v_{\text{ср}} = 75 \text{ км/ч}$.

Расчетный коэффициент трения

$$\varphi_{\text{ср}} = 0,27 \frac{75+100}{5 \cdot 75+100} = 0,099 .$$

Основное удельное сопротивление движению локомотива

$$w_x = (2,4 + 0,009v + 0,00035v^2)g = (2,4 + 0,009 \cdot 75 + 0,00035 \cdot 75^2)9,81 = 49,48 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению вагонов

$$w_0 = \left(0,7 + \frac{3+0,09v+0,002v^2}{q_0} \right)g = \left(0,7 + \frac{3+0,09 \cdot 75+0,002 \cdot 75^2}{22} \right)9,81 = 16,23 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению поезда

$$w_{i\delta} = \frac{184}{4400+184} 49,48 + \frac{4400}{4400+184} 16,23 = 17,57 \text{ Н/т.}$$

Тормозной путь для второго участка

$$s_{\ddot{A}^2} = \frac{500(v_i^2 - v_e^2)}{\zeta(\vartheta_{\delta}\varphi_{\dot{e}\delta} + w_{i\delta} + w_{l_h})} = \frac{500(80^2 - 70^2)}{12,23(2996,07 \cdot 0,099 + 17,57 - 19,62)} = 207,2 \text{ м.}$$

3 участок.

Начальная скорость $v_i = 70 \text{ км/ч.}$

Конечная скорость $v_e = 60 \text{ км/ч.}$

Средняя скорость для участка $v_{\bar{n}\delta} = 65 \text{ км/ч.}$

Расчетный коэффициент трения

$$\varphi_{\dot{e}\delta} = 0,27 \frac{65+100}{5 \cdot 65+100} = 0,105 .$$

Основное удельное сопротивление движению локомотива

$$w_x = (2,4 + 0,009 \cdot 65 + 0,00035 \cdot 65^2) 9,81 = 43,79 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению вагонов

$$w_0 = \left(0,7 + \frac{3 + 0,09 \cdot 65 + 0,002 \cdot 65^2}{22} \right) 9,81 = 14,58 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению поезда

$$w_{i\delta} = \frac{184}{4400+184} 43,79 + \frac{4400}{4400+184} 14,58 = 15,75 \text{ Н/т.}$$

Тормозной путь для третьего участка

$$s_{\ddot{A}^3} = \frac{500(70^2 - 60^2)}{12,23(2996,07 \cdot 0,105 + 15,75 - 19,62)} = 171,34 \text{ м.}$$

4 участок.

Начальная скорость $v_i = 60 \text{ км/ч.}$

Конечная скорость $v_e = 50 \text{ км/ч.}$

Средняя скорость для участка $v_{\bar{n}\delta} = 55 \text{ км/ч.}$

Расчетный коэффициент трения

$$\varphi_{\dot{e}\delta} = 0,27 \frac{55+100}{5 \cdot 55+100} = 0,112 .$$

Основное удельное сопротивление движению локомотива

$$w_x = (2,4 + 0,009 \cdot 55 + 0,00035 \cdot 55^2) 9,81 = 38,79 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению вагонов

$$w_0^* = \left(0,7 + \frac{3 + 0,09 \cdot 55 + 0,002 \cdot 55^2}{22} \right) 9,81 = 13,11 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению поезда

$$w_{t\delta} = \frac{184}{4400 + 184} 38,79 + \frac{4400}{4400 + 184} 13,11 = 14,14 \text{ Н/т.}$$

Тормозной путь для четвертого участка

$$s_{A4} = \frac{500(60^2 - 50^2)}{12,23(2996,07 \cdot 0,112 + 14,14 - 19,62)} = 136,74 \text{ м.}$$

5 участок.

Начальная скорость $v_i = 50 \text{ км/ч.}$

Конечная скорость $v_e = 40 \text{ км/ч.}$

Средняя скорость для участка $v_{\bar{n}\delta} = 45 \text{ км/ч.}$

Расчетный коэффициент трения

$$\varphi_{e\delta} = 0,27 \frac{45 + 100}{5 \cdot 45 + 100} = 0,12 .$$

Основное удельное сопротивление движению локомотива

$$w_x = \left(2,4 + 0,009 \cdot 45 + 0,00035 \cdot 45^2 \right) 9,81 = 34,47 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению вагонов

$$w_0^* = \left(0,7 + \frac{3 + 0,09 \cdot 45 + 0,002 \cdot 45^2}{22} \right) 9,81 = 11,82 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению поезда

$$w_{t\delta} = \frac{184}{4400 + 184} 34,47 + \frac{4400}{4400 + 184} 11,82 = 12,73 \text{ Н/т.}$$

Тормозной путь для пятого участка

$$s_{A5} = \frac{500(50^2 - 40^2)}{12,23(2996,07 \cdot 0,12 + 12,73 - 19,62)} = 103,93 \text{ м.}$$

6 участок.

Начальная скорость $v_i = 40 \text{ км/ч.}$

Конечная скорость $v_e = 30 \text{ км/ч.}$

Средняя скорость для участка $v_{\bar{n}\delta} = 35 \text{ км/ч.}$

Расчетный коэффициент трения

$$\varphi_{e\delta} = 0,27 \frac{35 + 100}{5 \cdot 35 + 100} = 0,13 .$$

Основное удельное сопротивление движению локомотива

$$w_x = (2,4 + 0,009 \cdot 35 + 0,00035 \cdot 35^2) 9,81 = 30,84 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению вагонов

$$w_0 = \left(0,7 + \frac{3 + 0,09 \cdot 35 + 0,002 \cdot 35^2}{22} \right) 9,81 = 10,7 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению поезда

$$w_{i\delta} = \frac{184}{4400 + 184} 30,84 + \frac{4400}{4400 + 184} 10,7 = 11,51 \text{ Н/т.}$$

Тормозной путь для шестого участка

$$s_{A6} = \frac{500(40^2 - 30^2)}{12,23(2996,07 \cdot 0,13 + 11,51 - 19,62)} = 73,57 \text{ м.}$$

7 участок.

Начальная скорость $v_i = 30 \text{ км/ч.}$

Конечная скорость $v_e = 20 \text{ км/ч.}$

Средняя скорость для участка $v_{\bar{\delta}} = 25 \text{ км/ч.}$

Расчетный коэффициент трения

$$\varphi_{e\delta} = 0,27 \frac{25 + 100}{5 \cdot 25 + 100} = 0,15 .$$

Основное удельное сопротивление движению локомотива

$$w_x = (2,4 + 0,009 \cdot 25 + 0,00035 \cdot 25^2) 9,81 = 27,9 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению вагонов

$$w_0 = \left(0,7 + \frac{3 + 0,09 \cdot 25 + 0,002 \cdot 25^2}{22} \right) 9,81 = 9,77 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению поезда

$$w_{i\delta} = \frac{184}{4400 + 184} 27,9 + \frac{4400}{4400 + 184} 9,77 = 10,49 \text{ Н/т.}$$

Тормозной путь для седьмого участка

$$s_{A7} = \frac{500(30^2 - 20^2)}{12,23(2996,07 \cdot 0,15 + 10,49 - 19,62)} = 46,43 \text{ м.}$$

8 участок.

Начальная скорость $v_i = 20 \text{ км/ч.}$

Конечная скорость $v_e = 10 \text{ км/ч.}$

Средняя скорость для участка $v_{\text{нo}} = 15 \text{ км/ч.}$

Расчетный коэффициент трения

$$\varphi_{\text{e}\delta} = 0,27 \frac{15+100}{5 \cdot 15 + 100} = 0,177.$$

Основное удельное сопротивление движению локомотива

$$w_x = (2,4 + 0,009 \cdot 15 + 0,00035 \cdot 15^2) 9,81 = 25,64 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению вагонов

$$w_0 = \left(0,7 + \frac{3 + 0,09 \cdot 15 + 0,002 \cdot 15^2}{22} \right) 9,81 = 9,01 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению поезда

$$w_{i\delta} = \frac{184}{4400 + 184} 25,64 + \frac{4400}{4400 + 184} 9,01 = 9,68 \text{ Н/т.}$$

Тормозной путь для восьмого участка

$$s_{\tilde{A}8} = \frac{500(20^2 - 10^2)}{12,23(2996,07 \cdot 0,177 + 9,68 - 19,62)} = 23,51 \text{ м.}$$

9 участок.

Начальная скорость $v_i = 10 \text{ км/ч.}$

Конечная скорость $v_e = 0 \text{ км/ч.}$

Средняя скорость для участка $v_{\text{нo}} = 5 \text{ км/ч.}$

Расчетный коэффициент трения

$$\varphi_{\text{e}\delta} = 0,27 \frac{5+100}{5 \cdot 5 + 100} = 0,227.$$

Основное удельное сопротивление движению локомотива

$$w_x = (2,4 + 0,009 \cdot 5 + 0,00035 \cdot 5^2) 9,81 = 24,07 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению вагонов

$$w_0 = \left(0,7 + \frac{3 + 0,09 \cdot 5 + 0,002 \cdot 5^2}{22} \right) 9,81 = 8,43 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению поезда

$$w_{i\delta} = \frac{184}{4400 + 184} 24,07 + \frac{4400}{4400 + 184} 8,43 = 9,06 \text{ Н/т.}$$

Тормозной путь для девятого участка

$$s_{\tilde{A}9} = \frac{500(10^2 - 0^2)}{12,23(2996,07 \cdot 0,277 + 9,06 - 19,62)} = 6,11 \text{ м.}$$

Полный тормозной путь поезда при экстренном торможении со скорости 90 км/ч до полной остановки в соответствии с (3.5, 3.7)

$$s_{\delta} = s_i + \sum s_{Ai} = 192,65 + 243,85 + 207,2 + 171,34 + 136,74 + \\ + 103,93 + 73,57 + 46,43 + 23,51 + 6,11 = 1205,33 \text{ м.}$$

3.7.2. Тормозная задача второго типа

При тех же условиях, что и в тормозной задаче первого типа (п.3.7.1) определить максимальную скорость движения поезда по перегону в случае использования полного служебного торможения при автоблокировке, если расстояние между блок-постами с установленными светофорами составляет 1000 м.

Решение.

Решение тормозной задачи второго типа осуществляется графо-аналитическим методом. С этой целью осуществляется расчет подготовительного и действительного тормозного пути поезда для полного служебного торможения с максимальной скорости движения по перегону аналогично методике, приведенной в п.3.7.1. После чего графически определяется допустимая скорость движения по данному участку.

Осуществим расчет подготовительного тормозного пути при условии скорости начала торможения $v_0 = 90$ км/ч. С учетом того, что для полного служебного торможения значение расчетного тормозного коэффициента принимается равным 0,8 его полного расчетного значения, расчетный тормозной коэффициент поезда

$$\vartheta_{\delta} = \frac{\sum \hat{E}_{\delta}}{Q + P_{\delta}} = \frac{200 \cdot 0,8 \cdot 68670}{4400 + 184} = 2396,86 \text{ Н/т.}$$

Расчетный коэффициент трения для чугунных колодок для скорости начала торможения

$$\varphi_{\delta\delta} = 0,27 \frac{90 + 100}{5 \cdot 90 + 100} = 0,093.$$

Таким образом, время подготовки тормозов к действию

$$t_i = 7 - \frac{10gi_c}{\vartheta_{\delta}\varphi_{\delta\delta}} = 7 - \frac{10 \cdot 9,81(-2)}{2396,86 \cdot 0,093} = 7,88 \text{ с.}$$

Подготовительный тормозной путь

$$s_i = 0,278 \cdot 90 \cdot 7,88 = 197,16 \text{ м.}$$

При дальнейшем расчете действительного тормозного пути используем предварительно определенные в п.3.7.1 расчетный коэффициент трения и основные удельные сопротивления движению подвижного состава.

1 участок.

Начальная скорость $v_i = 90$ км/ч.

Конечная скорость $v_e = 80$ км/ч.

Тормозной путь

$$s_{A1} = \frac{500(90^2 - 80^2)}{12,23(2396,86 \cdot 0,099 + 17,57 - 19,62)} = 304,83 \text{ м.}$$

2 участок.

Начальная скорость $v_i = 80$ км/ч.

Конечная скорость $v_e = 70$ км/ч.

Тормозной путь

$$s_{A2} = \frac{500(80^2 - 70^2)}{12,23(2396,86 \cdot 0,099 + 17,57 - 19,62)} = 259,44 \text{ м.}$$

3 участок.

Начальная скорость $v_i = 70$ км/ч.

Конечная скорость $v_e = 60$ км/ч.

Тормозной путь

$$s_{A3} = \frac{500(70^2 - 60^2)}{12,23(2396,86 \cdot 0,105 + 15,75 - 19,62)} = 214,84 \text{ м.}$$

4 участок.

Начальная скорость $v_i = 60$ км/ч.

Конечная скорость $v_e = 50$ км/ч.

Тормозной путь

$$s_{A4} = \frac{500(60^2 - 50^2)}{12,23(2396,86 \cdot 0,112 + 14,14 - 19,62)} = 171,64 \text{ м.}$$

5 участок.

Начальная скорость $v_i = 50$ км/ч.

Конечная скорость $v_e = 40$ км/ч.

Тормозной путь

$$s_{\ddot{A}5} = \frac{500(50^2 - 40^2)}{12,23(2396,86 \cdot 0,12 + 12,73 - 19,62)} = 130,55 \text{ м.}$$

6 участок.

Начальная скорость $v_i = 40$ км/ч.

Конечная скорость $v_e = 30$ км/ч.

Тормозной путь

$$s_{\ddot{A}6} = \frac{500(40^2 - 30^2)}{12,23(2396,86 \cdot 0,13 + 11,51 - 19,62)} = 92,44 \text{ м.}$$

7 участок.

Начальная скорость $v_i = 30$ км/ч.

Конечная скорость $v_e = 20$ км/ч.

Тормозной путь

$$s_{\ddot{A}7} = \frac{500(30^2 - 20^2)}{12,23(2396,86 \cdot 0,15 + 10,49 - 19,62)} = 58,34 \text{ м.}$$

8 участок.

Начальная скорость $v_i = 20$ км/ч.

Конечная скорость $v_e = 10$ км/ч.

Тормозной путь

$$s_{\ddot{A}8} = \frac{500(20^2 - 10^2)}{12,23(2396,86 \cdot 0,177 + 9,68 - 19,62)} = 29,53 \text{ м.}$$

9 участок.

Начальная скорость $v_i = 10$ км/ч.

Конечная скорость $v_e = 0$ км/ч.

Тормозной путь

$$s_{\ddot{A}9} = \frac{500(10^2 - 0^2)}{12,23(2396,86 \cdot 0,277 + 9,06 - 19,62)} = 7,67 \text{ м.}$$

Дальнейшее определение максимально допустимой скорости движения на перегоне осуществляется с помощью графика скорости движения от тормозного пути $v=f(s_T)$.

На данном графике (рис.3.1) строится прямоугольный треугольник АВВ у которого вершина А совпадает с горизонтальной осью s_T и находится на расстоянии требуемого тормозного пути $s_T=1000$ м от точки начала координат.

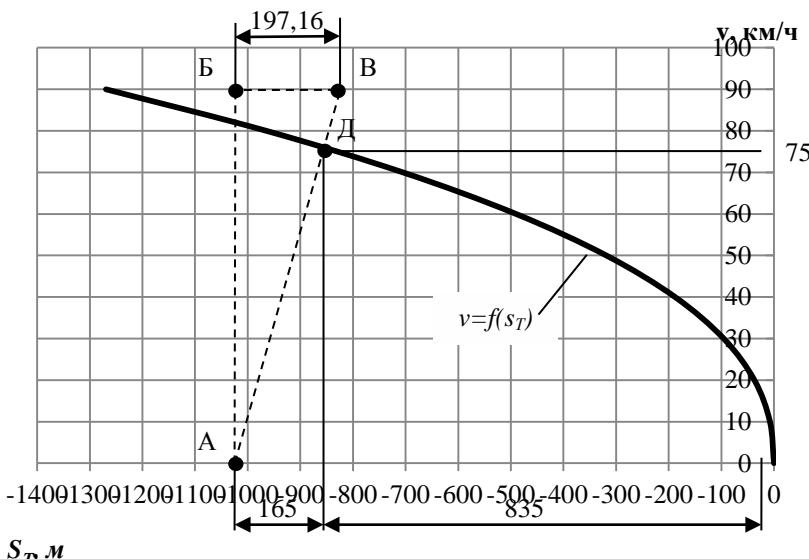


Рис.3.1. Расчетная схема определения начальной скорости торможения

Вершина Б треугольника определяется пересечением нормали к горизонтальной оси и проходящей через т.А с линией, проходящей через ранее заданную скорость начала торможения при определении подготовительного тормозного пути. Для заданной задачи $v_0 = 90 \text{ км/ч}$.

Вершина В треугольника определяется горизонтальным отрезком выходящим из вершины Б в сторону начала координат с длиной пути предварительного торможения, рассчитанного ранее, т.е. $s_n = 197,16 \text{ м}$.

Соединив вершины А и В получаем точку пересечения с графиком пути действительного торможения, что, в конечном счете, определяет максимально допустимую скорость движения на перегоне, подготовительный и действительный путь торможения при известном полном тормозном пути.

Таким образом, максимально допустимая скорость движения для указанных условий составляет 75 км/ч, что обеспечивает длину тормозного пути 1000 м, в которую входит 165 м подготовительного тормозного пути и 835 м действительного тормозного пути.

3.8. Задание для самостоятельной работы

Определить длину тормозного пути поезда при экстренном торможении для следующих условий:

- расчетный участок пути прямолинейный;
- состав сформирован из груженых четырехосных полуваагонов с подшипниками качения;
- тормозной режим груженый;
- начальная скорость торможения $v_0 = 90 \text{ км/ч}$.

Недостающие исходные данные представлены в таблице 3.1.

Для тех же условий определить максимальную скорость движения поезда при автоблокировке, если расстояние между блок-постами с установленными светофорами составляет 1000 м.

Таблица 3.1. Исходные данные

№ п/п	Локомотив	Количество вагонов	Тип колодок	Путь	Уклон, %
1.	2ТЭ116	50	чугунные	бесстыковый	-4
2.	2ТЭ10В	55	композиц.	звеньевой	-6
3.	2М62	60	чугунные	бесстыковый	-8
4.	М62	45	композиц.	звеньевой	-10
5.	ТЭМ2	50	чугунные	бесстыковый	-4
6.	ТЭП70	55	композиц.	звеньевой	-6
7.	2ТЭ116	60	чугунные	бесстыковый	-8
8.	2ТЭ10В	65	композиц.	звеньевой	-10
9.	2М62	30	чугунные	бесстыковый	-4
10.	М62	55	композиц.	звеньевой	-6
11.	ТЭМ2	60	чугунные	бесстыковый	-8
12.	ТЭП70	65	композиц.	звеньевой	-10
13.	2ТЭ116	50	чугунные	звеньевой	-4
14.	ВЛ8	55	композиц.	бесстыковый	-6
15.	ВЛ10	60	чугунные	звеньевой	-8
16.	ВЛ10 ^у	65	композиц.	бесстыковый	-10
17.	ВЛ60 ^к	50	чугунные	звеньевой	-4
18.	ВЛ80 ^с	35	композиц.	бесстыковый	-6
19.	ВЛ80 ^р	60	чугунные	звеньевой	-8
20.	ЧС2	65	композиц.	бесстыковый	-10
21.	ЧС4 ^т	50	чугунные	звеньевой	-4
22.	ВЛ8	45	композиц.	бесстыковый	-6
23.	ВЛ10	30	чугунные	звеньевой	-8
24.	ВЛ60 ^к	65	композиц.	бесстыковый	-10
25.	ВЛ80 ^с	50	чугунные	звеньевой	-4

4. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА ПО ПЕРЕГОНУ

4.1. Определение скорости движения и времени хода поезда

В уравнении движения поезда, приведенном к 1 т его массы,

$$\frac{dv}{dt} = \zeta (f_e - w_e) \quad (4.1)$$

принимать равным коэффициент $\zeta = 12,23$ для грузовых и пассажирских поездов при всех эксплуатационных расчетах.

Скорость движения время хода поезда определять графическим способом по спрямленному профилю пути, используя диаграммы ускоряющих и замедляющих сил поезда или с помощью ЭВМ.

При расчетах на ЭВМ методами численного интегрирования от дифференциального уравнения (4.1) следует перейти к уравнению в приращениях, на основании чего

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \zeta (f_e - w_e - b_o). \quad (4.2)$$

Исходя из (4.2) график движения поезда можно определить зависимостью изменения скорости от интервала времени

$$\Delta v_i = \zeta (f_e - w_e - b_o) \Delta t, \quad (4.3)$$

откуда пройденный путь

$$s = \sum_i s_i = \Delta t \sum_i \left(v_{i-1} + \frac{\Delta v_i}{2} \right). \quad (4.4)$$

На режиме тяги интервалы скорости, в которых ускоряющие силы считаются постоянными, принимать не более 10 км/ч до выхода на автоматическую характеристику силы тяги.

На режиме холостого хода интервалы скорости, в которых замедляющие силы считаются постоянными, принимать не более 10 км/ч. На режиме торможения интервалы скорости, в которых замедляющие силы считаются постоянными, принимать не более 5 км/ч в диапазоне скоростей от 0 до 50 км/ч и не более 10 км/ч в диапазоне скоростей выше 50 км/ч.

Скорости движения поезда определять для двух вариантов: с остановками на всех раздельных пунктах, кроме проходных светофоров при автоблокировке, и без остановок.

При определении скорости движения поезда на расчетном и最难的阶段上坡段上，具有小半径曲线的区段内，对牵引力有影响，牵引力随速度降低而降低，因此在计算时应考虑速度降低对牵引力的影响，即在计算时应考虑速度降低对牵引力的影响。

При трогании и разгоне поезда на подъеме и в пунктах, за которыми расположен трудный подъем, должно обеспечиваться увеличение скорости или движение с установленнойся скоростью, соответствующей режимам работы локомотивов, указанным в п. 2.3; при этом допускается на расстоянии не более 500 м снижение скорости движения не выше 3 км/ч с последующим ее увеличением, не вызывающим перегрев обмоток тяговых электрических машин локомотива.

Для максимального использования кинетической энергии поезда скорость к началу подъема должна быть наибольшей, но не превышать при этом конструкционную скорость подвижного состава, допускаемые скорости по тормозам и состоянию пути. При этом учитывать также действующие предупреждения, утвержденные Укрзализыцей, к разрабатываемым графикам движения поездов.

При наличии предупреждений об ограничении скорости определять ее следует исходя из установленной скорости проследования по всему месту действия предупреждения с учетом длины поезда. При этом расчет производить с использованием режима работы локомотива на частичных характеристиках (промежуточных позициях контроллера).

При определении скорости движения поезда на затяжных спусках длиной до 10 км разрешается принимать скорость ниже допустимой по тормозам на Δv в зависимости от спуска. Значение Δv в зависимости от спуска принимать по табл.4.1.

На спусках до $4^0/00$ значение Δv принимать равным нулю.

На затяжных спусках длиной более 10 км или крутизной более $18^0/00$ скорость движения определять, используя соответствующие диаграммы замедляющих сил.

Для электропневматических тормозов в пассажирских поездах Δv принимать одинаковым с пневматическими тормозами на спусках до $6^0/00$, а на более крутых спусках 3 км/ч независимо от крутизны спуска.

При определении скорости движения поезда необходимо учитывать проверки действия тормозов в соответствии с действующей инструкцией по автотормозам машинисту локомотива. Снижение скорости при торможении допускать: 10 км/ч для пассажирских и 20 км/ч для грузовых поездов.

Таблица 4.1. Поправка Δv при разных спусках i_k

Поезда	Поправка Δv при разных спусках i_k , $^0/00$							
	4	6	8	10	12	14	16	18
Грузовые	4	4	4	4	5	6	7	8
Пассажирские	2	2	3	4	6	7	8	9

Выдерживать установленную скорость проследования по парковым и приемо-отправочным путям станций, разъездов и обгонных пунктов от места отправления до выходной стрелки с учетом длины поезда.

При ручном обмене жезлов или путевок при проследовании раздельного пункта без остановки скорость снижать до 40 км/ч к моменту прохода локомотивом места обмена. На раздельных пунктах с механическими жезлообменивателями скорость должна быть не выше 70 км/ч.

4.2. Определение удельной ускоряющей и замедляющей силы

Удельную ускоряющую силу определять на основании тяговых характеристик локомотива в соответствии (2.4), т.е.

$$f_{\dot{e}} = \frac{F_{\dot{e}}}{P + Q}, \text{ (Н/т)} \quad (4.5)$$

Удельную замедляющую силу определять на основании (2.5) с учетом тормозной силы поезда, т.е.

$$w_{\dot{e}i} = w'_{0i} \frac{P}{P + Q} + w''_{ci} \frac{Q}{P + Q} + w_i + w_r + \frac{b_o}{P + Q}. \text{ (Н/т)} \quad (4.6)$$

При расчетах на ЭВМ касательную силу тяги локомотива целесообразно представить в виде системы аналитических функций

$$F_{\dot{e}} = \begin{cases} F_{\dot{e} \text{ нн}}(v), & \text{если } 0 \leq v \leq v_{\text{нн}}; \\ F_{\dot{e}}(v), & \text{если } v_{\text{нн}} \leq v \leq v_{\dot{e}}; \end{cases} \quad (4.7)$$

где $F_{\dot{e} \text{ нн}}(v)$ - функция ограничения касательной силы тяги по сцеплению от скорости движения, Н;

$F_{\dot{e}}(v)$ - функция ограничения касательной силы тяги по мощности от скорости движения, Н;

$v_{\text{нн}}$ - скорость движения, при которой $F_{\dot{e} \text{ нн}} = F_{\dot{e}}$, т.е. точка пересечения графиков ограничения по сцеплению и мощности на тяговой характеристике локомотива, км/ч;

$v_{\dot{e}}$ - конструкционная скорость локомотива, км/ч.

Функция ограничения касательной силы тяги по сцеплению от скорости движения

$$F_{\dot{e} \text{ нн}} = 9810 \psi_{\dot{e}} P, \text{ (Н)} \quad (4.8)$$

где $\psi_{\dot{e}}$ - коэффициент сцепления колеса локомотива с рельсом

Для электровозов расчетный коэффициент сцепления определять по формулам:

а) электровозы ВЛ10, ВЛ11, ВЛ10у, ВЛ82 и ВЛ82м при работе на постоянном и переменном токе

$$\psi_e = 0,28 + \frac{3}{50 + 20v} - 0,0007v; \quad (4.9)$$

б) электровозы ВЛ22м, ВЛ23, ВЛ8

$$\psi_e = 0,25 + \frac{8}{100 + 20v}; \quad (4.10)$$

в) электровозы переменного тока восьми- и шестиосные ВЛ60, ВЛ60^р, ВЛ80^т, ВЛ60^{пк}, ВЛ80^к, ВЛ80^р, ВЛ80^с

$$\psi_e = 0,28 + \frac{4}{50 + 6v} - 0,0006v; \quad (4.11)$$

г) коэффициент сцепления при рекуперативном торможении для всех электровозов

$$\psi_\delta = 0,8\psi_e; \quad (4.12)$$

д) коэффициент сцепления электровозов ВЛ80^т и ВЛ80^с при реостатном торможении

$$\psi_e = 0,09 + \frac{11}{56 + v} - 0,00005v; \quad (4.13)$$

Для тепловозов расчетный коэффициент сцепления определять по формулам:

а) для тепловозов ТЭ10 и 2ТЭ10Л

$$\psi_e = 0,118 + \frac{4}{22 + v}; \quad (4.14)$$

б) для остальных тепловозов

$$\psi_e = 0,118 + \frac{5}{27,5 + v}; \quad (4.15)$$

Если на расчетном и труднейших подъемах имеются кривые малого радиуса (для электровозов менее 500 м, для тепловозов менее 800 м), снижение расчетного коэффициента сцепления учитывать коэффициентом $\hat{E}_{\hat{e}\delta}$ по формулам:

$$\psi_{\hat{e}\hat{e}\delta} = \psi_e \hat{E}_{\hat{e}\delta}, \quad (4.16)$$

- для электровозов

$$\hat{E}_{\hat{e}\delta} = \frac{250 + 1,55R}{500 + 1,1R}; \quad (4.17)$$

- для тепловозов

$$\hat{E}_{\dot{\epsilon}\delta} = \frac{3,5R}{400+3R}; \quad (4.18)$$

В зимний период при особо неудовлетворительных условиях сцепления (бураны, гололед и др.) в зависимости от особенностей участка расчетный коэффициент сцепления локомотивов уменьшается в соответствии с данными опытных поездок, но не более 15% от значений, полученных по формулам (4.9 - 4.18). Период времени, в течение которого действуют уменьшенные нормы расчетного коэффициента сцепления локомотивов, и степень уменьшения коэффициента сцепления локомотивов устанавливаются начальником дороги по согласованию с Укрзализныцей.

Функцию ограничения силы тяги по мощности целесообразно описывать степенной функцией вида

$$F_{\dot{\epsilon}} = av^b, \quad (4.19)$$

где a , b – коэффициенты, получаемые при аппроксимации функции ограничения силы тяги по мощности, представленной на тяговой характеристике локомотива.

4.3. Расчет массы состава и времени хода по перегонам при электрической тяге

4.3.1. Порядок расчетов при одиночной и кратной тяге

Время хода по перегонам рассчитывать в следующем порядке:

а) определить массу состава в соответствии с п.2 или задаться серией электровоза для пассажирского поезда заданного веса или выбрать серию электропоезда;

б) по полученной или заданной массе состава (серии и составности электропоезда) определить скорость движения, время хода поезда, токи электровоза или электропоезда и рассчитать нагревание тяговых электродвигателей (для электровозов), пользуясь характеристиками приложения Б, графическим способом или при помощи ЭВМ;

в) в случае изменения массы состава или режима его ведения электровозом после проверки на нагревание определить новые скорости движения, время хода и токи; вновь проверить нагревание тяговых электродвигателей;

г) при кратной тяге грузовыми электровозами характеристики приложения Б приводить к числу шести- и восьмиосных локомотивов, работающих в голове n_3 , и в хвосте m_3 поезда в режиме тяги по формулам:

$$F_e^i = (n_y + m_y) F_e, \quad (4.20)$$

$$I_{\ddot{A}}^j = I_{\ddot{A}} K_{I_{\ddot{A}}}, \quad (4.21)$$

$$I_{\dot{Y}}^j = I_{\dot{Y}} (n_y + m_y), \quad (4.22)$$

$$I_d^j = I_d (n_y + m_y), \quad (4.23)$$

$$I_{d_a}^j = I_{d_a} (n_y + m_y), \quad (4.24)$$

Коэффициент приведения $K_{I_{\ddot{A}}}$ при кратности тяги n_3 или m_3 , равной 1,5; 2; 3 принимать, соответственно 1,06; 1,04; 1,02. Для трехсекционного двенадцатиосного электровоза $n_3=m_3=1,5$. Приведение делать для всех автоматических характеристик, расчетных точек и ограничений по сцеплению.

Величины F_e , $I_{\ddot{A}}$, $I_{\dot{Y}}$, I_d , I_{d_a} брать из таблиц соответствующих характеристик приложения Б. Затем все величины пересчитать для условий кратной тяги по формулам (4.20 – 4.24). В режиме электрического торможения коэффициент приведения $K_{I_{\ddot{A}}}$ принимать равным 1,0.

При расчете массы состава значения расчетной скорости и расчетной силы тяги электровозов принимать по приложению Б.

В кривых малого радиуса, в которых расчетный коэффициент сцепления снижается в соответствии с п. 4.2, снижение расчетных сил тяги по приложению Б для электровозов, имеющих ограничение по сцеплению, учитывать коэффициентом K_{kp} , сохранив расчетную скорость на расчетном подъеме.

Для пассажирских поездов, а также для ускоренных грузовых и грузо-пассажирских поездов, следующих с пассажирскими электровозами, сила тяги и скорость на расчетном подъеме устанавливаются в соответствии с заданной массой состава таких поездов для равномерного движения. Для этого на тяговых характеристиках электровоза следует построить зависимость полного сопротивления движению поезда от скорости с учетом основных сопротивлений движению вагонов и электровоза и сопротивлений движению от уклона и кривых. Точка пересечения этой кривой с той тяговой характеристикой, которая дает максимальную возможную скорость в пределах разрешенной на данном уклоне, даст скорость, силу тяги и режим работы электровоза на данном расчетном уклоне для данного поезда.

Силу тяги электровозов при трогании состава с места принимать по приложению Б. Трогание и разгон рассчитывать по толстым линиям характеристик.

При трогании с места в кривых малого радиуса, в которых расчетный коэффициент сцепления снижается в соответствии с п. 4.2, снижение силы тяги при трогании по приложению для электровозов, имеющих ограничение по сцеплению, учитывать коэффициентом K_{kp} .

При трогании и разгоне поезда в пунктах, за которыми расположен трудный подъем, и на подъемах проверять выбранную массу состава по увеличению скорости при значениях силы тяги электровозов, нанесенных штриховыми линиями на тяговых характеристиках ниже ограничения силы тяги по сцеплению или по току, по формуле (2.1), где за F_{kp} считать значение силы тяги по штриховой кривой.

Штриховые линии определяют наименьшие значения силы тяги электровозов в процессе ступенчатого пуска. При проектировании новых железных дорог, электрификации действующих линий и выборе секционности электровозов проверку массы состава по увеличению скорости производить обязательно для трудных, расчетных и скоростных подъемов участка.

При определении скорости движения поезда в местах изменения режима работы локомотивов (изменение соединения тяговых электродвигателей или степени ослабления возбуждения, включение или выключение тока, применение рекуперации энергии, начало и конец торможения, начало и конец пониженного напряжения и т.д.) делать соответствующие отметки на кривой скорости или на выходной информации ЭВМ.

При движении поездов по спускам с электровозами, оборудованными рекуперативным или реостатным торможением, обеспечивать необходимую тормозную силу только за счет электрического торможения без применения пневматических тормозов. Если максимальная сила электрического торможения при установленной скорости на спуске недостаточна, считать, что она дополняется пневматическими тормозами.

При электрическом торможении с головы суммарная тормозная сила не должна превышать значений, приведенных в п. 2.6. При применении электрического торможения движение по спускам осуществлять при скорости, меньшей, чем разрешенная по условиям безопасности движения, или по другим ограничениям на Δv , определяемую согласно п. 4.1.

4.3.2 Проверка тяговых электродвигателей на нагревание

Все расчеты на нагревание тяговых электродвигателей как при номинальном напряжении контактной сети, так и при напряжении, отличающемся от номинального, производятся путем определения превышения температуры лимитирующих обмоток над температурой наружного воздуха. При кратной тяге проверяется нагревание тяговых двигателей наиболее нагруженного электровоза.

Наибольшее допускаемое превышение температуры обмотки над температурой окружающего воздуха при его максимальной температуре $t_{i,a_{\max}} \leq 40^{\circ}\text{C}$ определять по табл. 4.2.

Если $t_{i,a_{\max}} > 40^{\circ}\text{C}$, то допускаемые превышения температур уменьшать на столько же градусов. Максимальную температуру наружного воздуха гнвтах принимать по данным метеорологических станций как среднюю многолетнюю (не менее 5 лет).

Нагревание проверяется для летнего и зимнего периодов.

Расчетную температуру наружного воздуха принимать по данным метеорологических станций как среднюю многолетнюю (не менее 5 лет) по замерам в 7, 13 и 19 ч по местному времени и рассчитывать по формуле

$$t_{i,a} = \frac{t_7 + 2t_{13} + t_{19}}{4}, (\text{°C}) \quad (4.25)$$

Расчетную температуру определять отдельно для летнего периода по замерам в июне, июле и августе, но не ниже $+15^{\circ}\text{C}$ и для зимнего периода - по замерам в декабре, январе и феврале, но не ниже 0°C .

При отправлении электровоза со станции после длительной стоянки (свыше 2 ч) начальный перегрев тяговых электродвигателей принимать $\tau=+15^{\circ}\text{C}$.

Таблица 4.2. Допускаемые превышения температуры обмоток тяговых электродвигателей $\tau_{\text{доп}}$ в $^{\circ}\text{C}$ по ГОСТ 2582—81

Обмотки	$\tau_{\text{доп}}$, $^{\circ}\text{C}$, для класса изоляции		
	B	F	H
Якоря	120 ^{*1}	140	160 ^{*2}
Полюсов	130 ^{*3}	155 ^{*4}	180

^{*1} Электровозы ВЛ22^м, ВЛ23, ВЛ8, ВЛ80^к, ВЛ80^т, ВЛ80^с, ВЛ80^р, ВЛ60^к, ВЛ60^{нк}, ВЛ60^р, ЧС2, ЧС2^т, ЧС3

^{*2} Электровозы ЧС4, ЧС4^т

^{*3} Электровозы ВЛ10, ВЛ11, ВЛ10^у

^{*4} Электровозы ВЛ82^м, ВЛ82

Если продолжительность стоянки равна или меньше 2 ч, перегрев определять по предыдущему рейсу как перегрев в момент прибытия, учитывая его снижение за время стоянки расчетом по кривой охлаждения. При включенных мотор-вентиляторах принимать рекомендованные значения постоянных времени нагревания (см. приложение Б); при выключенных мотор-вентиляторах постоянные времени нагревания принимать втрое больше, чем рекомендованные для номинального тока двигателей.

На участках постоянного тока ток электровоза или моторного вагона электропоезда определять на основании зависимости изменения скорости движения поезда по перегону $v=v(s)$ с использованием токовых характеристик тяговых двигателей в тяговом и рекуперативном режимах для всех применяемых позиций регулирования. В случае электровозов переменного тока для проверки нагревания определять ток тягового электродвигателя I_δ по токовым характеристикам тяговых двигателей (см. приложение Б).

В расчетах по проверке нагревания при кратной тяге постоянного и переменного тока ток тягового электродвигателя наиболее нагруженного электровоза I_A^i определять по указаниям п. 4.3.1.

Для расчета расхода электрической энергии электровоза и моторного вагона переменного тока определять действующее значение активного тока I_{da} по токовым характеристикам.

При проектировании участков на переменном токе для расчетов системы энергоснабжения, кроме того, определять приведенное значение выпрямленного тока I_a электровоза или моторного вагона по токовым характеристикам. С целью учета влияния на системы энергоснабжения вспомогательных машин полученные значения токов увеличивать независимо от напряжения на токоприемнике.

Перегрев обмоток тяговых электродвигателей определять, руководствуясь изменением тока $I = I(s)$, по формуле

$$\tau = \tau_\infty \frac{\Delta t}{T} + \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T} \right) \cdot (\text{°C}) \quad (4.26)$$

Остыивание тяговых электродвигателей (при езде без тока) рассчитывать по формуле

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T} \right) \cdot (\text{°C}) \quad (4.27)$$

При этом интервалы времени Δt выбирать при условии $\Delta t / T \leq 0,1$.

Наибольшее значение превышения температуры τ , полученное при тяговом расчете, привести к расчетной температуре наружного воздуха с учетом устройств снегозащиты по формуле

$$\tau_{\delta} = \tau K_{\bar{n}_c} K_{t,a}, \quad (4.28)$$

где $K_{\bar{n}_c}$ - коэффициент, учитывающий снегозащиту; $K_{\bar{n}_c}=1,1$ - для зимних условий; $K_{\bar{n}_c}=1,0$ - для летних;

$K_{t,a}$ - коэффициент приведения превышения температуры обмоток тяговых электрических машин к расчетной температуре окружающего воздуха (табл. 4.3).

При напряжении, отличном от номинального, расчет нагревания ведется так же, как при номинальном.

Таблица 4.3. Коэффициент $K_{t,a}$ в зависимости от расчетной температуры воздуха

Обмотки	Значения $K_{t,a}$ при температуре, °C							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Якоря	0,9	0,92	0,94	0,96	0,98	1	1,02	1,04
Полюсов	0,94	0,95	0,96	0,98	0,99	1	1,01	1,02

4.3.3. Определение расхода электрической энергии

Расход электрической энергии электровозами и моторными вагонами (отнесенный к токоприемнику электроподвижного состава). Полный расход электроэнергии электровозами или моторными вагонами электропоездов определять суммированием расхода энергии на:

- а) движение с поездом или резервом по участку как при расчетной, так и при частичных характеристиках;
- б) собственные нужды;
- в) отопление пассажирских и почтово-багажных вагонов;
- г) движение по деповским путям.

Движение по перегону может сопровождаться также возвратом энергии в сеть при рекуперации.

Расход электроэнергии на движение поездов и резервных электровозов постоянного тока по участку как при номинальном, так и при пониженном напряжении на токоприемнике определять на основе соответствующих зависимостей тока и времени хода от пути по перегонам, суммируя расход электроэнергии по отдельным элементам времени (шагам интегрирования) по формуле

$$\dot{A} = \frac{\sum U_{\dot{Y}} I_{\dot{Y}_{\text{н}} \Delta t}}{60 \cdot 1000}, \text{ (кВт·ч)} \quad (4.29)$$

где Δt - время, мин;

$I_{\dot{Y}_{\text{н}}}$ - средний ток электровоза за время Δt , А;

$U_{\dot{Y}}$ - фактическое напряжение на токоприемнике в этом интервале времени, равное нормальному либо пониженному ($U'_{\dot{Y}}$), В.

При тяговом расчете без учета колебаний напряжения $U_{\dot{Y}} = 3000$ В.

Расход электроэнергии на движение поездов и резервных электровозов переменного тока определять по формуле

$$\dot{A} = \frac{\sum U_{\dot{Y}} K_v I_{da_{\text{н}}} \Delta t}{60 \cdot 1000}, \text{ (кВт·ч)} \quad (4.30)$$

где $I_{da_{\text{н}}}$ - действующее значение активного тока, среднее за время Δt , А;

$U_{\dot{Y}}$ - фактическое напряжение на токоприемнике, среднее за полупериод в этом интервале времени, В;

K_v - коэффициент формы кривой напряжения на данном $U_{\dot{Y}}$ получаемом из кривой.

При тяговом расчете без учета колебаний напряжения $U_{\dot{Y}} K_v = 25000$ В.

Расход электроэнергии на вспомогательные машины, отопление и освещение определять исходя из средней потребляемой для этих целей электроэнергии и полного времени работы электровозов.

За полное время работы электровозов принимать суммарное время движения и стоянок под напряжением на участке. При этом среднее значение потребляемой электроэнергии вспомогательных цепей одного электровоза принимать в соответствии с табл. 4.4. Расход электроэнергии на собственные нужды электровозов считать не зависящим от напряжения.

Расход электроэнергии на отопление учитывать дополнительно исходя из полного времени работы электровозов в отопительном сезоне и средней рекомендуемой электроэнергии 0,07 - 0,14 кВт·ч/мин на один электровоз.

Таблица 4.4. Среднее значение электроэнергии и тока, потребляемых вспомогательными машинами электровозов

Серия электровоза	Электро-энергия, кВт·ч/мин	Ток, А	Серия электровоза	Электро-энергия, кВт·ч/мин	Ток, А
ВЛ8	1,67	33	ВЛ80 ^p	5,83	18
ВЛ10, ВЛ10 ^y , ВЛ11	2,08	42	ВЛ82 ^m , ВЛ82	4.17	12
ВЛ22 ^m	0,83	17	ЧС2	1.17	23
ВЛ23	1,25	25	ЧС2 ^t	1,33	27
ВЛ60 ^k , ВЛ60 ^p , ВЛ60 ^{pk}	3,33	10	ЧС3	0,83	17
ВЛ80 ^k	4,83	14	ЧС4	2,00	6
ВЛ80 ^t , ВЛ80 ^c	5,50	16	ЧС4 ^t	2,33	7

При предварительных ориентировочных расчетах расход электроэнергии:

1. На движение по станционным путям принимать по числу электровозов и электропоездов, выдаваемых из депо в течение суток, считая:

- а) на каждый электровоз ВЛ22^m, ВЛ23, ЧС3 по 10 - 15 кВт·ч;
- б) на электропоезда ЭР1, ЭР2, ЭР9, ЭР9ⁿ, ЭР9^m, ЭР22^b, ЭР22 по 30 - 50 кВт·ч;
- в) на электровозы ВЛ8, ЧС2, ЧС2^t, ВЛ10, ВЛ10^y по 20 - 30 кВт·ч;
- г) на электровозы ВЛ60^k, ВЛ60^p, ВЛ60^{pk}, ВЛ11 (2 секции), ЧС4, ЧС4^t по 30 - 45 кВт·ч;
- д) на электровозы ВЛ80^k ВЛ80^t, ВЛ80^c, ВЛ80^p, ВЛ82 и ВЛ82^m по 45 - 60 кВт·ч.

2. При маневровой работе в депо исходя из следующей ежесуточной затраты на каждый инвентарный электровоз:

- а) электровозы ВЛ22^m, ВЛ23, ВЛ8, ВЛ10, ВЛ10^y, ВЛ11, ЧС2, ЧС4^t, ЧС2^t, ЧС3, ЧС4 по 5 - 10 кВт·ч;
- б) электровозы ВЛ60^k, ВЛ60^p, ВЛ60^{pk}, ВЛ80^k, ВЛ80^t, ВЛ80^p, ВЛ80^c, ВЛ82^m, ВЛ82 по 15 - 30 кВт·ч.

3. При маневровой работе электровозов с вагонами на станциях из расчета затраты на 1 ч маневровой работы:

- а) для электровозов постоянного тока - 100 кВт·ч;
- б) для электровозов переменного тока - 200 кВт·ч.

Расход электроэнергии в депо и на станционных путях при маневровой работе считать не зависящим от напряжения. Установление норм расхода электроэнергии производить с учетом местных условий.

Удельный расход электроэнергии определять по формуле

$$a = \frac{\sum A}{(P+Q)L}, \left(\frac{\hat{e} \cdot \hat{A} \cdot \hat{d}}{\hat{d} \cdot \hat{e}} \right), \quad (4.31)$$

где L – длина тягового участка.

4.4. Расчет массы состава и времени хода по перегонам при тепловозной тяге

4.4.1. Расчет массы состава и времени хода по перегонам

Массу состава и время хода по перегонам рассчитывать в следующем порядке:

- а) определить массу состава в соответствии с п.2.1;
- б) определить скорость движения, время хода поезда и токи генератора или тяговых электродвигателей по полученной или заданной массе состава;
- в) произвести расчет нагревания генераторов или тяговых электродвигателей;
- г) определить новые скорости, время хода и токи при изменении массы состава.

Если на расчетных и скоростных подъемах имеются кривые малого радиуса, в которых расчетная сила тяги тепловоза F_{kp} , имеет ограничение по сцеплению, т. е. $F_{kp} > F_{kcu}$, то при расчете массы состава за расчетную силу тяги принимать силу тяги по сцеплению (F_{kcu}), определенную при расчетной скорости v_p .

При определении скорости движения и времени хода поезда в этих случаях разрешается использовать частичные характеристики тепловоза, принимая значение равномерной или выходной скорости по точке пересечения ограничения силы тяги по сцеплению с ближайшей частичной характеристикой, обеспечивающей реализацию силы тяги по сцеплению, определенную при расчетной скорости v_p . Значение силы тяги по сцеплению при расчете веса состава определять по формуле (4.10)

Для пассажирских поездов, а также ускоренных грузовых и грузо-пассажирских поездов, обслуживаемых пассажирскими тепловозами, скорости на расчетных подъемах определять в соответствии с заданной массой составов этих поездов, установленной Укрзализныцей.

Масса состава для маневровых тепловозов ВМЭ1, ТГМЗА, ЧМЭ2, ТЭ1, ТЭМ1, ТЭМ2 и ЧМЭ3 при работе на магистральных линиях определяется из условия обеспечения скорости движения на труднейших участках профиля пути, гарантирующей соблюдение

графика движения поездов. Минимальные установившиеся скорости движения на этих участках при полном использовании мощности силовых установок тепловозов не должны быть ниже значений длительных скоростей, приведенных в приложении Б.

При проверке массы состава по троганию с места на участках, расположенных в кривых малого радиуса, снижение силы тяги тепловозов, ограниченной сцеплением колес с рельсами, учитывать коэффициентом K_{kp} .

4.4.2. Проверка тягового генератора и тяговых электродвигателей на нагревание

Проверку электрических машин тепловозов на нагревание делать в том случае, если вводится ограничение скорости движения на труднейших подъемах ниже расчетных или предусмотрено снижение скорости движения поезда менее скорости продолжительного режима. Расчет проводится для летнего и зимнего периодов.

Все расчеты на нагревание генератора и тяговых электродвигателей производить путем определения превышения температуры обмоток якоря над температурой охлаждающего воздуха.

У тепловозов ТЭ1, ТЭМ1, ТЭ2, ТЭЗ и ТЭ7 на нагревание проверять тяговый генератор, у остальных тепловозов - тяговые электродвигатели.

Для тяговых генераторов тепловозов температуру охлаждающего воздуха принимать равной температуре наружного воздуха

Наибольшее допускаемое превышение температуры обмоток над температурой окружающего воздуха при его максимальной температуре $t_{i d_{max}} < 40^{\circ}\text{C}$ определять по табл. 4.5.

Таблица 4.5. Допускаемые превышения температуры обмоток тяговых электрических машин над температурой охлаждающего воздуха $\tau_{\text{доп}}$ в $^{\circ}\text{C}$ по ГОСТ 2582—81

Обмотки	$\tau_{\text{доп}}$, $^{\circ}\text{C}$, для класса изоляции		
	B	F	H
Якоря	120 ^{*1}	140 ^{*2}	160 ^{*3}
Полюсов	130	155	180

^{*1} Тепловозы ВМЭ1, ЧМЭ2, ЧМЭ3, ТЭМ1, ТЭМ2, ТЭ2, ТЭЗ, М62, 2М62, ТЭ7, ТЭ10, ТЭП10, 2ТЭ10Л, ТЭП60, 2ТЭП60

^{*2} Тепловозы 2ТЭ10В, 3ТЭ10М, 2ТЭ116

^{*3} Тепловоз ТЭП70

При максимальной температуре наружного воздуха $t_{i\hat{a}_{\max}} > +40^{\circ}\text{C}$ допускаемое превышение температур обмоток тяговых электрических машин уменьшать на соответствующее число градусов. Максимальную температуру наружного воздуха принимать по данным метеорологических станций как среднюю многолетнюю (не менее 5 лет).

Расчетную температуру наружного воздуха принимать по данным метеорологических станций как среднюю многолетнюю (не менее 5 лет) по замерам в 7, 13 и в 19 ч по местному времени для летнего периода за июнь, июль и август и определять по формуле (4.27), но не ниже $+15^{\circ}\text{C}$, а для зимнего периода за декабрь, январь и февраль, но не ниже 0°C .

При отправлении тепловоза со станции после длительной стоянки (свыше 2 ч) начальную температуру перегрева обмоток якоря генератора и тяговых электродвигателей то принимать $+15^{\circ}\text{C}$. При меньших стоянках температуру перегрева определять по предыдущему рейсу как температуру в момент прибытия, снижая ее за время стоянки по кривой охлаждения.

Токи тепловоза определять на основании изменения скорости движения поезда по перегону $v = v(s)$, используя токовые характеристики генератора $I_{\hat{A}} = I_{\hat{A}}(v)$, приведенные в приложении Б.

Превышение температуры обмоток генератора и тяговых электродвигателей определять аналитическим способом, руководствуясь изменением тока $I = I(s)$ по формуле (4.28)

Остыивание тяговых электрических машин ($I_0=0$) рассчитывать по формуле (4.29). При этом интервалы времени Δt выбирать из условия, чтобы было выдержано соотношение $\Delta t / T \leq 0,1$. Значения тепловых параметров τ_∞ и T в зависимости от тока приведены в приложении Б.

Охлаждение генератора и тяговых электродвигателей при езде без тока можно определять по графикам $\tau=\tau(t)$ для $I=0$ (см. приложение Б).

На участках с сосредоточенными подъемами проверку нагревания генератора и тяговых электродвигателей выполнять от станции отправления до прохода последнего пикета подъема. При необходимости результаты расчета перегрева электрических машин проверять опытными поездками.

Наибольшее превышение температуры, полученное при расчете, следует привести к расчетной температуре наружного воздуха с учетом устройства снегозащиты по формуле (4.30).

Для случаев, когда тепловоз работает на промежуточных позициях контроллера, превышение температуры τ_∞ , приведенное в тепловых характеристиках тяговых электрических машин, умножается на коэффициент K_n , имеющий следующие значения:

Позиция контроллера n_k	13—12	11	10	9
K_n	1,05	1,08	1,15	1,2

4.4.3. Определение расхода топлива

Общий расход топлива тепловозом на перемещение состава, а также дизель-поездом определять как сумму расходов топлива за отрезки времени, соответствующие постоянному расходу топлива и средней постоянной скорости движения в режиме тяги, и расхода топлива за время движения на холостом ходу

$$E = \sum G\Delta t + g_x t_x, \text{ кг} \quad (4.32)$$

где G - расход топлива, соответствующий скорости движения поезда при используемой позиции контроллера машиниста, кг/мин;

Δt - время работы дизеля, в пределах которого скорость движения поезда принята постоянной, мин;

g_x - расход топлива тяговыми силовыми установками тепловоза или дизель-поезда на холостом ходу, кг/мин;

t_x — время движения поезда по участку на холостом ходу, мин.

Расход топлива G в режиме тяги определять по диаграммам, приведенным в приложении Б.

Частота вращения коленчатого вала тепловозных дизелей при работе на холостом ходу и соответствующие им расходы топлива приведены в табл. 4.6.

При движении одиночных тепловозов в режиме тяги по станционным и деповским путям удельный расход топлива на один дизель (движение на 1-й ездовой позиции контроллера машиниста, скорость движения 10—15 км/ч) принимать для тепловозов равным:

ТЭ10, 2ТЭ10Л, ТЭП10, 2ТЭ10В, 2ТЭ10М, ЗТЭ10М, ТЭП10Л - 0,5 кг/мин;

ТЭП60, 2ТЭП60 — 1,0 кг/мин;

2ТЭ116 — 1,0 кг/мин;

ТЭП70 — 1,0 кг/мин;

остальные серии — 0,3 кг/мин.

Таблица 4.6. Частота вращения коленчатых валов дизелей и соответствующие им расходы топлива на холостом ходу

Тепловозы	Частоте вращения коленчатого вала, об/мин	Удельный расход топлива g_x , кг/мин	
		одним дизелем	тепловозом
2ТЭ10, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, 2ТЭ10М	400	0,38	0,76
3ТЭ10М	400	0,38	1,14
М62	400	0,42	0,42
2М62	400	0,42	0,84
2ТЭ116	350	0,25	0,50
2ТЭП60	400	0,50	1,00
ТЭП70	350	0,27	0,27
2ТЭ116	350	0,25	0,50
ЧМЭ3	350	0,15	0,15
ТЭМ2	300	0,10	0,10

4.5. Практическое задание

Рассчитать движение поезда по перегону при разных видах тяги (тепловоз 2М62 и электровоз ВЛ10у) при следующих условиях:

- состав состоит из груженых 4-х осных крытых вагонов;
- тормозные колодки вагонов композиционные;
- путь звеньевой;
- длина приемо-отправочных путей станции 1050 м;
- уклон приемо-отправочных путей станции 0% ;
- ограничение скорости на перегоне 80 км/ч;
- начальный перегрев обмоток тягового электрооборудования 20°C .

Профиль перегона:

Участок	1	2	3
Длина, км	5,0	5,0	5,0
Уклон, $\%$	0	3	-4

Поезд начинает движение со станции, граничащей с 1-м участком перегона и проследует через 1-й, 2-й и 3-й участки, после чего осуществляет торможение до полной остановки при использовании II ступени служебного торможения.

В случае, если при движении на спуске текущая скорость движения достигнет максимально допустимого значения (т.е.

ограничения скорости), определить необходимую ступень служебного торможения для поддержания данной скорости до окончания спуска.

Расчет движения по перегону в режиме тяги осуществлять при реализации максимальной мощности локомотива.

На протяжении всего движения по перегону рассчитать перегрев тяговых электрических машин.

При расчетах движения по перегону интервал времени принять 20 с. При расчетах режима торможения после проследования перегона интервал времени принять 5 с.

Определить полное время движения поезда, абсолютный и удельный расход топлива (электроэнергии) локомотивом.

Построить график движения поезда.

Расчет произвести с помощью ЭВМ.

4.5.1. Расчет параметров движения поезда при тепловозной тяге

Для тепловозной тяги с локомотивом 2М62 определим массу состава в соответствии с п.2.

Основные параметры тепловоза 2М62:

- масса 276 т;
- нагрузка от оси на рельс 23 т;
- сила тяги при трогании 700, 43 кН;
- сила тяги расчетного режима 392,4 кН;
- скорость расчетного режима 20 км/ч;
- длина по осям автосцепок 36 м.

Основные параметры 4-х осного крытого вагона:

- масса тары 22 т;
- масса брутто 86 т;
- нагрузка от оси на рельс 21,5 т;
- длина по осям автосцепок 14,73 м.

Расчетный подъем – 2-й участок перегона с уклоном $i_p=3\%$.

Основное удельное сопротивление для тепловозов на звеньевом пути при скорости расчетного режима $v_p=20$ км/ч

$$w_0' = (1,9 + 0,01 \cdot 20 + 0,0003 \cdot 20^2) \cdot 9,81 = 21,78 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление для груженых четырехосных вагонов на роликовых подшипниках

$$w_0' = \left(0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot 20 + 0,0025 \cdot 20^2}{21,5} \right) \cdot 9,81 = 9,6 \text{ Н/т.}$$

Дополнительное удельное сопротивление движению от уклона

$$w_i = ig = 3 \cdot 9,81 = 29,43 \text{ Н/т.}$$

Таким образом, вес поезда

$$Q = \frac{392400 - 238(21,78 + 29,43)}{9,6 + 29,43} = 9741 \text{ т.}$$

Осуществим проверку массы состава по троганию с места, для чего предварительно рассчитаем удельные сопротивления для подвижного состава:

для тепловоза

$$w'_{\delta\delta} = \frac{28}{q_0 + 7} g = \frac{28}{19,8 + 7} 9,81 = 10,25 \text{ Н/т};$$

для вагонов

$$w''_{\delta\delta} = \frac{28}{21,5 + 7} 9,81 = 9,61 \text{ Н/т};$$

Средневзвешенные значения удельного сопротивления при трогании с места поезда

$$w_{\delta\delta} = w'_{\delta\delta} \frac{P}{P+Q} + w''_{\delta\delta} \frac{Q}{P+Q} = 10,25 \frac{238}{238+9741} + 9,61 \frac{9741}{238+9741} = 9,63 \text{ Н/т.}$$

Масса грузового состава при трогании с места:

$$Q = 9741 \text{ т} \leq Q_{\delta\delta} = \frac{F_{\delta\delta}}{w_{\delta\delta} + w_{i\delta\delta}} - P = \frac{700434}{9,63} - 238 = 72496,6 \text{ т.}$$

Условие выполняется, то есть тепловоз 2М62 сможет стронуть с места состав массой 9691 т с горизонтальной станционной площадки.

Осуществим проверку возможности расположения поезда с составом данной массы в пределах приемо-отправочных путей станции.

Расчетное количество вагонов состава определим следующим образом

$$n'_a = Q / m_a^{\delta\delta} = 9741 / 86 = 113,3 \text{ шт.}$$

После округления фактическое количество вагонов составит $n_a = 113$ шт.

Длина состава, включающего в себя однотипные вагоны определится как

$$l_c = n_a l_a = 113 \cdot 14,73 = 1664,49 \text{ м.}$$

Длина поезда определяется из выражения

$$l_r = l_n + m_e l_e + 10 = 1664,49 + 36 + 10 = 1710,49 \text{ м.}$$

При длине приемо-отправочных путей станции 1050 м поезд не может быть установлен при рассчитанной весовой норме.

Количество вагонов в составе поезда для данной длины приемо-отправочных путей

$$n_{\hat{a}} = \frac{l_{\text{ти}} - l_{\hat{e}} - 10}{l_{\hat{a}}} = \frac{1050 - 36 - 10}{14,73} = 68,16 \text{ шт.}$$

С учетом округления числа вагонов до 68 шт. фактическая масса состава составит

$$Q = n_{\hat{a}} m_{\hat{a}}^{\hat{a}\delta} = 68 \cdot 86 = 5848 \text{ т.}$$

В соответствии с поставленным заданием расчет на ЭВМ осуществляется методом численного интегрирования исходного уравнения движения

$$\frac{dv}{dt} = \zeta (f_{\hat{e}} - w_{\hat{e}} - b_o) .$$

Предварительно осуществим определение ускоряющих, замедляющих и тормозных удельных сил для поезда.

Сила тяги локомотива в режиме тяги в соответствии с (4.7)

$$F_{\hat{e}} = \begin{cases} F_{\hat{e} \text{ нн}}(v), & \text{если } 0 \leq v \leq v_{\text{нн}}; \\ F_{\hat{e}}(v), & \text{если } v_{\text{нн}} \leq v \leq v_e. \end{cases}$$

На основании (4.8)

$$F_{\hat{e} \text{ нн}} = 9810 \psi_{\hat{e}} P = 2,7 \cdot 10^6 \psi_{\hat{e}}$$

и учитывая (4.15) функция ограничения касательной силы тяги по сцеплению

$$F_{\hat{e} \text{ нн}} = 2,33 \cdot 10^6 \left(0,118 + \frac{5}{27,5 + v} \right)$$

В соответствии с тяговой характеристикой тепловоза 2М62 (см. приложение Б) скорость движения $v_{\text{нн}} = 11,5 \text{ км/ч}$ при которой $F_{\hat{e} \text{ нн}} = F_{\hat{e}}$. Таким образом:

$$F_{\hat{e} \text{ нн}}(v) = 2,33 \cdot 10^6 \left(0,118 + \frac{5}{27,5 + v} \right), \text{ если } 0 \leq v \leq 11,5 .$$

Аппроксимация графика ограничения касательной силы тяги по мощности тяговой характеристики тепловоза 2М62 позволяет получить следующую зависимость

$$F_{\hat{e}}(v) = 6368213,24 v^{-0,94} \text{ при } 11,5 \leq v \leq 100 .$$

На основании того, что удельная ускоряющая сила при работе локомотива в режиме тяги определяется как $f_{\hat{e}} = F_{\hat{e}} / (P + Q)$, имеем:

$$f_{\hat{e}} = \begin{cases} 382,85 \left(0,118 + \frac{5}{27,5 + v} \right), & \text{если } 0 \leq v \leq 11,5; \\ 1046,37 v^{-0,94}, & \text{если } 11,5 \leq v \leq 100. \end{cases} \quad (1a)$$

Определим удельные замедляющие силы.

Основное удельное сопротивление движению локомотива на звеньевом пути:

- в режиме тяги

$$w_0' = (1,9 + 0,01v + 0,0003v^2)g;$$

- в режиме выбега

$$w_x = (2,4 + 0,011v + 0,00035v^2)g;$$

Основное удельное сопротивление движению вагонов на звеньевом пути:

$$w_0'' = \left(0,7 + \frac{3+0,1v+0,0025v^2}{q_0} \right)g.$$

Основное удельное сопротивление поезда при движении с учетом массы локомотива 276 т и массы состава 5848 т.:

- в режиме тяги

$$w_0 = \frac{238}{238+5848} w_0' + \frac{5848}{238+5848} w_0'' = 0,039w_0' + 0,961w_0'';$$

- в режиме выбега

$$w_0 = 0,039w_0' + 0,961w_0''.$$

Дополнительное удельное сопротивление движению от уклона

$$w_i = ig.$$

Таким образом, функция удельной замедляющей силы, действующая на поезд:

- в режиме тяги

$$w_e = \left[0,039(1,9 + 0,01v + 0,0003v^2) + 0,961\left(0,7 + \frac{3+0,1v+0,0025v^2}{21,5}\right) + i \right] 9,81; \quad (2a)$$

- в режиме выбега

$$w_{e,x} = \left[0,039(1,9 + 0,01v + 0,0003v^2) + 0,961\left(0,7 + \frac{3+0,1v+0,0025v^2}{21,5}\right) + i \right] 9,81. \quad (3a)$$

В случае регулировочного торможения при движении на спуске при достижении максимально допустимой скорости поезда на перегоне движение происходит с равномерной скоростью, т.е.

$$\frac{dv}{dt} = 0.$$

и, соответственно, суммарные удельные силы, действующие на поезд должны равняться нулю, т.е.

$$f_e - w_e - b_o = 0.$$

Ввиду того, что движение на спуске осуществляется в режиме выбега, то удельная тормозная сила

$$b_{\dot{\delta}} = -w_{\dot{e}\dot{\delta}}. \quad (4a)$$

Поскольку удельная тормозная сила приведена к весу поезда, то

$$B_{\dot{\delta}} = -w_{\dot{e}x}(P+Q) = -6086w_{\dot{e}x}.$$

С учетом (3.1) и (3.3)

$$B_{\dot{\delta}} = \varphi_{\dot{e}\dot{\delta}} \sum K_{\delta\ddot{a}} = 0,36 \frac{v+150}{2v+150} \sum K_{\delta\ddot{a}},$$

где $\sum K_{\delta\ddot{a}}$ - действительный расчетный коэффициент нажатия тормозных колодок, Н.

Действительный расчетный коэффициент нажатия тормозных колодок определится на основании последней зависимости

$$\sum K_{\delta\ddot{a}} = 2,78 \frac{2v+150}{v+150} B_{\dot{\delta}} = -16905,56 \frac{2v+150}{v+150} w_{\dot{e}x}.$$

Количество тормозных осей состава из для 68 шт. 4-х осных вагонов

$$n_{\dot{\delta}i} = 68 \cdot 4 = 272 \text{ шт.}$$

Суммарный расчетный коэффициент нажатия тормозных колодок поезда при максимальной силе нажатия композиционных колодок на ось 83,39 кН

$$\sum K_{\dot{\delta}} = 272 \cdot 83,39 = 22,68 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

На основании этого, коэффициент использования тормозных ресурсов поезда составит

$$k = \frac{\sum K_{\delta\ddot{a}}}{\sum K_{\dot{\delta}}} = -7,45 \cdot 10^{-4} \frac{2v+150}{v+150} w_{\dot{e}x}. \quad (5a)$$

В соответствии с п.3.4 по рассчитанному коэффициенту использования тормозных ресурсов становится возможным определить необходимую ступень служебного торможения (при $k \leq 0,3$ – I ступень служебного торможения, при $0,3 < k \leq 0,5$ – II ступень служебного торможения, при $0,5 < k \leq 0,8$ – III ступень служебного торможения или полное служебное торможение).

При расчете на ЭВМ и на основании зависимостей (4.3) и (4.4) изменение скорости за интервал времени $\Delta t = 20$ с

$$\Delta v_i = 6,8 \cdot 10^{-2} (f_{\dot{e}i} - w_{\dot{e}i} - b_{\dot{\alpha}}).$$

Текущая скорость движения

$$v_i = v_{i-1} + \Delta v_i = v_{i-1} + 6,8 \cdot 10^{-2} (f_{\dot{e}i} - w_{\dot{e}i} - b_{\dot{\alpha}}), \quad (6a)$$

где v_{i-1} - скорость движения предыдущей ($i-1$) расчетной точки.

Путь, пройденный поездом за интервал времени $\Delta t = 20$ с

$$\Delta s_i = \frac{v_i + v_{i-1}}{2} \Delta t = \frac{v_i + v_{i-1}}{360}.$$

Общий пройденный путь

$$s_i = s_{i-1} + \frac{v_i + v_{i-1}}{360}. \quad (7a)$$

Время движения поезда по перегону

$$t_i = t_{i-1} + \Delta t. \quad (8a)$$

Для расчета перегрева тяговых электрических машин определим аналитические зависимости тока тягового генератора тепловоза с помощью аппроксимации графиков тока генератора тепловоза М62, представленного в приложении Б.

$$I_{\tilde{A}} = \begin{cases} 0,7143v^2 - 83,571v + 5900 & \text{если } 0 \leq v < 12 \\ 4,0278v^2 - 291,39v + 7916,7 & \text{если } 12 \leq v < 30 \\ 1,1333v^2 - 134,33v + 6560 & \text{если } 30 \leq v < 55 \\ 0,1852v^2 - 49,815v + 5279,6 & \text{если } 55 \leq v \leq 100 \end{cases} \quad (9a)$$

С учетом того, что одна секция тепловоза имеет 6 тяговых электродвигателей, соединенных по параллельной схеме, соответственно, ток на один ТЭД составит

$$I_A = I_{\tilde{A}} / 6.$$

При аппроксимации зависимости тепловых характеристик тяговых электродвигателей получим

- тепловая постоянная времени

$$T = 3,63 \cdot 10^{-6} I_{\tilde{A}}^2 - 1,11 \cdot 10^{-2} I_{\tilde{A}} + 129,84 = 6,06 \cdot 10^{-7} I_A^2 - 1,85 \cdot 10^{-3} I_A + 21,64 \text{ (мин);} \quad (10a)$$

- установившееся превышение температуры обмоток тяговых электрических машин над температурой охлаждающего воздуха

$$\tau_\infty = 14,8 \exp(2,8 \cdot 10^{-3} I_{\tilde{a}}) = 2,467 \exp(2,8 \cdot 10^{-3} I_{\tilde{a}}) (\text{°C}). \quad (11a)$$

Перегрев обмоток тяговых электродвигателей в тяговом режиме в соответствии с (4.26) и интервалом $\Delta t = 20$ с

$$\tau_i = \frac{\tau_\infty}{3T} + \tau_{i-1} \left(1 - \frac{1}{3T} \right). \quad (12a)$$

Остыивание обмоток тяговых электродвигателей при отсутствии тяги в соответствии с (4.27) и интервалом $\Delta t = 20$ с

$$\tau_i = \tau_{i-1} \left(1 - \frac{1}{3T} \right). \quad (13a)$$

После прохождения перегона при движении по горизонтальной площадке $i_c = 0\%$ в начале торможения определим время подготовки тормозов к действию (для грузовых составов длиной более 200 осей (до 300 осей) при автоматических тормозах):

$$t_{\bar{i}} = 10 - \frac{15gi_c}{g_{\delta}\varphi_{\delta\delta}} = 10 \text{ с.}$$

Удельная тормозная сила поезда

$$b_{\delta} = \frac{\varphi_{\delta\delta} \sum K_{\delta\delta}}{P+Q} = 0,36 \frac{v+150}{2v+150} \sum 0,5K_{\delta} = 670,78 \frac{v+150}{2v+150}, \quad (14a)$$

С целью повышения точности расчета примем расчетный интервал времени $\Delta t = 5$ с. Таким образом, изменение скорости за данный интервал времени

$$\Delta v_i = 1,7 \cdot 10^{-2} (f_{\dot{e}i} - w_{\dot{e}i} - b_{\ddot{\alpha}}).$$

и, соответственно, текущая скорость движения

$$v_i = v_{i-1} + \Delta v_i = v_{i-1} + 1,7 \cdot 10^{-2} (f_{\dot{e}i} - w_{\dot{e}i} - b_{\ddot{\alpha}}), \quad (15a)$$

Путь, пройденный поездом

$$\Delta s_i = \frac{v_i + v_{i-1}}{2} \Delta t = \frac{v_i + v_{i-1}}{1440}.$$

Общий пройденный путь

$$s_i = s_{i-1} + \Delta s_i = s_{i-1} + \frac{v_i + v_{i-1}}{1440}. \quad (16a)$$

Расчет провизведем на ЭВМ с помощью программного продукта Microsoft Excel. С этой целью составим таблицу следующего вида:

$i, \%$	$V_u, \text{км/ч}$	$V_k, \text{км/ч}$	$f_k, \text{Н/т}$	$w_k, \text{Н/т}$	$b_m, \text{Н/т}$	k_m	$\tau_u, \text{с}$	$\tau_k, \text{с}$	$s, \text{м}$	$t, \text{мин:сек}$
---------	--------------------	--------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------	--------------------	--------------------	---------------	---------------------

Для каждой расчетной точки вводим следующие значения (формулы):

- уклон i – принять равным $i = 0\%$ при условии, что $s \leq 5000$ м, $i = 3\%$ при условии, что $5000 < s \leq 10000$ м; $i = -4\%$ при условии, что $10000 < s \leq 20000$ м; $i = 0\%$ при условии, что $s > 20000$ м;

- начальная скорость расчетного участка V_u – для первой расчетной точки $V_u = 0$ км/ч, для последующих принять равной конечной скорости предыдущего расчетного участка V_k .

- конечная скорость расчетного участка V_k – при движении по перегону формула (6а), при торможении в конце перегона формула (15а);
- удельная касательная сила тяги локомотива f_k – формула (1а), при регулировочном торможении на спуске и при торможении в конце перегона $f_k=0$ км/ч;
- удельная сопротивление движению поезда w_k – в режиме тяги формула (2а), в режиме выбега формула (3а);
- удельная тормозная сила b_m – при движении в режиме тяги $b_m=0$ Н/т, при регулировочном торможении формула (4а), при торможении II ступени служебного торможения для остановки после прохождения перегона формула (14а);
- коэффициент использования ресурсов тормозной системы k_m – формула (5а);
- начальный перегрев обмоток тягового электрооборудования τ_n – для первой расчетной точки принять $\tau_n=20$ °С, для последующих принять равной конечному перегреву обмоток тягового электрооборудования предыдущего расчетного участка;
- конечный перегрев обмоток тягового электрооборудования для расчетного интервала τ_k – при движении в режиме тяги формула (12а), при движении в режиме выбега формула (13а); для данных зависимостей использовать формулы (9а – 11а);
- пройденный путь s – при движении по перегону по формуле (7а), при служебном торможении после преодоления перегона по формуле (16а);
- время движения t – по формуле (8а).

Полученные результаты расчета представим в таблицах 1а-4а.

Таблица 1а. Начало движения и разгон

i , %	V_n , км/ч	V_k , км/ч	f_k , Н/т	w_k , Н/т	b_m , Н/т	k_m	τ_n , °С	τ_k , °С	s , м	t , мин:сек
0	0,0	7,2	114,8	8,7	0,0	0,0	20,0	21,7	20	00:20
0	7,2	13,4	100,3	9,1	0,0	0,0	21,7	23,2	77	00:40
0	13,4	19,0	91,1	9,6	0,0	0,0	23,2	24,5	167	01:00
0	19,0	22,8	65,8	10,1	0,0	0,0	24,5	25,7	283	01:20
0	22,8	25,8	55,5	10,4	0,0	0,0	25,7	26,8	418	01:40
0	25,8	28,4	49,3	10,8	0,0	0,0	26,8	28,0	569	02:00
0	28,4	30,7	45,0	11,1	0,0	0,0	28,0	29,2	733	02:20
0	30,7	32,8	41,8	11,3	0,0	0,0	29,2	30,3	910	02:40
0	32,8	34,7	39,3	11,6	0,0	0,0	30,3	31,4	1097	03:00
0	34,7	36,4	37,3	11,8	0,0	0,0	31,4	32,6	1295	03:20
0	36,4	38,0	35,6	12,1	0,0	0,0	32,6	33,7	1502	03:40
0	38,0	39,5	34,2	12,3	0,0	0,0	33,7	34,9	1717	04:00
0	39,5	40,9	33,0	12,5	0,0	0,0	34,9	36,1	1941	04:20

$i, \%$	$V_h, \text{км/ч}$	$V_k, \text{км/ч}$	$f_k, \text{Н/т}$	$w_k, \text{Н/т}$	$b_m, \text{Н/т}$	k_m	$\tau_h, {}^\circ\text{C}$	$\tau_k, {}^\circ\text{C}$	$s, \text{м}$	$t, \text{мин:сек}$
0	40,9	42,2	32,0	12,7	0,0	0,0	36,1	37,2	2172	04:40
0	42,2	43,5	31,0	12,9	0,0	0,0	37,2	38,5	2410	05:00
0	43,5	44,6	30,2	13,1	0,0	0,0	38,5	39,7	2654	05:20
0	44,6	45,7	29,5	13,3	0,0	0,0	39,7	40,9	2905	05:40
0	45,7	46,8	28,8	13,5	0,0	0,0	40,9	42,1	3162	06:00
0	46,8	47,8	28,2	13,6	0,0	0,0	42,1	43,4	3425	06:20
0	47,8	48,7	27,6	13,8	0,0	0,0	43,4	44,6	3693	06:40
0	48,7	49,6	27,1	13,9	0,0	0,0	44,6	45,9	3966	07:00
0	49,6	50,4	26,7	14,1	0,0	0,0	45,9	47,1	4244	07:20
0	50,4	51,3	26,2	14,2	0,0	0,0	47,1	48,4	4526	07:40
0	51,3	52,0	25,8	14,4	0,0	0,0	48,4	49,7	4813	08:00

Таблица 2а. Движение на расчетном подъеме

$i, \%$	$V_h, \text{км/ч}$	$V_k, \text{км/ч}$	$f_k, \text{Н/т}$	$w_k, \text{Н/т}$	$b_m, \text{Н/т}$	k_m	$\tau_h, {}^\circ\text{C}$	$\tau_k, {}^\circ\text{C}$	$s, \text{м}$	$t, \text{мин:сек}$
3	52,0	50,8	25,5	43,9	0,0	0,0	49,7	50,9	5099	08:20
3	50,8	49,6	26,1	43,7	0,0	0,0	50,9	52,2	5377	08:40
3	49,6	48,4	26,7	43,5	0,0	0,0	52,2	53,4	5650	09:00
3	48,4	47,4	27,3	43,3	0,0	0,0	53,4	54,7	5916	09:20
3	47,4	46,3	27,9	43,1	0,0	0,0	54,7	55,9	6176	09:40
3	46,3	45,3	28,4	43,0	0,0	0,0	55,9	57,1	6431	10:00
3	45,3	44,4	29,0	42,8	0,0	0,0	57,1	58,3	6680	10:20
3	44,4	43,5	29,6	42,7	0,0	0,0	58,3	59,5	6924	10:40
3	43,5	42,7	30,2	42,5	0,0	0,0	59,5	60,7	7163	11:00
3	42,7	41,9	30,7	42,4	0,0	0,0	60,7	61,9	7398	11:20
3	41,9	41,1	31,3	42,3	0,0	0,0	61,9	63,0	7629	11:40
3	41,1	40,4	31,8	42,2	0,0	0,0	63,0	64,2	7855	12:00
3	40,4	39,7	32,3	42,1	0,0	0,0	64,2	65,3	8078	12:20
3	39,7	39,1	32,8	42,0	0,0	0,0	65,3	66,5	8297	12:40
3	39,1	38,5	33,3	41,9	0,0	0,0	66,5	67,6	8512	13:00
3	38,5	38,0	33,8	41,8	0,0	0,0	67,6	68,7	8725	13:20
3	38,0	37,5	34,3	41,7	0,0	0,0	68,7	69,8	8935	13:40
3	37,5	37,0	34,7	41,7	0,0	0,0	69,8	70,9	9142	14:00
3	37,0	36,6	35,1	41,6	0,0	0,0	70,9	72,0	9346	14:20
3	36,6	36,2	35,5	41,5	0,0	0,0	72,0	73,1	9548	14:40
3	36,2	35,8	35,9	41,5	0,0	0,0	73,1	74,2	9748	15:00
3	35,8	35,4	36,2	41,4	0,0	0,0	74,2	75,3	9946	15:20

Таблица 3а. Движение на спуске

$i, \%$	$V_h, \text{км/ч}$	$V_k, \text{км/ч}$	$f_k, \text{Н/т}$	$w_k, \text{Н/т}$	$b_m, \text{Н/т}$	k_m	$\tau_h, {}^\circ\text{C}$	$\tau_k, {}^\circ\text{C}$	$s, \text{м}$	$t, \text{мин:сек}$
-4	35,4	39,8	36,6	-27,0	0,0	0,0	75,3	76,3	10155	15:40
-4	39,8	43,8	32,8	-26,4	0,0	0,0	76,3	77,4	10387	16:00
-4	43,8	47,6	30,0	-25,8	0,0	0,0	77,4	78,6	10641	16:20

-4	47,6	51,2	27,7	-25,2	0,0	0,0	78,6	79,8	10915	16:40
-4	51,2	54,6	25,9	-24,6	0,0	0,0	79,8	81,0	11209	17:00
-4	54,6	57,9	24,4	-24,0	0,0	0,0	81,0	82,2	11521	17:20
-4	57,9	61,1	23,1	-23,3	0,0	0,0	82,2	83,4	11852	17:40
-4	61,1	64,1	21,9	-22,7	0,0	0,0	83,4	84,5	12200	18:00
-4	64,1	67,0	21,0	-22,1	0,0	0,0	84,5	85,6	12564	18:20
-4	67,0	69,8	20,1	-21,5	0,0	0,0	85,6	86,8	12944	18:40
-4	69,8	72,6	19,3	-20,9	0,0	0,0	86,8	88,0	13340	19:00
-4	72,6	75,2	18,6	-20,2	0,0	0,0	88,0	89,2	13750	19:20
-4	75,2	75,2	0,0	-19,6	19,6	0,02	89,2	88,5	14168	19:40
-4	75,2	75,2	0,0	-19,6	19,6	0,02	88,5	87,7	14586	20:00

Таблица 4а. Торможение и остановка

$i, \%$	$V_u, \text{км/ч}$	$V_k, \text{км/ч}$	$f_k, \text{Н/т}$	$w_k, \text{Н/т}$	$b_m, \text{Н/т}$	k_m	$\tau_u, {}^\circ\text{C}$	$\tau_k, {}^\circ\text{C}$	$s, \text{м}$	$t, \text{мин:сек}$
0	75,2	74,6	0,0	19,2	19,6	0,02	87,7	87,0	14794	20:05
0	74,6	73,9	0,0	19,1	19,6	0,02	87,0	86,3	15000	20:10
0	73,9	65,0	0,0	18,9	504,3	0,50	86,3	85,6	15193	20:15
0	65,0	56,0	0,0	17,0	511,9	0,50	85,6	84,9	15361	20:20
0	56,0	46,9	0,0	15,2	524,1	0,50	84,9	84,2	15504	20:25
0	46,9	37,5	0,0	13,6	538,5	0,50	84,2	83,5	15621	20:30
0	37,5	27,8	0,0	12,2	555,6	0,50	83,5	82,9	15712	20:35
0	27,8	17,8	0,0	11,0	576,5	0,50	82,9	82,2	15775	20:40
0	17,8	7,4	0,0	9,9	602,6	0,50	82,2	81,5	15810	20:45
0	7,4	0,0	0,0	9,1	636,6	0,50	81,5	80,8	15821	20:50

Ввиду того, что масса состава была рассчитана исходя из ограничения по длине приемо-отправочных путей, минимальная скорость на расчетном подъеме 35,4 км/ч не достигла скорости расчетного режима 20 км/ч для тепловоза 2М62.

Максимальный перегрев тягового электрооборудования составил 89,2 ${}^\circ\text{C}$, что не превышает нормативных значений в 120 ${}^\circ\text{C}$.

Полное время движения по перегону составило 20 мин. 50 с, из которого время движения в режиме тяги 19 мин. 30 с, а в режиме выбега 1 мин 20 с.

Расход топлива при движении по перегону в соответствии с (4.33) при расходе топлива в режиме тяги $G=11,6 \text{ кг/мин}$, в режиме выбега $g_x=0,84 \text{ кг/мин}$

$$E = 11,6 \cdot 19,5 + 0,84 \cdot 1,33 = 227,32 \text{ кг.}$$

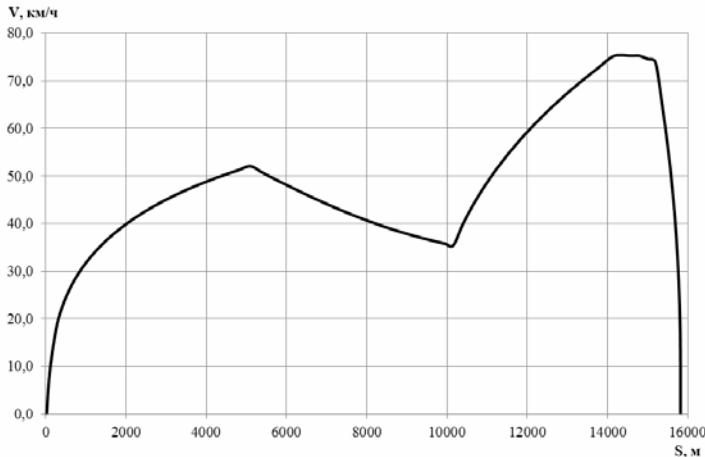


Рис.1а. График движения поезда по перегону

Удельный расход топлива (брутто)

$$e = \frac{E}{Q \cdot s} = \frac{227,32}{6086 \cdot 15,821} = 2,36 \text{ г/ткм.}$$

4.5.2. Расчет параметров движения поезда при электрической тяге

Для электрической тяги с локомотивом ВЛ10^У определим массу состава в соответствии с п.2.

Решение.

Определим массу состава в соответствии с п.2.

Основные параметры тепловоза ВЛ10^У:

- масса 200 т;
- нагрузка от оси на рельс 25 т;
- сила тяги при трогании 667,08 кН;
- сила тяги расчетного режима 492,5 кН;
- скорость расчетного режима 45,8 км/ч;
- длина по осям автосцепок 33 м.

Основные параметры 4-х осного крытого вагона:

- масса тары 22 т;
- масса брутто 86 т;
- нагрузка от оси на рельс 21,5 т;
- длина по осям автосцепок 14,73 м.

Расчетный подъем – 2-й участок перегона с уклоном $i_p=3^0/00$.

Основное удельное сопротивление для электровоза на звеньевом пути при скорости расчетного режима $v_p=45,8$ км/ч

$$w_0' = \left(1,9 + 0,01 \cdot 45,8 + 0,0003 \cdot 45,8^2 \right) \cdot 9,81 = 29,31 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление для груженых четырехосных вагонов на роликовых подшипниках

$$w_0'' = \left(0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot 45,8 + 0,0025 \cdot 45,8^2}{21,5} \right) \cdot 9,81 = 12,72 \text{ Н/т.}$$

Дополнительное удельное сопротивление движению от уклона

$$w_i = ig = 3 \cdot 9,81 = 29,43 \text{ Н/т.}$$

Таким образом, вес поезда

$$Q = \frac{492500 - 200(29,31 + 29,43)}{12,72 + 29,43} = 11405 \text{ т.}$$

Осуществим проверку массы состава по троганию с места, для чего предварительно рассчитаем удельные сопротивления для подвижного состава:

- для электровоза

$$w_{\dot{\delta}\delta}' = \frac{28}{25+7} 9,81 = 8,58 \text{ Н/т;}$$

- для вагонов

$$w_{\dot{\delta}\delta}'' = \frac{28}{21,5+7} 9,81 = 9,61 \text{ Н/т;}$$

Средневзвешенные значения удельного сопротивления при трогании с места поезда

$$w_{\dot{\delta}\delta} = w_{\dot{\delta}\delta}' \frac{P}{P+Q} + w_{\dot{\delta}\delta}'' \frac{Q}{P+Q} = 8,58 \frac{200}{200+11405} + 9,61 \frac{11405}{200+11405} = 9,59 \text{ Н/т.}$$

Масса грузового состава при трогании с места:

$$Q = 11405 \text{ т} \leq Q_{\dot{\delta}\delta} = \frac{F_{\dot{\delta}\dot{\delta}}}{w_{\dot{\delta}\delta} + w_{i\dot{\delta}\delta}} - P = \frac{667080}{9,59} - 200 = 69360 \text{ т.}$$

Условие выполняется, то есть электровоз ВЛ10^у сможет сорвать с места состав массой 11405 т с горизонтальной станционной площадки.

Осуществим проверку возможности расположения поезда с составом данной массы в пределах приемо-отправочных путей станции.

Расчетное количество вагонов состава определим следующим образом

$$n'_\delta = Q / m_\delta^{ad} = 11405 / 86 = 132,6 \text{ шт.}$$

После округления фактическое количество вагонов составит $n_{\hat{a}} = 132$ шт.

Длина состава, включающего в себя однотипные вагоны определится как

$$l_c = n_{\hat{a}} l_{\hat{a}} = 132 \cdot 14,73 = 1944,36 \text{ м.}$$

Длина поезда определяется из выражения

$$l_r = l_{\hat{n}} + m_{\hat{e}} l_{\hat{e}} + 10 = 1944,36 + 33 + 10 = 1987,36 \text{ м.}$$

При длине приемо-отправочных путей станции 1050 м поезд не может быть установлен при рассчитанной весовой норме.

Количество вагонов в составе поезда для данной длины приемо-отправочных путей

$$n_{\hat{a}} = \frac{l_{\hat{n}} - l_{\hat{e}} - 10}{l_{\hat{a}}} = \frac{1050 - 33 - 10}{14,73} = 68,36 \text{ шт.}$$

С учетом округления числа вагонов до 68 шт. фактическая масса состава составит

$$Q = n_{\hat{a}} m_{\hat{a}}^{\hat{a}\delta} = 68 \cdot 86 = 5848 \text{ т.}$$

В соответствии с поставленным заданием расчет на ЭВМ осуществляется методом численного интегрирования исходного уравнения движения

$$\frac{dv}{dt} = \varsigma (f_{\hat{e}} - w_{\hat{e}} - b_{\hat{o}}).$$

Предварительно осуществим определение ускоряющих, замедляющих и тормозных удельных сил для поезда.

Сила тяги локомотива в режиме тяги в соответствии с (4.9)

$$F_{\hat{e}} = \begin{cases} F_{\hat{e}}(v), & \text{если } 0 \leq v \leq v_{\hat{n}\hat{o}}; \\ F_{\hat{e}}(v), & \text{если } v_{\hat{n}\hat{o}} \leq v \leq v_{\hat{e}}. \end{cases}$$

На основании (4.10)

$$F_{\hat{e}} = 9810 \psi_{\hat{e}} P = 2,7 \cdot 10^6 \psi_{\hat{e}}$$

и учитывая (4.11) функция ограничения касательной силы тяги по сцеплению

$$F_{\hat{e}} = 1,96 \cdot 10^6 \left(0,28 + \frac{3}{50 + 20v} - 0,0007v \right)$$

В соответствии с тяговой характеристикой тепловоза ВЛ10^y (см. приложение Б) скорость движения $v_{\hat{n}\hat{o}} = 56$ км/ч при которой $F_{\hat{e}} = F_{\hat{e}}^*$. Таким образом:

$$F_e(v) = 1,96 \cdot 10^6 \left(0,28 + \frac{3}{50+20v} - 0,0007v \right), \text{ if } 0 \leq v \leq 56.$$

Аппроксимация графика ограничения касательной силы тяги по мощности тяговой характеристики электровоза ВЛ10^У (см. приложение Б) позволяет получить следующую зависимость

$$F_e(v) = 10,105 \cdot 10^9 v^{-2,48} \text{ if } 56 \leq v \leq 100.$$

На основании того, что удельная ускоряющая сила при работе локомотива в режиме тяги определяется как $f_e = F_e / (P + Q)$, имеем:

$$f_e = \begin{cases} 324,07 \left(0,28 + \frac{3}{50+20v} - 0,0007v \right), & \text{if } 0 \leq v \leq 56; \\ 1,67 \cdot 10^6 v^{-2,48} & \text{if } 56 \leq v \leq 100. \end{cases} \quad (16)$$

Определим удельные замедляющие силы.

Основное удельное сопротивление движению локомотива на звеньевом пути:

- в режиме тяги

$$w_0' = (1,9 + 0,01v + 0,0003v^2)g;$$

- в режиме выбега

$$w_x = (2,4 + 0,011v + 0,00035v^2)g;$$

Основное удельное сопротивление движению вагонов на звеньевом пути:

$$w_0'' = \left(0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_0} \right)g.$$

Основное удельное сопротивление поезда при движении с учетом массы локомотива 200 т и массы состава 5848 т.:

- в режиме тяги

$$w_0 = \frac{200}{200 + 5848} w_0' + \frac{5848}{200 + 5848} w_0'' = 0,033w_0' + 0,967w_0'';$$

- в режиме выбега

$$w_0 = 0,033w_0' + 0,967w_0''.$$

Дополнительное удельное сопротивление движению от уклона

$$w_i = ig.$$

Таким образом, функция удельной замедляющей силы, действующая на поезд:

- в режиме тяги

$$w_{\dot{e}} = \left[0,033(1,9 + 0,01v + 0,0003v^2) + 0,967 \left(0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{21,5} \right) + i \right] 9,81; \quad (26)$$

- в режиме выбега

$$w_{\dot{e}_x} = \left[0,033(1,9 + 0,01v + 0,0003v^2) + 0,967 \left(0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{21,5} \right) + i \right] 9,81. \quad (36)$$

В случае регулировочного торможения при движении на спуске при достижении максимально допустимой скорости поезда на перегоне движение происходит с равномерной скоростью, т.е.

$$\frac{dv}{dt} = 0.$$

и, соответственно, суммарные удельные силы, действующие на поезд должны равняться нулю, т.е.

$$f_{\dot{e}} - w_{\dot{e}} - b_{\dot{o}} = 0.$$

Ввиду того, что движение на спуске при регулировочном торможении осуществляется в режиме выбега, то удельная тормозная сила

$$b_{\dot{o}} = -w_{\dot{e}\dot{o}}. \quad (46)$$

Поскольку удельная тормозная сила приведена к весу поезда, то

$$B_{\dot{o}} = -w_{\dot{e}_x}(P + Q) = -6048w_{\dot{e}_x}.$$

С учетом (3.1) и (3.3)

$$B_{\dot{o}} = \varphi_{\dot{e}\dot{o}} \sum K_{\dot{o}\dot{a}} = 0,36 \frac{v+150}{2v+150} \sum K_{\dot{o}\dot{a}},$$

где $\sum K_{\dot{o}\dot{a}}$ - действительный расчетный коэффициент нажатия тормозных колодок, Н.

Действительный расчетный коэффициент нажатия тормозных колодок определился на основании последней зависимости

$$\sum K_{\dot{o}\dot{a}} = 2,78 \frac{2v+150}{v+150} B_{\dot{o}} = -16800 \frac{2v+150}{v+150} w_{\dot{e}_x}.$$

Количество тормозных осей состава из для 68 шт. 4-х осных вагонов

$$n_{\dot{o}\dot{i}} = 68 \cdot 4 = 272 \text{ шт.}$$

Суммарный расчетный коэффициент нажатия тормозных колодок поезда при максимальной силе нажатия композиционных колодок на ось 83,39 кН

$$\sum K_{\dot{o}} = 272 \cdot 83,39 = 22,68 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

На основании этого, коэффициент использования тормозных ресурсов поезда составит

$$k = \frac{\sum K_{\delta\dot{a}}}{\sum K_\delta} = -7,407 \cdot 10^{-4} \frac{2v+150}{v+150} w_{\dot{e}_x}. \quad (56)$$

В соответствии с п.3.4 по рассчитанному коэффициенту использования тормозных ресурсов становится возможным определить необходимую ступень служебного торможения (при $k \leq 0,3$ – I ступень служебного торможения, при $0,3 < k \leq 0,5$ – II ступень служебного торможения, при $0,5 < k \leq 0,8$ – III ступень служебного торможения или полное служебное торможение).

При расчете на ЭВМ и на основании зависимостей (4.3) и (4.4) изменение скорости за интервал времени $\Delta t = 20$ с

$$\Delta v_i = 6,8 \cdot 10^{-2} (f_{\dot{e}_i} - w_{\dot{e}_i} - b_{\ddot{\alpha}}).$$

Текущая скорость движения

$$v_i = v_{i-1} + \Delta v_i = v_{i-1} + 6,8 \cdot 10^{-2} (f_{\dot{e}_i} - w_{\dot{e}_i} - b_{\ddot{\alpha}}), \quad (66)$$

где v_{i-1} – скорость движения предыдущей ($i-1$) расчетной точки.

Путь, пройденный поездом за интервал времени $\Delta t = 20$ с

$$\Delta s_i = \frac{v_i + v_{i-1}}{2} \Delta t = \frac{v_i + v_{i-1}}{360}.$$

Общий пройденный путь

$$s_i = s_{i-1} + \frac{v_i + v_{i-1}}{360}. \quad (76)$$

Время движения поезда по перегону

$$t_i = t_{i-1} + \Delta t. \quad (86)$$

Для определения затрат электроэнергии и расчета перегрева тяговых электрических машин определим аналитические зависимости токовых характеристик электровоза с помощью аппроксимации графиков, представленных в приложении Б.

$$I_y = \begin{cases} 0,6v^2 - 16v + 735 & \text{если } 0 \leq v < 10 \\ 7,76 \cdot 10^{-2} v^2 - 7,14v + 1333,6 & \text{если } 10 \leq v < 21,5 \\ 6,47 \cdot 10^{-2} v^2 - 9,89v + 2615 & \text{если } 21,5 \leq v < 45,8 \\ 2,42v^2 - 203,31v + 6531,2 & \text{если } 45,8 \leq v \leq 56 \\ 727718v^{-1,396} & \text{если } 56 \leq v \leq 100 \end{cases} \quad (96)$$

При аппроксимации зависимости тепловых характеристик тяговых электродвигателей получим

- тепловая постоянная времени

$$T = 20 \text{ мин}; \quad (106)$$

- установившееся превышение температуры обмоток тяговых электрических машин над температурой охлаждающего воздуха

$$\tau_{\infty} = 10,526 \exp(5,1 \cdot 10^{-3} I_{\dot{a}}) (\text{°C}). \quad (116)$$

В соответствии с тяговыми и токовыми характеристиками электровоза ВЛ10^У при изменении схемы подключения тяговых электродвигателей ток на тяговых электродвигателях при:

- последовательном (серийном) подключении

$$I_{\dot{a}} = I_y \text{ и } \dot{d}e 0 \leq v < 10 \text{ èì } / \div ; \quad (126)$$

- последовательно-параллельном подключении

$$I_{\dot{a}} = I_y / 4 \text{ и } \dot{d}e 10 \leq v < 45,8 \text{ èì } / \div ; \quad (136)$$

- параллельном подключении

$$I_{\dot{a}} = I_y / 8 \text{ и } \dot{d}e 45,8 \leq v < 100 \text{ èì } / \div ; \quad (146)$$

Перегрев обмоток тяговых электродвигателей в тяговом режиме в соответствии с (4.26) и интервалом $\Delta t = 20$ с

$$\tau_i = \frac{\tau_{\infty}}{3T} + \tau_{i-1} \left(1 - \frac{1}{3T} \right). \quad (156)$$

Остыивание обмоток тяговых электродвигателей при отсутствии тяги в соответствии с (4.27) и интервалом $\Delta t = 20$ с

$$\tau_i = \tau_{i-1} \left(1 - \frac{1}{3T} \right). \quad (166)$$

После прохождения перегона при движении по горизонтальной площадке $i_c = 0 \text{ \%}$ в начале торможения определим время подготовки тормозов к действию (для грузовых составов длиной более 200 осей (до 300 осей) при автоматических тормозах):

$$t_f = 10 - \frac{15gi_c}{g_d \varphi_{ed}} = 10 \text{ с.}$$

Удельная тормозная сила поезда

$$b_d = \frac{\varphi_{ed} \sum K_{da}}{P+Q} = 0,36 \frac{v+150}{2v+150} \sum 0,5K_d = 675 \frac{v+150}{2v+150}, \quad (176)$$

С целью повышения точности расчета примем расчетный интервал времени $\Delta t = 5$ с. Таким образом, изменение скорости за данный интервал времени

$$\Delta v_i = 1,7 \cdot 10^{-2} (f_{ei} - w_{ei} - b_{\dot{\alpha}}).$$

и, соответственно, текущая скорость движения

$$v_i = v_{i-1} + \Delta v_i = v_{i-1} + 1,7 \cdot 10^{-2} (f_{ei} - w_{ei} - b_{\dot{\alpha}}), \quad (186)$$

Путь, пройденный поездом

$$\Delta s_i = \frac{v_i + v_{i-1}}{2} \Delta t = \frac{v_i + v_{i-1}}{1440} .$$

Общий пройденный путь

$$s_i = s_{i-1} + \Delta s_i = s_{i-1} + \frac{v_i + v_{i-1}}{1440} . \quad (19б)$$

Расчет провизведем на ЭВМ с помощью программного продукта Microsoft Excel. С этой целью составим таблицу следующего вида:

$i, \frac{\%}{\text{до}}$	$V_u, \text{км/ч}$	$V_k, \text{км/ч}$	$f_k, \text{Н/т}$	$w_k, \text{Н/т}$	$b_m, \text{Н/т}$	k_m	$\tau_u, {}^\circ\text{C}$	$\tau_k, {}^\circ\text{C}$	$s, \text{м}$	$t, \text{мин:сек}$
---------------------------	--------------------	--------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------	----------------------------	----------------------------	---------------	---------------------

Для каждой расчетной точки вводим следующие значения (формулы):

- уклон i – принять равным $i = 0\%$ при условии, что $s \leq 5000 \text{ м}$, $i = 3\%$ при условии, что $5000 < s \leq 10000 \text{ м}$; $i = -4\%$ при условии, что $10000 < s \leq 20000 \text{ м}$; $i = 0\%$ при условии, что $s > 20000 \text{ м}$;

- начальная скорость расчетного участка V_u – для первой расчетной точки $V_u = 0 \text{ км/ч}$, для последующих принять равной конечной скорости предыдущего расчетного участка V_k .

- конечная скорость расчетного участка V_k – при движении по перегону формула (6б), при торможении в конце перегона формула (18б);

- удельная касательная сила тяги локомотива f_k – формула (1б), при регулировочном торможении на спуске и при торможении в конце перегона $f_k = 0 \text{ км/ч}$;

- удельная сопротивление движению поезда w_k – в режиме тяги формула (2б), в режиме выбега формула (3б);

- удельная тормозная сила b_m – при движении в режиме тяги $b_m = 0 \text{ Н/т}$, при регулировочном торможении формула (4б), при торможении II ступени служебного торможения для остановки после прохождения перегона формула (17б);

- коэффициент использования ресурсов тормозной системы k_m – формула (5б);

- начальный перегрев обмоток тягового электрооборудования τ_u – для первой расчетной точки принять $\tau_u = 20 {}^\circ\text{C}$, для последующих принять равной конечному перегреву обмоток тягового электрооборудования предыдущего расчетного участка;

- конечный перегрев обмоток тягового электрооборудования для расчетного интервала τ_k – при движении в режиме тяги формула (15б), при движении в режиме выбега формула (16б); для данных зависимостей использовать формулы (9б – 14б);

- пройденный путь s – при движении по перегону по формуле (76), при служебном торможении после преодоления перегона по формуле (19б);

- время движения t – по формуле (8б).

Полученные результаты расчета представим в таблицах 16-46.

Таблица 16. Начало движения и разгон

$i, \frac{\%}{00}$	$V_u, \text{км/ч}$	$V_k, \text{км/ч}$	$f_k, \text{Н/т}$	$w_k, \text{Н/т}$	$b_m, \text{Н/т}$	k_m	$\tau_u, {}^\circ\text{C}$	$\tau_k, {}^\circ\text{C}$	$s, \text{м}$	$t, \text{мин:сек}$
0	0,0	6,9	110,2	8,6	0,0	0,0	20,0	25,5	19	00:20
0	6,9	12,7	94,3	9,0	0,0	0,0	25,5	29,4	74	00:40
0	12,7	18,3	91,1	9,4	0,0	0,0	29,4	29,7	160	01:00
0	18,3	23,6	88,9	9,8	0,0	0,0	29,7	30,0	276	01:20
0	23,6	28,9	87,2	10,4	0,0	0,0	30,0	32,7	422	01:40
0	28,9	34,0	85,7	10,9	0,0	0,0	32,7	35,1	597	02:00
0	34,0	38,9	84,4	11,6	0,0	0,0	35,1	37,3	799	02:20
0	38,9	43,7	83,1	12,2	0,0	0,0	37,3	39,4	1029	02:40
0	43,7	48,4	81,9	12,9	0,0	0,0	39,4	39,5	1285	03:00
0	48,4	53,0	80,7	13,7	0,0	0,0	39,5	39,6	1566	03:20
0	53,0	57,4	79,6	14,5	0,0	0,0	39,6	39,8	1873	03:40
0	57,4	61,3	72,5	15,3	0,0	0,0	39,8	39,9	2202	04:00
0	61,3	64,4	61,6	16,0	0,0	0,0	39,9	39,9	2552	04:20
0	64,4	67,0	54,5	16,6	0,0	0,0	39,9	39,9	2917	04:40
0	67,0	69,2	49,5	17,1	0,0	0,0	39,9	39,9	3295	05:00
0	69,2	71,1	45,7	17,6	0,0	0,0	39,9	39,9	3684	05:20
0	71,1	72,8	42,7	18,0	0,0	0,0	39,9	39,8	4084	05:40
0	72,8	74,3	40,3	18,4	0,0	0,0	39,8	39,8	4492	06:00
0	74,3	75,6	38,3	19,0	0,0	0,0	39,8	40,2	4909	06:20

Таблица 26. Движение на расчетном подъеме

$i, \frac{\%}{00}$	$V_u, \text{км/ч}$	$V_k, \text{км/ч}$	$f_k, \text{Н/т}$	$w_k, \text{Н/т}$	$b_m, \text{Н/т}$	k_m	$\tau_u, {}^\circ\text{C}$	$\tau_k, {}^\circ\text{C}$	$s, \text{м}$	$t, \text{мин:сек}$
3	75,6	74,7	36,7	48,7	0,0	0,0	40,2	40,7	5326	06:40
3	74,7	74,0	37,7	48,5	0,0	0,0	40,7	41,2	5739	07:00
3	74,0	73,3	38,6	48,4	0,0	0,0	41,2	41,7	6149	07:20
3	73,3	72,8	39,5	48,2	0,0	0,0	41,7	42,2	6555	07:40
3	72,8	72,2	40,3	48,1	0,0	0,0	42,2	42,7	6957	08:00
3	72,2	71,8	41,0	48,0	0,0	0,0	42,7	43,2	7357	08:20
3	71,8	71,3	41,7	47,9	0,0	0,0	43,2	43,7	7755	08:40
3	71,3	71,0	42,3	47,8	0,0	0,0	43,7	44,5	8150	09:00
3	71,0	70,6	42,9	47,7	0,0	0,0	44,5	45,4	8543	09:20
3	70,6	70,3	43,4	47,6	0,0	0,0	45,4	46,8	8935	09:40
3	70,3	70,1	43,8	47,6	0,0	0,0	46,8	48,1	9325	10:00
3	70,1	69,9	44,2	47,5	0,0	0,0	48,1	49,4	9714	10:20

Таблица 3б. Движение на спуске

$i, \frac{\%}{\text{до}}$	$V_n, \text{км/ч}$	$V_k, \text{км/ч}$	$f_k, \text{Н/т}$	$w_k, \text{Н/т}$	$b_m, \text{Н/т}$	k_m	$\tau_n, {}^\circ\text{C}$	$\tau_k, {}^\circ\text{C}$	$s, \text{м}$	$t, \text{мин:сек}$
-4	69,9	74,3	44,6	-20,9	0,0	0,0	49,4	50,7	10114	10:40,0
-4	74,3	78,3	38,2	-19,8	0,0	0,0	50,7	52,1	10538	11:00,0
-4	78,3	78,3	0,0	-18,9	18,9	0,02	52,1	51,6	10973	11:20,0
-4	78,3	78,3	0,0	-18,9	18,9	0,02	51,6	51,2	11408	11:40,0
-4	78,3	78,3	0,0	-18,9	18,9	0,02	51,2	50,8	11842	12:00,0
-4	78,3	78,3	0,0	-18,9	18,9	0,02	50,8	50,4	12277	12:20,0
-4	78,3	78,3	0,0	-18,9	18,9	0,02	50,4	50,0	12712	12:40,0
-4	78,3	78,3	0,0	-18,9	18,9	0,02	50,0	49,6	13147	13:00,0
-4	78,3	78,3	0,0	-18,9	18,9	0,02	49,6	49,2	13582	13:20,0
-4	78,3	78,3	0,0	-18,9	18,9	0,02	49,2	48,8	14016	13:40,0
-4	78,3	78,3	0,0	-18,9	18,9	0,02	48,8	48,4	14451	14:00,0
-4	78,3	78,3	0,0	-18,9	18,9	0,02	48,4	48,0	14886	14:20,0

Таблица 4б. Торможение и остановка

$i, \frac{\%}{\text{до}}$	$V_n, \text{км/ч}$	$V_k, \text{км/ч}$	$f_k, \text{Н/т}$	$w_k, \text{Н/т}$	$b_m, \text{Н/т}$	k_m	$\tau_n, {}^\circ\text{C}$	$\tau_k, {}^\circ\text{C}$	$s, \text{м}$	$t, \text{мин:сек}$
0	78,3	77,6	0,0	19,9	18,9	0,02	48,0	47,6	14994	14:25,0
0	77,6	76,9	0,0	19,8	18,9	0,02	47,6	47,2	15102	14:30,0
0	76,9	68,1	0,0	19,6	500,9	0,5	47,2	46,8	15202	14:35,0
0	68,1	59,1	0,0	17,6	511,2	0,5	46,8	46,4	15291	14:40,0
0	59,1	49,9	0,0	15,8	523,0	0,5	46,4	46,0	15366	14:45,0
0	49,9	40,6	0,0	14,1	536,7	0,5	46,0	45,7	15429	14:50,0
0	40,6	31,0	0,0	12,7	553,0	0,5	45,7	45,3	15479	14:55,0
0	31,0	21,0	0,0	11,4	572,8	0,5	45,3	44,9	15515	15:00,0
0	21,0	10,7	0,0	10,3	597,3	0,5	44,9	44,6	15537	15:05,0
0	10,7	0,0	0,0	9,4	628,9	0,5	44,6	44,2	15545	15:10,0

Ввиду того, что масса состава была рассчитана исходя из ограничения по длине приемо-отправочных путей, минимальная скорость на расчетном подъеме 69,9 км/ч не достигла скорости расчетного режима 48,2 км/ч для электровоза.

Максимальный перегрев тягового электрооборудования составил 32,1 ${}^\circ\text{C}$, что не превышает нормативных значений в 120 ${}^\circ\text{C}$.

Полное время движения по перегону составило 15 мин. 10 с, из которого время движения в режиме тяги 11 мин. 00 с, а в режиме выбега 4 мин 10 с.

Расход электроэнергии при движении по перегону в соответствии с (9б) в режиме тяги составил 1136,8 кВт·ч, в режиме выбега 8,67 кВт·ч, что в общем составит 1145,47 кВт·ч.

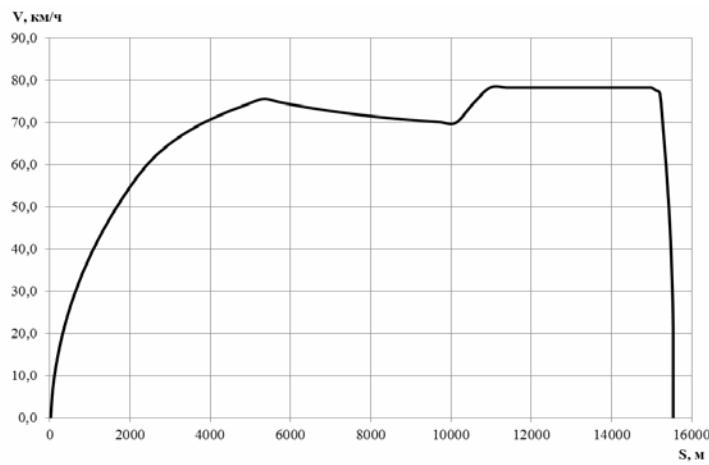


Рис.1б. График движения поезда по перегону

Удельный расход электроэнергии (брутто)

$$a = \frac{A}{Q \cdot s} = \frac{1145,47}{6086 \cdot 15,545} = 12,1 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}\cdot\text{ч/ткм.}$$

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ЦРБ-0004 «Правила технічної експлуатації залізниць України». Затверджена наказом Міністерства транспорту України № 27 від 16.01.1995 р.
2. Слащов В.А. Тягові та гальмівні розрахунки на рейковому транспорти: Навчальний посібник. – Луганськ: Вид-во СНУ ім.В.Даля, 2005. – 232 с.
3. Кузьмин В.Д., Руднев В.С., Френкель С.Я. Теория локомотивной тяги: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. В.Д. Кузьмича. — М.: Издательство «Маршрут», 2005.— 448 с.
4. Правила тяговых расчетов для поездной работы. - М.: Транспорт. 1985. 287 с.
5. Гребенюк П. Т., Долганов А. Н., Скворцова А. И. Тяговые расчеты: Справочник. / Под ред. П. Т. Гребенюка. — М.: Транспорт, 1987. — 272 с.
6. Раков В. А. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза (1976—1985). - М.: Транспорт, 1990.—238 с.
7. Вагоны: Учебник для вузов ж.-д. трансп. /Л. А. Шадур, И. И. Челноков, Л. Н. Никольский, В. Н. Котуранов, П. Г. Прокуринев, Г. А. Казанский, А. Л. Спиваковский, В. Ф. Девятков; Под ред. Л. А. Шадура. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 439 с.
8. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР (альбом-справочник). М: Транспорт. – 1989. – 173 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАГОНОВ

Приложение А1. Полувагоны



Четырехосный цельнометаллический полувагон, модель 12-100

Габарит	1-Т
Грузоподъемность, т	69
Масса вагона (тара), т	22
Нагрузка от оси колесной пары на рельсы, кН (тс)	215,6 (22)
Скорость конструкционная, км/ч	120
Длина по осям автосцепок мм	13920

Шестиосный цельнометаллический полувагон, модель 12-П152

Габарит	1-Т
Грузоподъемность, т	94
Масса вагона (тара), т	32,4
Нагрузка от оси колесной пары на рельсы, кН (тс)	206,5 (21,07)
Скорость конструкционная, км/ч	120
Длина по осям автосцепок мм	16400

Восьмиосный цельнометаллический полувагон, модель 12-508

Габарит	1-Т
Грузоподъемность, т	125
Масса вагона (тара), т	45,17
Нагрузка от оси колесной пары на рельсы, кН (тс)	209,4 (21,35)
Скорость конструкционная, км/ч	120
Длина по осям автосцепок мм	20240

Приложение А2. Крытые вагоны



Четырехосный крытый вагон, модель 11-066

Габарит	0-Т
Грузоподъемность, т	68
Масса вагона (тара), т	22
Нагрузка от оси колесной нары на рельсы, кН (тс)	220,73 (22,5)
Скорость конструкционная, км/ч	120
Длина по осям автосцепок мм	13920

Четырехосный крытый цельнометаллический вагон, модель 11-К001

Габарит	0-Т
Грузоподъемность, т	68
Масса вагона (тара), т	22,88
Нагрузка от оси колесной нары на рельсы, кН (тс)	222,7 (22,72)
Скорость конструкционная, км/ч	120
Длина по осям автосцепок мм	14730

Четырехосный крытый вагон для перевозки скота, модель 11-К251

Габарит	0-Т
Грузоподъемность, т	64
Масса вагона (тара), т	24,2
Нагрузка от оси колесной нары на рельсы, кН (тс)	212,6 (21,7)
Скорость конструкционная, км/ч	120
Длина по осям автосцепок мм	14730

Приложение А3. Вагоны-цистерны



Четырехосная цистерна для светлых нефтепродуктов, модель 15-869

Габарит	02-Т
Грузоподъемность, т	62
Масса вагона (тара), т	25,3
Нагрузка от оси колесной нары на рельсы, кН (тс)	215,8 (22,0)
Скорость конструкционная, км/ч	120
Длина по осям автосцепок мм	13570

Четырехосная цистерна для вязких нефтепродуктов, модель 15-897

Габарит	02-Т
Грузоподъемность, т	60
Масса вагона (тара), т	23,2
Нагрузка от оси колесной нары на рельсы, кН (тс)	204,0 (20,8)
Скорость конструкционная, км/ч	120
Длина по осям автосцепок мм	12020

Восьмиосная цистерна для светлых нефтепродуктов, модель 15-871

Габарит	1-Т
Грузоподъемность, т	120
Масса вагона (тара), т	48,8
Нагрузка от оси колесной нары на рельсы, кН (тс)	206,99 (21,1)
Скорость конструкционная, км/ч	120
Длина по осям автосцепок мм	21120

Приложение А4. Вагоны бункерного типа



Четырехосный вагон-хоппер для цемента, модель 11-715

Габарит	1-Т
Грузоподъемность, т	67
Масса вагона (тара), т	18,5
Нагрузка от оси колесной нары на рельсы, кН (тс)	209,0 (21,37)
Скорость конструкционная, км/ч	120
Длина по осям автосцепок мм	11920

Четырехосный вагон-хоппер для зерна, модель 11-739

Габарит	0-Т
Грузоподъемность, т	65
Масса вагона (тара), т	22
Нагрузка от оси колесной нары на рельсы, кН (тс)	213,37 (21,8)
Скорость конструкционная, км/ч	120
Длина по осям автосцепок мм	14720

Четырехосный вагон-хоппер для минер. удобрений, модель 11-740

Габарит	0-Т
Грузоподъемность, т	64
Масса вагона (тара), т	22
Нагрузка от оси колесной нары на рельсы, кН (тс)	210,7 (21,5)
Скорость конструкционная, км/ч	120
Длина по осям автосцепок мм	13200

Приложение А5. Вагоны-платформы



Четырехосная платформа с металлическими бортами, модель 13-401

Габарит	01-Т
Грузоподъемность, т	70
Масса вагона (тара), т	20,92
Нагрузка от оси колесной нары на рельсы, кН (тс)	223,01 (22,7)
Скорость конструкционная, км/ч	120
Длина по осям автосцепок мм	14620

Четырехосная платформа для контейнеров, модель 13-470

Габарит	01-Т
Грузоподъемность, т	60
Масса вагона (тара), т	22
Нагрузка от оси колесной нары на рельсы, кН (тс)	201,1 (20,5)
Скорость конструкционная, км/ч	120
Длина по осям автосцепок мм	19620

Четырехосная платформа для колесной техники, модель 13-9004

Габарит	01-Т
Грузоподъемность, т	65
Масса вагона (тара), т	26
Нагрузка от оси колесной нары на рельсы, кН (тс)	223,2 (20,75)
Скорость конструкционная, км/ч	120
Длина по осям автосцепок мм	19620

Приложение А6. Пассажирские вагоны



Вагон пассажирский плацкартный, модель 61-779П

Габарит	01-Т
Количество мест для пассажиров, шт	58
Масса вагона (тара), т	60
Нагрузка от оси колесной нары на рельсы, кН (тс)	176,58 (18)
Скорость конструкционная, км/ч	160
Длина по осям автосцепок мм	26696

Вагон пассажирский купейный , модель 61-779

Габарит	01-Т
Количество мест для пассажиров, шт	40
Масса вагона (тара), т	60
Нагрузка от оси колесной нары на рельсы, кН (тс)	176,58 (18)
Скорость конструкционная, км/ч	160
Длина по осям автосцепок мм	26696

Вагон пассажирский купейный спальный, модель 61-779ЭА

Габарит	01-Т
Количество мест для пассажиров, шт	20
Масса вагона (тара), т	59,5
Нагрузка от оси колесной нары на рельсы, кН (тс)	176,58 (18)
Скорость конструкционная, км/ч	160
Длина по осям автосцепок мм	26696

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛОКОМОТИВОВ

Приложение Б.1. Электровоз ВЛ8, ВЛ8^м



Основные технические характеристики:

Род службы	грузовой
Ширина колеи	1520 мм
Габарит по ГОСТ 9238-83	1-Т
Напряжение, U	3000 В
Род тока	постоянный
Осевая формула	(2 ₀ +2 ₀)+(2 ₀ +2 ₀)
Служебная масса, P	184 т
Нагрузка от колесной пары на рельсы, q_0	225,63 кН (23 тс)
Конструкционная скорость, v_k	
VL8	80 км/ч
VL8 ^м	100 км/ч
Мощность часового режима, N_u	4200 кВт
Сила тяги часового режима, $F_{ку}$	345,9 кН
Скорость часового режима, v_u	42,6 км/ч
Мощность длительного (расчетного) режима, N_p	3760 кВт
Сила тяги расчетного режима, F_{kp}	297,54 кН
Скорость расчетного режима, v_p	44,3 км/ч
Сила тяги при трогании, $F_{к mp}$	595,47 кН
Длина по осям автосцепок, L_l	27520 мм

Таблица Б.1.1. Ограничение по сцеплению и току

v , км/ч	0	8	9,3	10	20	30	39,7	43,3	48,3	53,2	59,6
F_k , кН	497,37	506,20	502,27	500,31	480,69	471,86	466,96	456,17	413,98	376,70	337,46

Таблица Б.1.2. Ограничение по мощности

v , км/ч	52	60	65	70	75	80	85	90	95	100
F_k , кН	416,93	248,19	198,16	156,96	131,45	113,80	100,06	86,33	76,52	66,71

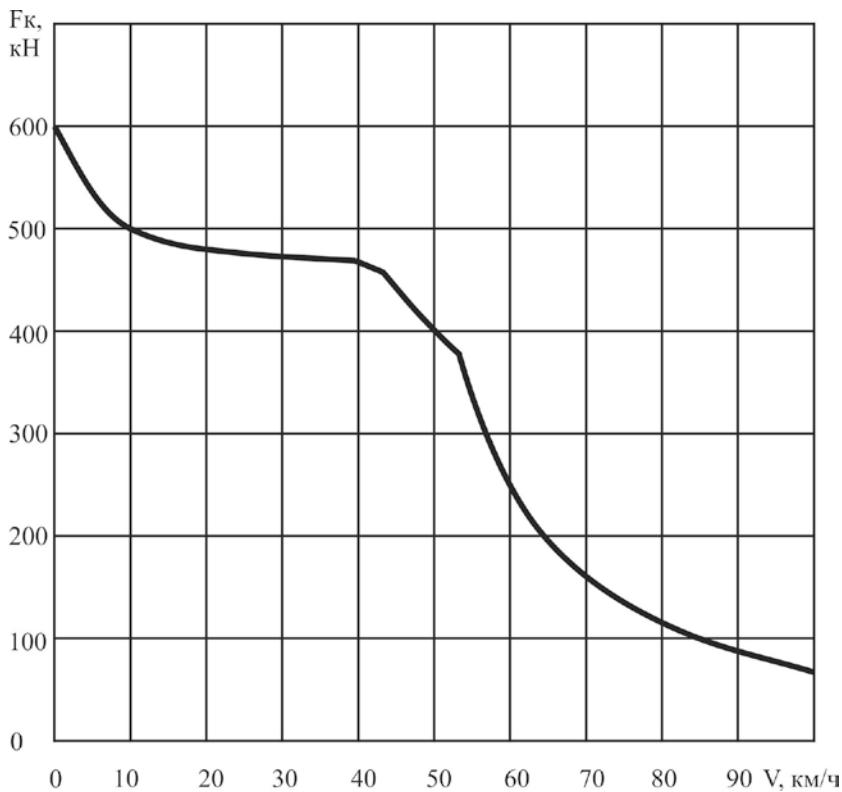


Рис. Б.1.1. Тяговая характеристика электровоза ВЛ8, ВЛ8^М

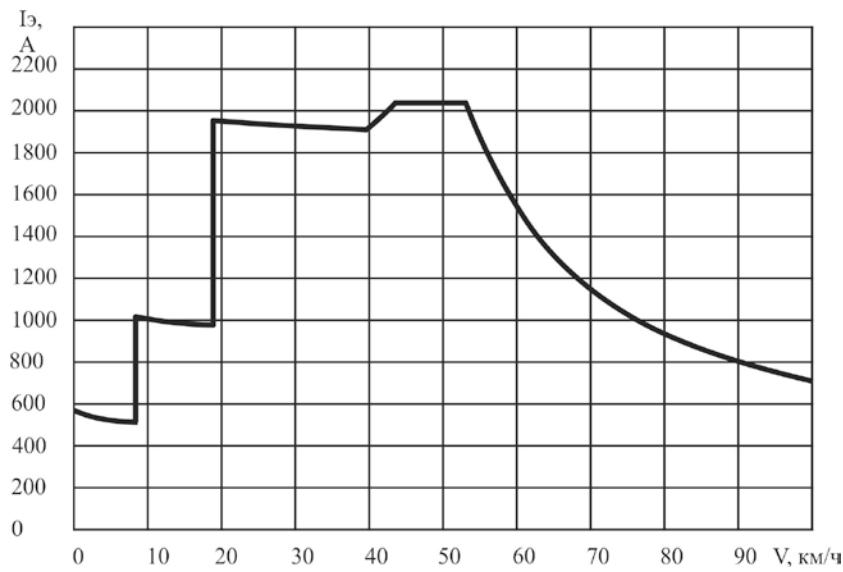


Рис.Б.1.2. Токовая характеристика электровоза ВЛ8, ВЛ8^М

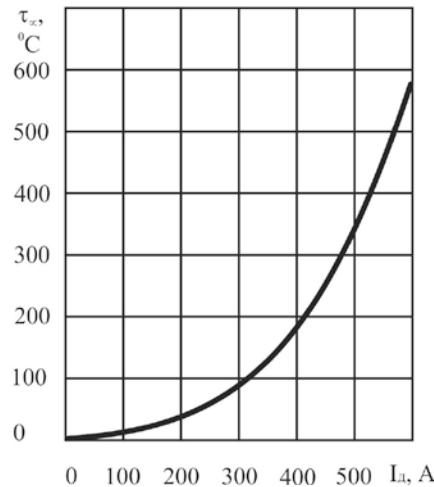


Рис.Б.1.3. Тепловые характеристики обмотки якоря тягового электродвигателя НБ-406 электровоза ВЛ8, ВЛ8^М
(тепловая постоянная времени $T=44$ мин)

Приложение Б.2. Электровоз ВЛ10, ВЛ10^y, ВЛ11



Основные технические характеристики:

Род службы	грузовой
Ширина колеи	1520 мм
Габарит по ГОСТ 9238-83	1-T
Напряжение, U	3000 В
Род тока	постоянный
Осевая формула	2(2 ₀ -2 ₀)
Служебная масса, P	
ВЛ10, ВЛ11	184 т
ВЛ10 ^y	200 т
Нагрузка от колесной пары на рельсы, q_0	
ВЛ10, ВЛ11	225,63 кН (23 тс)
ВЛ10 ^y	245,25 кН (25 тс)
Конструкционная скорость, v_k	100 км/ч
Мощность часовного режима, N_u	5360 кВт
Сила тяги часового режима, F_{ku}	387,5 кН
Скорость часовного режима, v_u	48,7 км/ч
Мощность длительного (расчетного) режима, N_p	4600 кВт
Сила тяги расчетного режима, F_{kp}	313,92 кН
Скорость расчетного режима, v_p	51,2 км/ч
Сила тяги при трогании, $F_{k\ mp}$	
ВЛ10, ВЛ11	614,1 кН
ВЛ10 ^y	667,1 кН
Длина по осям автосцепок, L_a	
ВЛ10, ВЛ10 ^y	32840 мм
ВЛ11	32880 мм

Таблица Б.2.1. Ограничение по сцеплению

Электровоз	v , км/ч	0	5	10	15	20	30	40	50	56	57,5
ВЛ10, ВЛ11	F_k , кН	614,1	535,6	514,0	502,2	492,5	475,8	461,1	447,3	-	437,5
ВЛ10 ^y	F_k , кН	667,1	581,7	559,2	545,4	531,7	511,0	501,3	486,7	477,8	-

Таблица Б.2.2. Ограничение по мощности

Электровоз	v , км/ч	56	57,5	60	65	70	75	80	90	100
ВЛ10, ВЛ11	F_k , кН	-	437,5	393,4	316,9	263,9	226,6	196,2	147,2	109,9
ВЛ10 ^y	F_k , кН	477,9	-	393,4	316,9	263,9	226,6	196,2	147,2	109,9

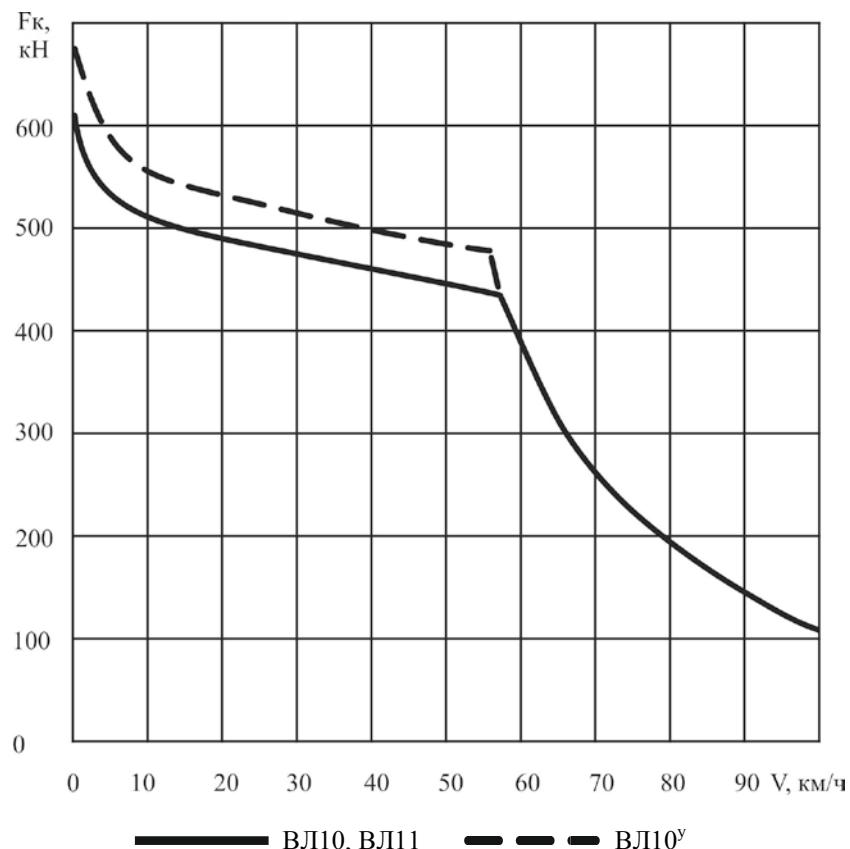


Рис. Б.2.1. Тяговая характеристика электровозов ВЛ10, ВЛ10^y, ВЛ11

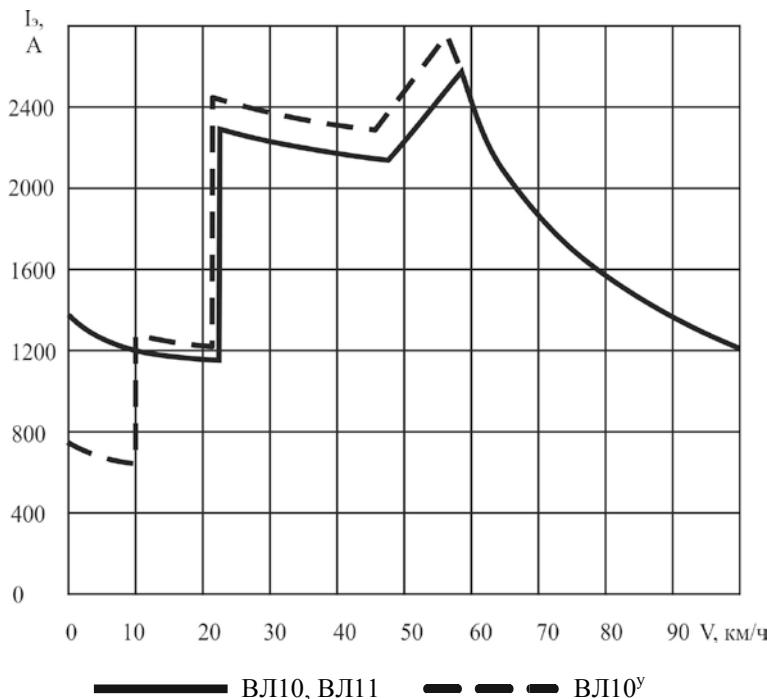


Рис. Б.2.2. Токовая характеристика электровозов ВЛ10, ВЛ10^у, ВЛ11

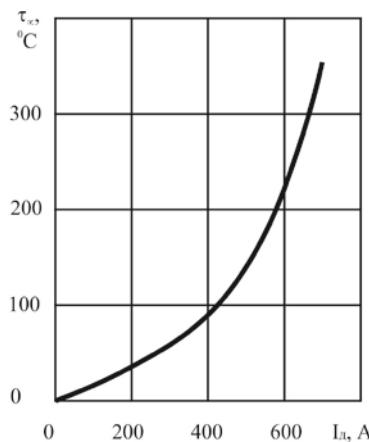


Рис.Б.2.3. Тепловые характеристики тягового электродвигателя ТЛ-2К1 электровозов ВЛ10, ВЛ10^у, ВЛ11
(тепловая постоянная времени $T=20$ мин)

Приложение Б.3. Электровоз ВЛ60^к, ВЛ60^р



Основные технические характеристики:

Род службы	грузовой
Ширина колеи	1520 мм
Габарит по ГОСТ 9238-83	1-Т
Напряжение, U	25 кВ
Род тока	переменный
Осевая формула	3 ₀ -3 ₀
Служебная масса, P	138 т
Нагрузка от колесной пары на рельсы, q_0	225,63 кН (23 тс)
Конструкционная скорость, v_k	100 км/ч
Мощность часового режима, N_u	4590 кВт
Сила тяги часового режима, F_{ku}	312,0 кН
Скорость часового режима, v_u	52,0 км/ч
Мощность длительного (расчетного) режима, N_p	4362 кВт
Сила тяги расчетного режима, F_{kp}	361,0 кН
Скорость расчетного режима, v_p	43,5 км/ч
Сила тяги при трогании, $F_{k\text{тр}}$	487,0 кН
Длина по осям автосцепок, L_d	20800 мм

Таблица Б.3.1. Ограничение по сцеплению

v , км/ч	0	5,5	14,5	22,5	30	37	43,5	49	52,5	56
F_k , кН	487,36	439,49	406,82	390,05	377,69	368,86	361,01	354,93	351,20	347,47

Таблица Б.3.2. Ограничение по мощности

v , км/ч	56	60	70	80	90	100
F_k , кН	347,47	291,36	201,11	150,09	114,78	90,25

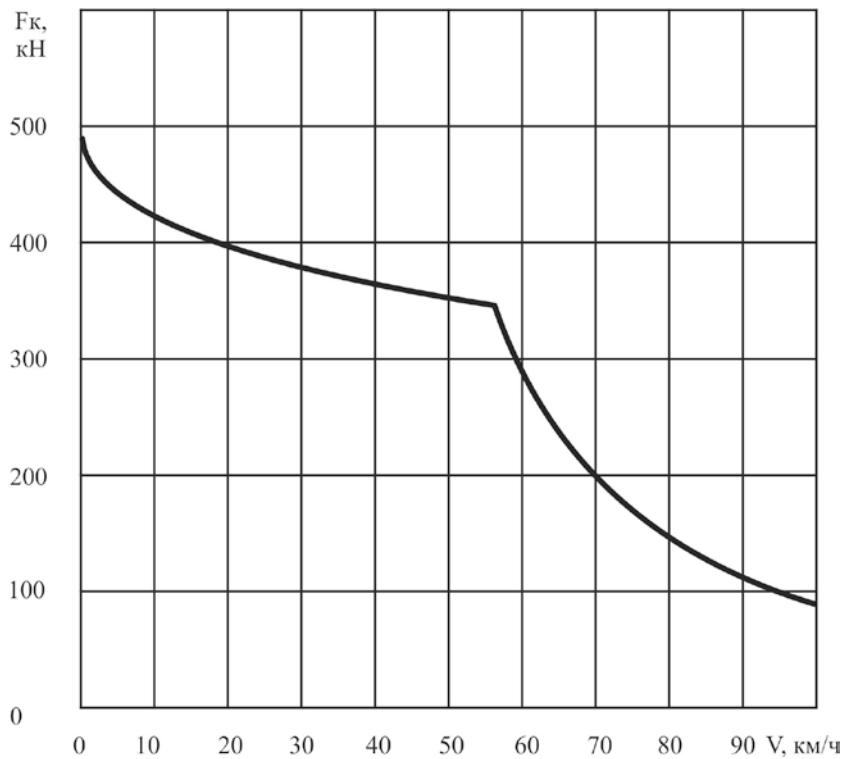


Рис. Б.3.1. Тяговая характеристика электровозов ВЛ60^к, ВЛ60^п

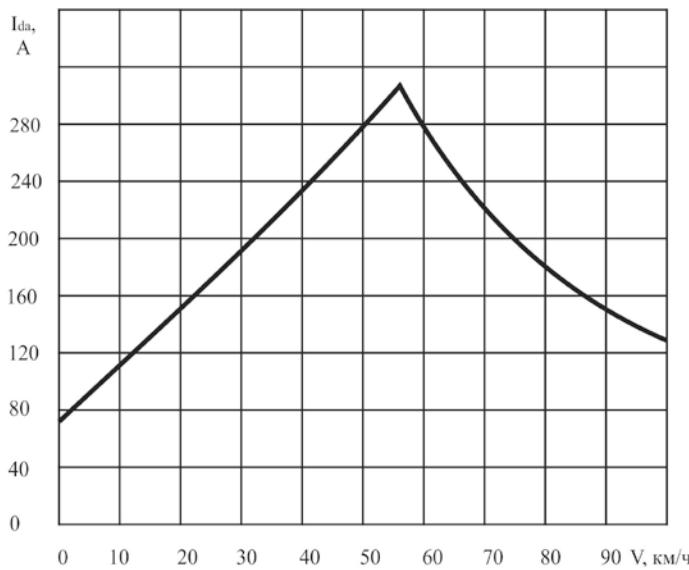


Рис. Б.3.2. Токовая характеристика электровозов ВЛ60^к, ВЛ60^п
(активный ток)

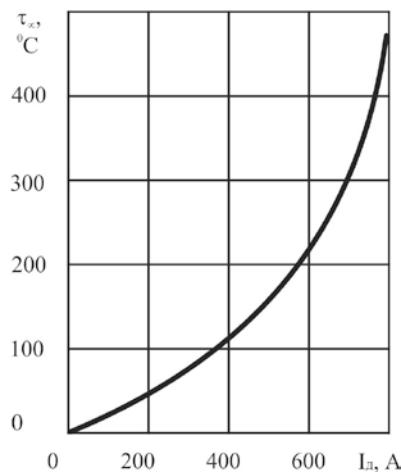


Рис.Б.3.3. Тепловые характеристики тягового
электродвигателя НБ-412К электровозов ВЛ60^к, ВЛ60^п
(тепловая постоянная времени $T=26$ мин)

Приложение Б.4. Электровоз ВЛ80^к, ВЛ80^т, ВЛ80^р, ВЛ80^с



Основные технические характеристики:

Род службы	грузовой
Ширина колеи	1520 мм
Габарит по ГОСТ 9238-83	1-Т
Напряжение, U	25 кВ
Род тока	переменный
Осевая формула	2(3 ₀ -3 ₀)
Служебная масса, P	
ВЛ80 ^к , ВЛ80 ^т	184 т
ВЛ80 ^р , ВЛ80 ^с	192 т
Нагрузка от колесной пары на рельсы, q_0	
ВЛ80 ^к , ВЛ80 ^т	225,63 кН (23 тс)
ВЛ80 ^р , ВЛ80 ^с	235,44 кН (24 тс)
Конструкционная скорость, v_k	110 км/ч
Мощность часового режима, N_u	6520 кВт
Сила тяги часового режима, $F_{k\chi}$	442,43 кН
Скорость часового режима, v_u	51,6 км/ч
Мощность длительного (расчетного) режима, N_p	6160 кВт
Сила тяги расчетного режима, F_{kp}	401,23 кН
Скорость расчетного режима, v_p	53,6 км/ч
Сила тяги при трогании, $F_{k\ mp}$	
ВЛ80 ^к , ВЛ80 ^т	649,42 кН
ВЛ80 ^р , ВЛ80 ^с	678,07 кН
Длина по осям автосцепок, L_l	32840 мм

Таблица Б.4.1. Ограничение по сцеплению

Электровоз	v , км/ч	0	8,7	16,2	23,5	31	38	44,2	50,5	56,5	57,1
ВЛ80 ^к , ВЛ80 ^т	F_k , кН	649,42	567,02	536,61	517,97	502,27	490,50	480,69	470,88	-	461,07
ВЛ80 ^п , ВЛ80 ^с	F_k , кН	678,07	591,27	560,26	540,27	524,28	511,54	501,34	491,66	483,0	-

Таблица Б.4.2. Ограничение по мощности

Электровоз	v , км/ч	56,5	57,1	60	70	80	90	100	110
ВЛ80 ^к , ВЛ80 ^т	F_k , кН	-	461,07	423,79	296,26	217,78	169,71	134,40	105,95
ВЛ80 ^п , ВЛ80 ^с	F_k , кН	483,0	-	423,79	296,26	217,78	169,71	134,40	105,95

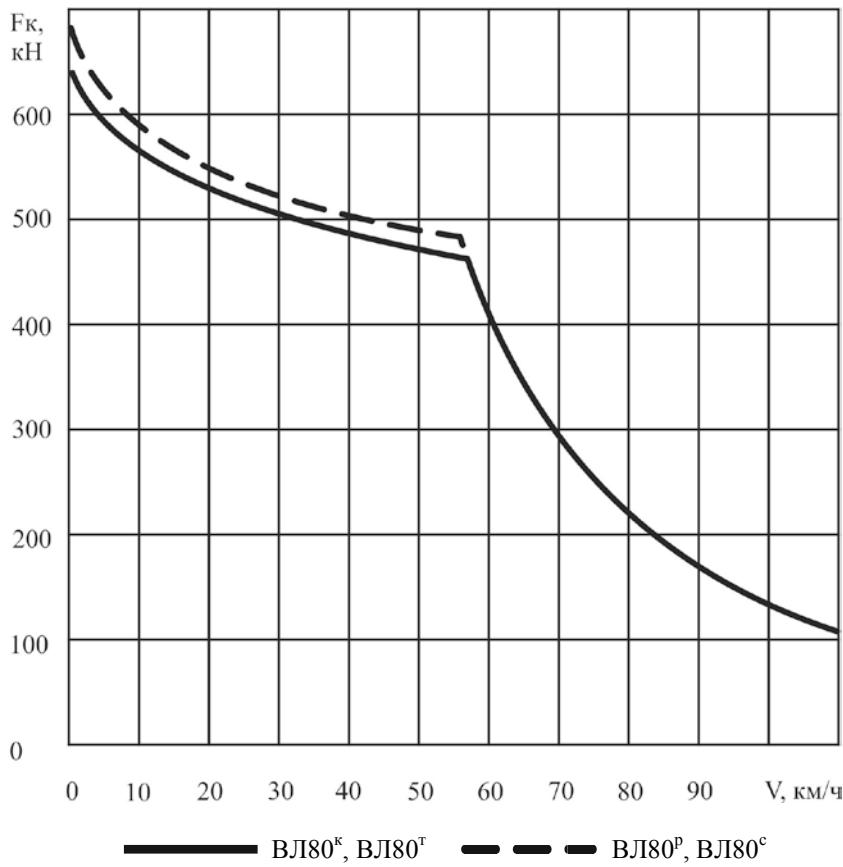


Рис. Б.4.1. Тяговая характеристика электровозов ВЛ80

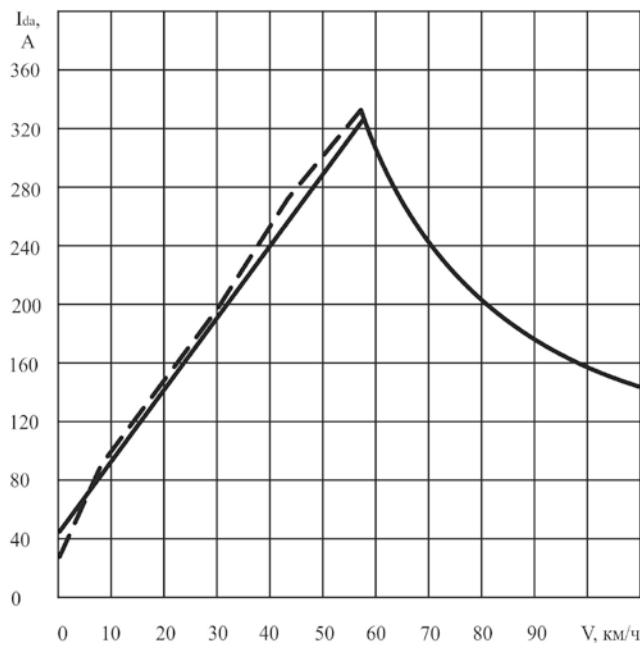


Рис. Б.4.2. Токовая характеристика электровозов ВЛ80 (активный ток)
 ВЛ80^k, ВЛ80^T ВЛ80^p, ВЛ80^c

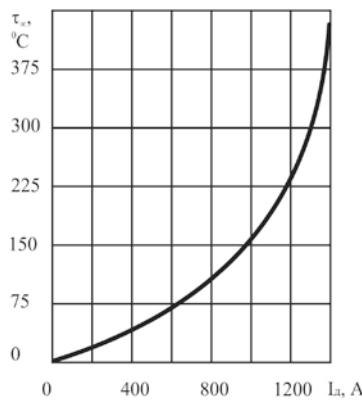


Рис.Б.4.3. Тепловые характеристики тягового электродвигателя НБ-418К электровозов ВЛ80
 (тепловая постоянная времени $T=23$ мин)

Приложение Б.5. Электровоз ЧС2



Основные технические характеристики:

Род службы	пассажирский
Ширина колеи	1520 мм
Габарит по ГОСТ 9238-83	1-Т
Напряжение, U	3000 В
Род тока	постоянный
Осевая формула	3 ₀ -3 ₀
Служебная масса, P	123 т
Нагрузка от колесной пары на рельсы, q_0	201,1 кН (20,5 тс)
Конструкционная скорость, v_k	160 км/ч
Мощность часового режима, N_u	4200 кВт
Сила тяги часового режима, F_{ku}	161,87 кН
Скорость часового режима, v_u	91,5 км/ч
Мощность длительного (расчетного) режима, N_p	3708 кВт
Сила тяги расчетного режима, F_{kp}	134,4 кН
Скорость расчетного режима, v_p	96,9 км/ч
Сила тяги при трогании, $F_{k\text{тр}}$	487,0 кН
Длина по осям автосцепок, L_l	18970 мм

Таблица Б.5.1. Ограничение по сцеплению и току

v , км/ч	0	25	53,8	80,3	86,1	93,5	103,6	115,3
F_k , кН	264,87	264,87	264,87	264,87	249,17	230,54	209,93	184,43

Таблица Б.5.2. Ограничение по мощности

v , км/ч	115,3	130	140	145	150	155	160
F_k , кН	184,43	132,44	106,93	97,12	88,29	83,39	77,50

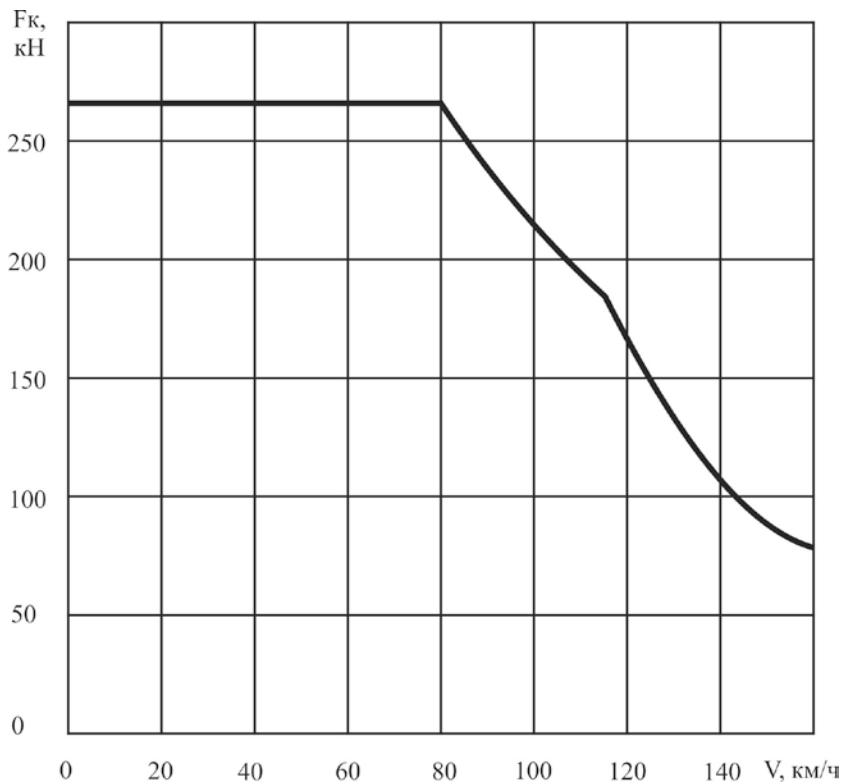


Рис. Б.5.1. Тяговая характеристика электровоза ЧС2

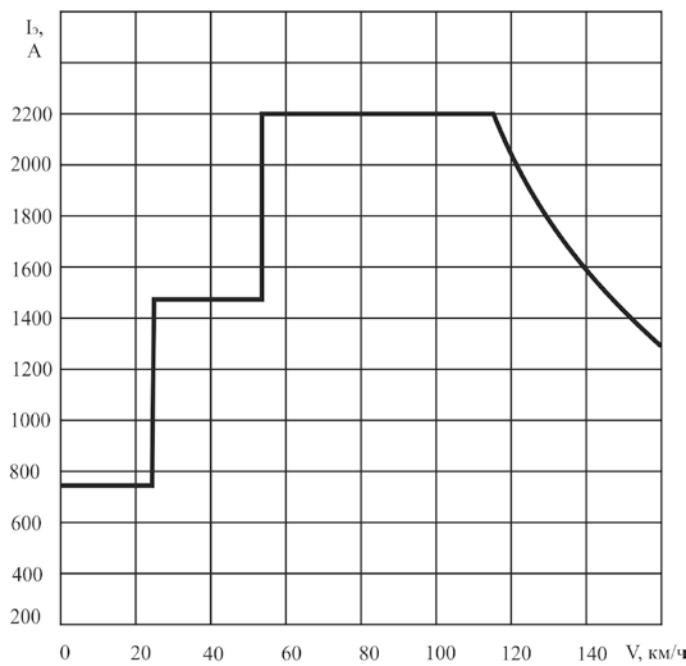


Рис. Б.5.2. Токовая характеристика электровоза ЧС2

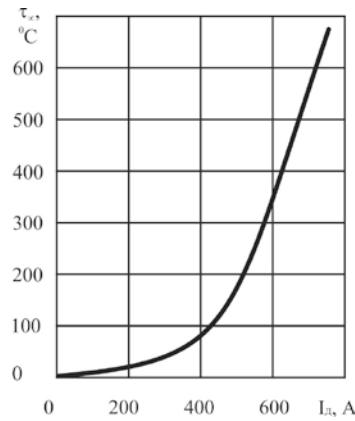


Рис.Б.5.3. Тепловые характеристики тягового электродвигателя AL484бeT электровоза ЧС2
(тепловая постоянная времени $T=40$ мин)

Приложение Б.6. Электровоз ЧС4, ЧС4^т



Основные технические характеристики:

Род службы	пассажирский
Ширина колеи	1520 мм
Габарит по ГОСТ 9238-83	1-Т
Напряжение, U	25 кВ
Род тока	переменный
Осевая формула	3 ₀ -3 ₀
Служебная масса, P	123 т
Нагрузка от колесной пары на рельсы, q_0	201,1 кН (20,5 тс)
Конструкционная скорость, v_k	160 км/ч
Мощность часового режима, N_u	5100 кВт
Сила тяги часового режима, F_{ku}	170,7 кН
Скорость часового режима, v_u	107,1 км/ч
Мощность длительного (расчетного) режима, N_p	4920 кВт
Сила тяги расчетного режима, F_{kp}	164,81 кН
Скорость расчетного режима, v_p	109,1 км/ч
Сила тяги при трогании, $F_{k\ mp}$	304,11 кН
Длина по осям автосцепок, L_l	19980 мм

Таблица Б.6.1. Ограничение по сцеплению и току

v , км/ч	0	86,5	97	105	115,3	126,5
F_k , кН	264,87	264,87	243,29	227,10	209,44	193,26

Таблица Б.6.2. Ограничение по мощности

v , км/ч	126,5	130	140	150	160
F_k , кН	193,26	179,52	149,11	125,57	108,89

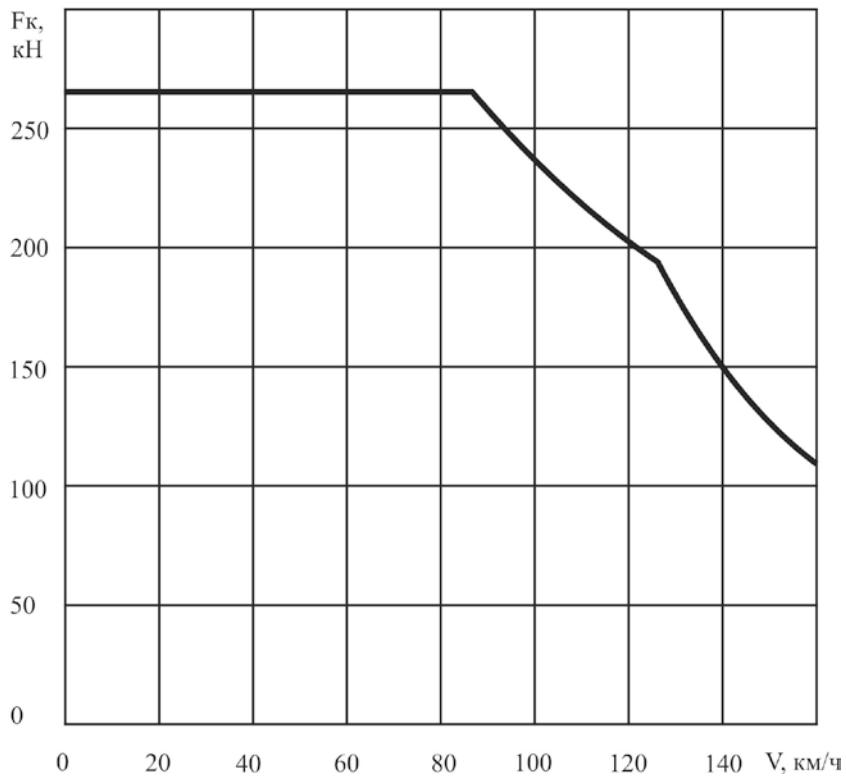


Рис. Б.6.1. Тяговая характеристика электровоза ЧС4, ЧС4^Т

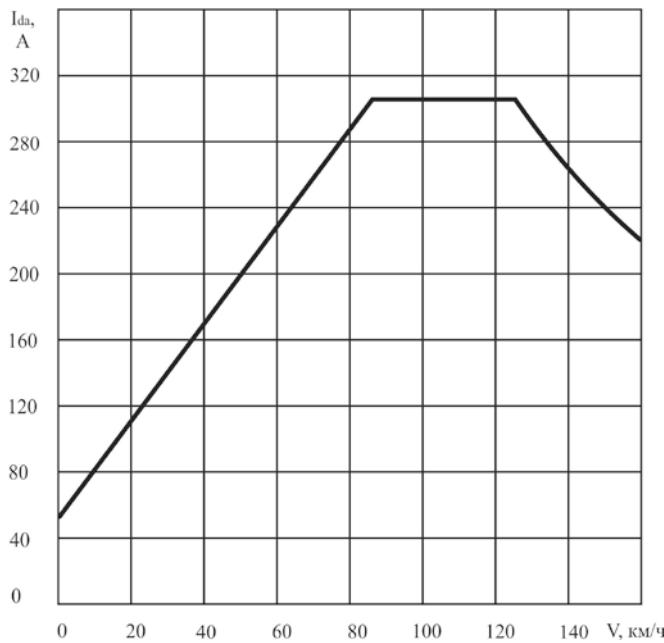


Рис. Б.6.2. Токовая характеристика электровоза ЧС4, ЧС4^Т

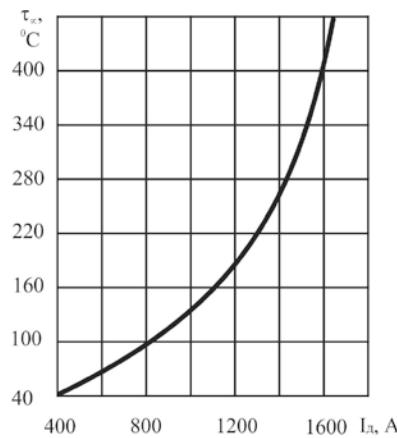


Рис.Б.6.3. Тепловые характеристики тягового электродвигателя AL4442nP электровоза ЧС4, ЧС4^Т (тепловая постоянная времени $T=23$ мин)

Приложение Б.7. Тепловоз М62



Основные технические характеристики:

Род службы	грузовой
Ширина колеи	1520 мм
Габарит по ГОСТ 9238-83	02-Т
Передача мощности	электрическая, постоянного тока
Тип дизеля	14Д40
Осевая формула	3 ₀ -3 ₀
Служебная масса, P	116,5 т
Нагрузка от колесной пары на рельсы, q_0	190,5 кН (19,4 тс)
Конструкционная скорость, v_k	100 км/ч
Мощность дизеля, N_d	1470 кВт
Сила тяги расчетного режима, F_{kp}	196,0 кН
Скорость расчетного режима, v_p	20,0 км/ч
Сила тяги при трогании, $F_{k\ mp}$	350,2 кН
Длина по осям автосцепок, L_d	14700 мм

Таблица Б.7.1. Ограничение по сцеплению

v , км/ч	0	5	10	11,5
F_k , кН	350,04	317,39	292,88	287,29

Таблица Б.7.2. Ограничение по мощности

v , км/ч	11,5	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
F_k , кН	287,27	247,09	196,1	136,29	104,91	84,81	71,07	60,79	51,97	44,12	38,24

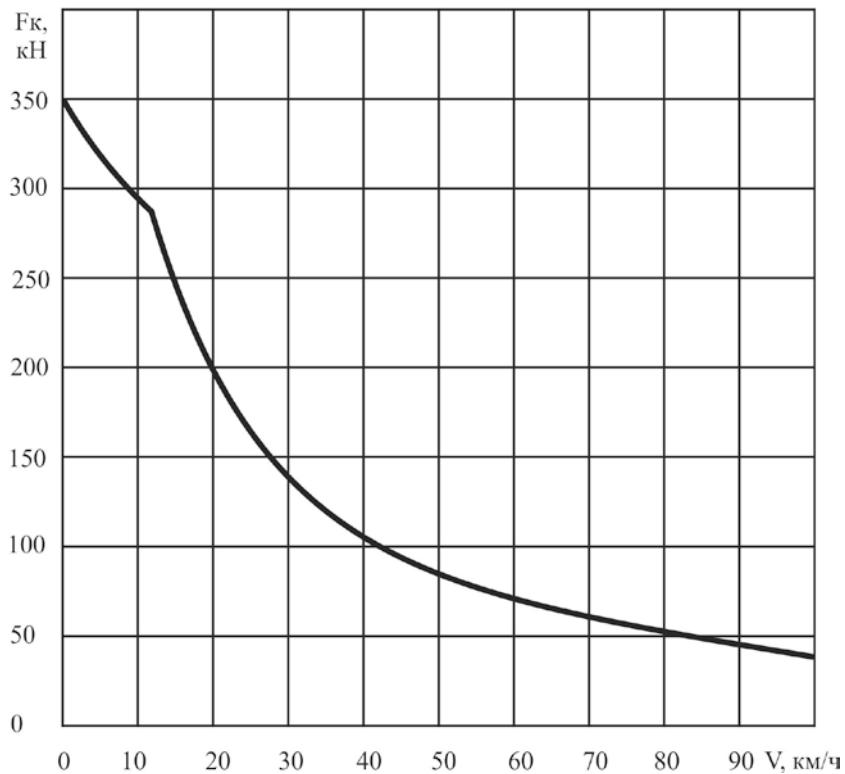


Рис. Б.7.1. Тяговая характеристика тепловоза М62

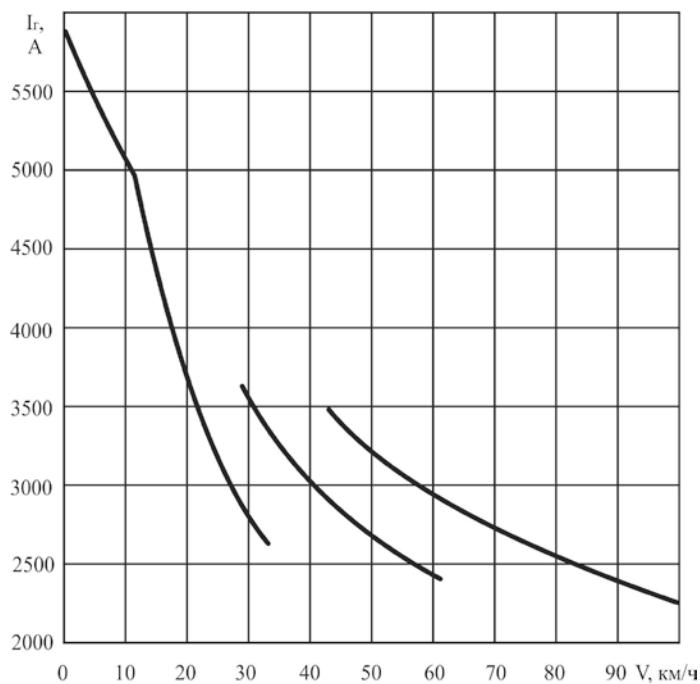


Рис. Б.7.2. Ток генератора тепловоза М62

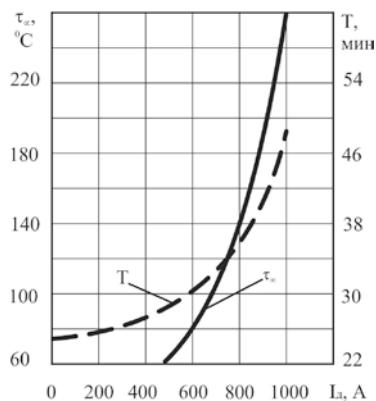


Рис.Б.7.3. Тепловые характеристики тягового электродвигателя ЭД118А тепловоза М62

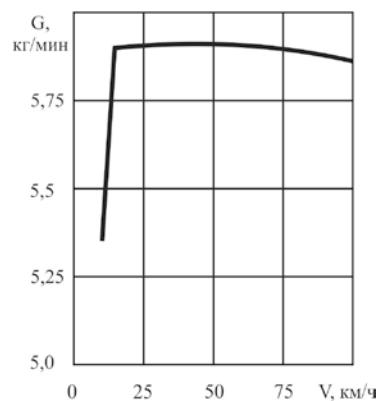


Рис.Б.7.4. Расход топлива в режиме тяги тепловозом М62 (15 поз.)

Приложение Б.8. Тепловоз 2ТЭ10В, 2ТЭ10М



Основные технические характеристики:

Род службы	грузовой
Ширина колеи	1520 мм
Габарит по ГОСТ 9238-83	1-Т
Передача мощности	электрическая, постоянного тока
Тип дизеля	10Д100
Осевая формула	2(3 ₀ -3 ₀)
Служебная масса, P	276 т
Нагрузка от колесной пары на рельсы, q_0	225,6 кН (23 тс)
Конструкционная скорость, v_k	100 км/ч
Мощность дизеля, N_o	4420 кВт
Сила тяги расчетного режима, F_{kp}	490,0 кН
Скорость расчетного режима, v_p	24,6 км/ч
Сила тяги при трогании, $F_{k\ mp}$	797,55 кН
Длина по осям автосцепок, L_d	33938 мм

Таблица Б.8.1. Ограничение по сцеплению

v , км/ч	0	5	10	15	19
F_k , кН	797,15	723,61	666,74	626,54	599,28

Таблица Б.8.2. Ограничение по мощности

v , км/ч	19	20	35	50	65	80	100
F_k , кН	599,28	566,73	350,04	246,11	188,26	152,96	119,62

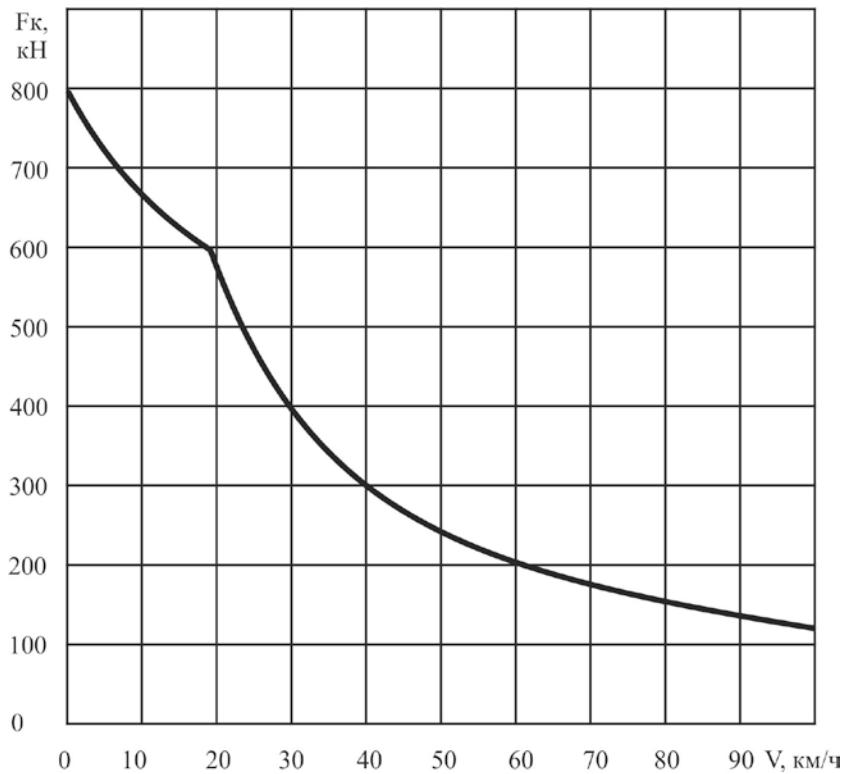


Рис. Б.8.1. Тяговая характеристика тепловоза 2ТЭ10В (М)

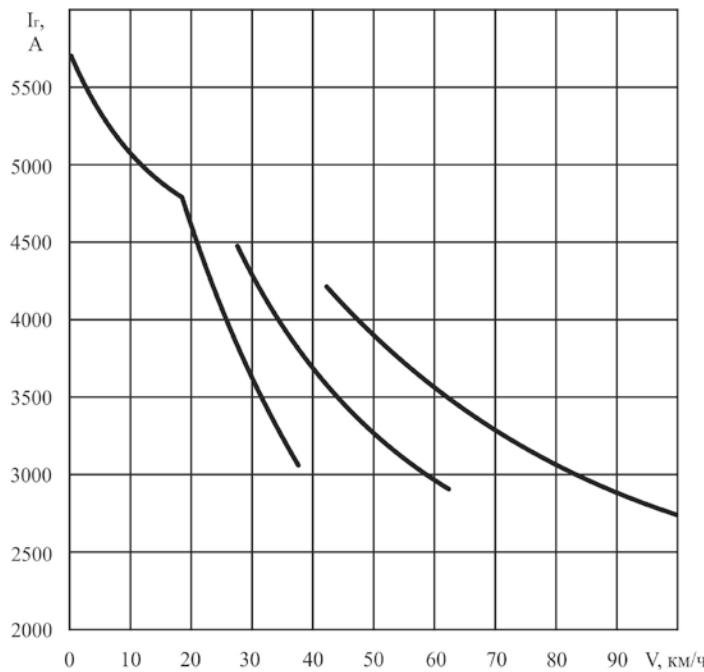


Рис. Б.8.2. Ток генератора тепловоза 2ТЭ10В (М)

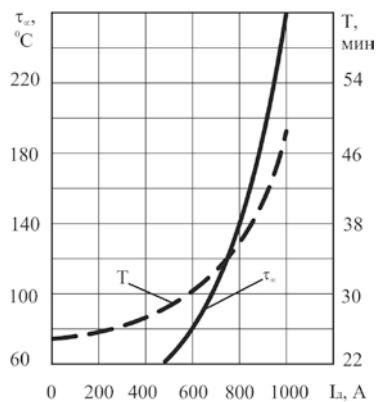


Рис.Б.8.3. Тепловые характеристики тягового электродвигателя ЭД118А тепловоза 2ТЭ10В (М)

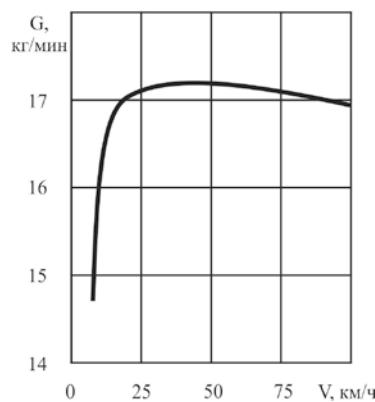


Рис.Б.8.4. Расход топлива в режиме тяги тепловозом 2ТЭ10В (М) (15 поз.)

Приложение Б.9. Тепловоз 2ТЭ116



Основные технические характеристики:

Род службы	грузовой
Ширина колеи	1520 мм
Габарит по ГОСТ 9238-83	1-Т
Передача мощности	электрическая, переменно- постоянного тока
Тип дизеля	1А-5Д49
Осевая формула	2(3 ₀ -3 ₀)
Служебная масса, P	276 т
Нагрузка от колесной пары на рельсы, q_0	225,6 кН (23 тс)
Конструкционная скорость, v_k	100 км/ч
Мощность дизеля, N_d	4500 кВт
Сила тяги расчетного режима, F_{kp}	495,88 кН
Скорость расчетного режима, v_p	24,7 км/ч
Сила тяги при трогании, $F_{k\ mp}$	797,55 кН
Длина по осям автосцепок, L_l	36300 мм

Таблица Б.9.1. Ограничение по сцеплению

v , км/ч	0	5	10	15	19,5
F_k , кН	797,15	722,73	666,94	626,15	596,14

Таблица Б.9.2. Ограничение по мощности

v , км/ч	19,5	30	40	50	70	80	90	100
F_k , кН	596,14	408,57	310,82	249,05	179,82	157,86	140,60	126,48

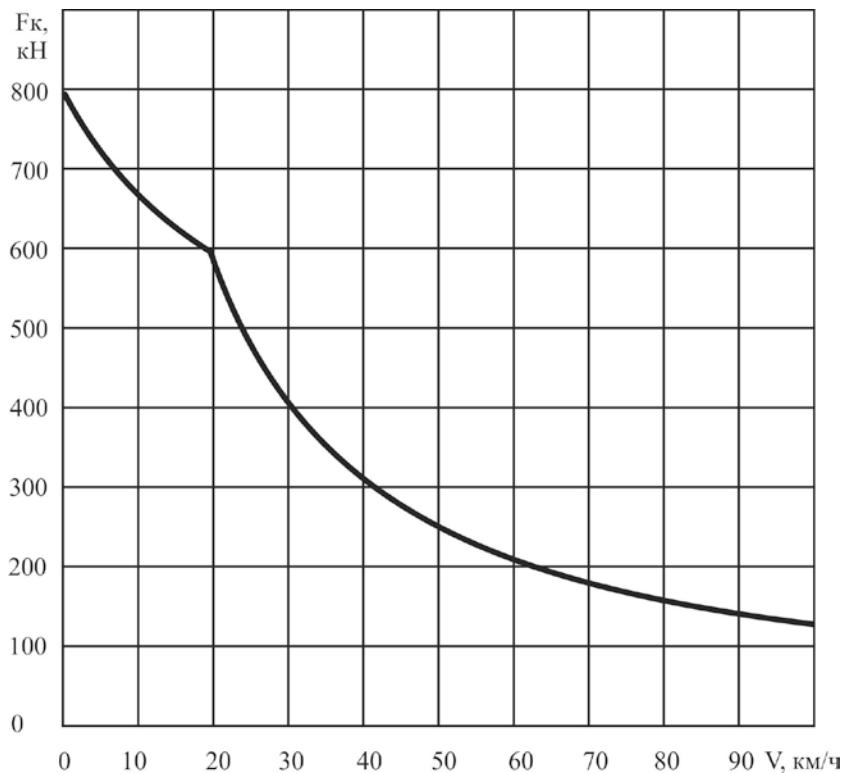


Рис. Б.9.1. Тяговая характеристика тепловоза 2ТЭ116

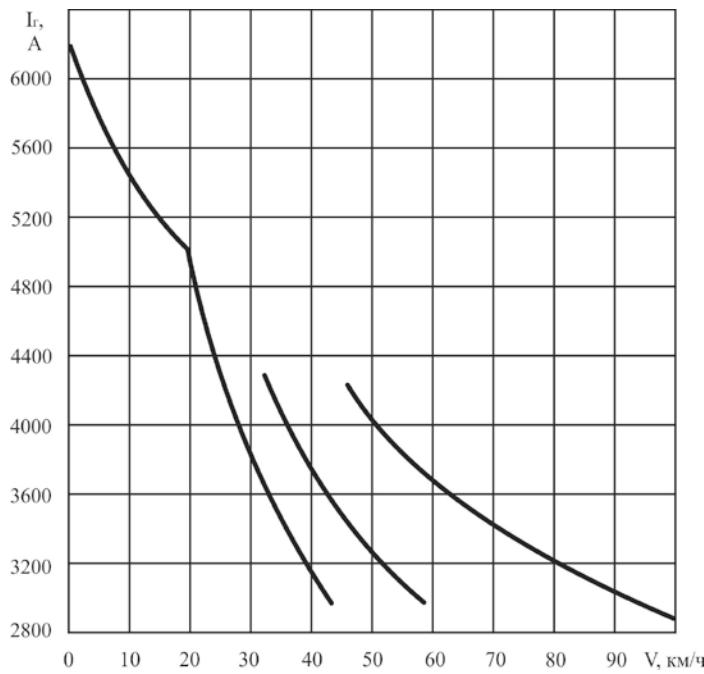


Рис. Б.9.2. Ток генератора тепловоза 2ТЭ116

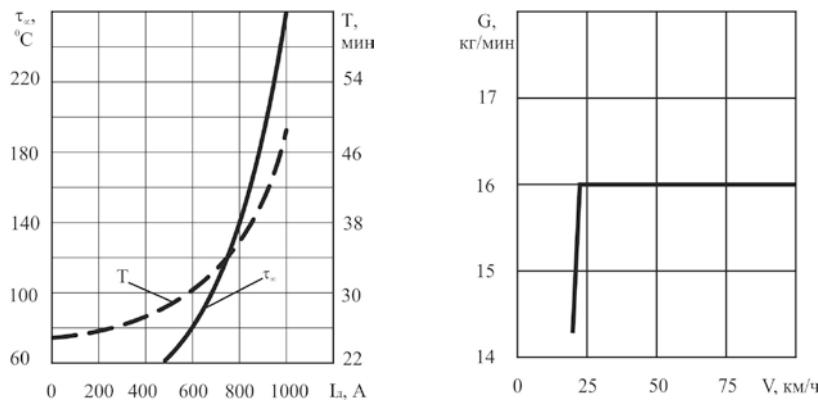


Рис.Б.9.3. Тепловые характеристики тягового электродвигателя ЭД118А тепловоза 2ТЭ116

Рис.Б.9.4. Расход топлива в режиме тяги тепловозом 2ТЭ116 (15 поз.)

Приложение Б.10. Тепловоз ТЭП70



Основные технические характеристики:

Род службы	пассажирский
Ширина колеи	1520 мм
Габарит по ГОСТ 9238-83	1-Т
Передача мощности	электрическая, переменно- постоянного тока
Тип дизеля	2А-5Д49
Осевая формула	3₀-3₀
Служебная масса, P	129 т
Нагрузка от колесной пары на рельсы, q_0	210,92 кН (21,5 тс)
Конструкционная скорость, v_k	160 км/ч
Мощность дизеля, N_d	2942 кВт
Сила тяги расчетного режима, F_{kp}	166,77 кН
Скорость расчетного режима, v_p	50,0 км/ч
Сила тяги при трогании, $F_{k\ mp}$	288,41 кН
Длина по осям автосцепок, L_d	20470 мм

Таблица Б.10.1. Ограничение по току и сцеплению

v , км/ч	0	10	14,5	20	28
F_k , кН	379,42	318,06	299,98	282,54	263,34

Таблица Б.10.2. Ограничение по мощности

v , км/ч	28	40	60	80	100	120	140	160
F_k , кН	263,34	193,94	120,60	98,05	80,40	68,24	58,93	51,67

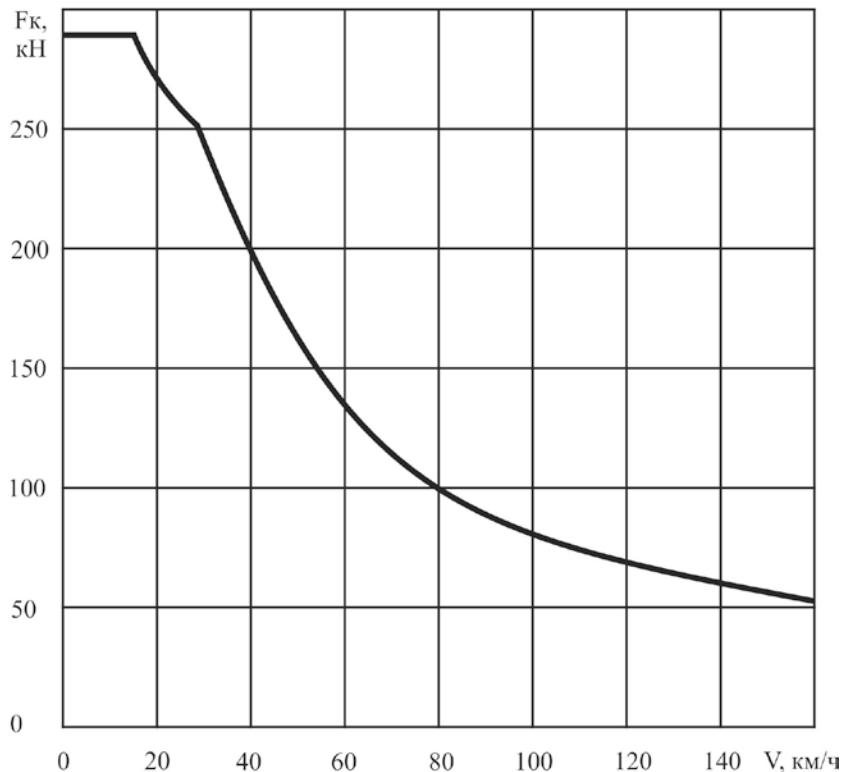


Рис. Б.10.1. Тяговая характеристика тепловоза ТЭП70

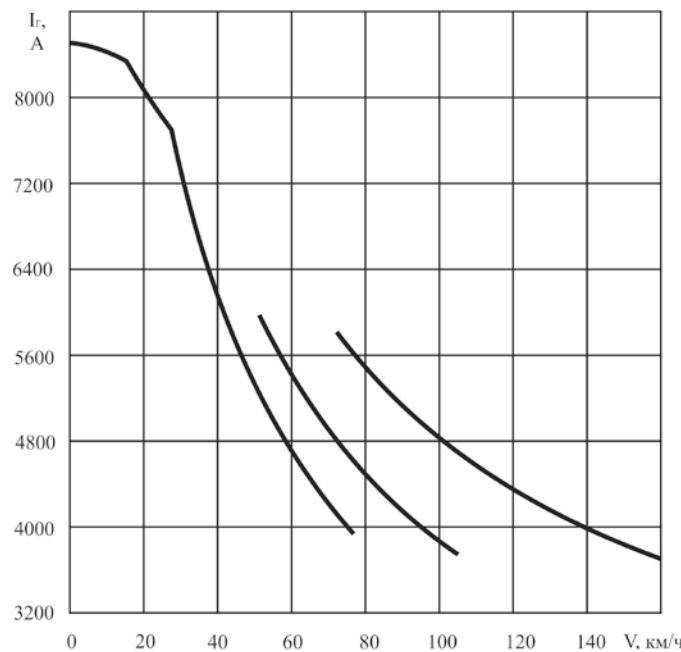


Рис. Б.10.2. Ток генератора тепловоза ТЭП70

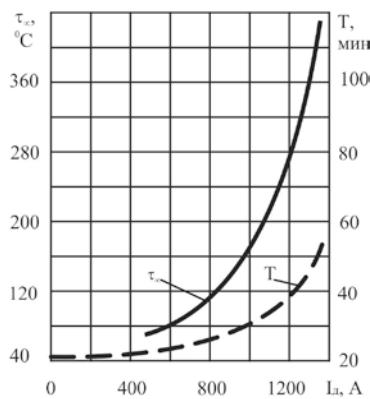


Рис.Б.10.3. Тепловые характеристики тягового электродвигателя ЭД119 тепловоза ТЭП70

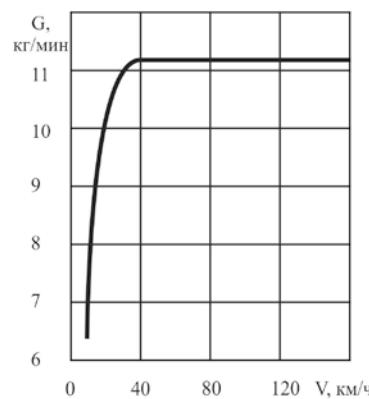


Рис.Б.10.4. Расход топлива в режиме тяги тепловозом ТЭП70 (15 поз.)

Приложение Б.11. Тепловоз ТЭМ2



Основные технические характеристики:

Род службы	маневровый
Ширина колеи	1520 мм
Габарит по ГОСТ 9238-83	1-Т
Передача мощности	электрическая, постоянного тока
Тип дизеля	ПД1М
Осевая формула	3 ₀ -3 ₀
Служебная масса, P	120 т
Нагрузка от колесной пары на рельсы, q_0	196,2 кН (20 тс)
Конструкционная скорость, v_k	100 км/ч
Мощность дизеля, N_d	882,6 кВт
Сила тяги расчетного режима, F_{kp}	200,12 кН
Скорость расчетного режима, v_p	11,1 км/ч
Сила тяги при трогании, $F_{k\ mp}$	347,27 кН
Длина по осям автосцепок, L_a	16970 мм

Таблица Б.11.1. Ограничение по сцеплению

v , км/ч	0	5	7,1
F_k , кН	347,10	314,74	303,96

Таблица Б.11.2. Ограничение по мощности

v , км/ч	7,1	10	15	20	40	60	80	100
F_k , кН	303,96	226,50	141,19	109,82	57,85	38,24	26,47	16,28

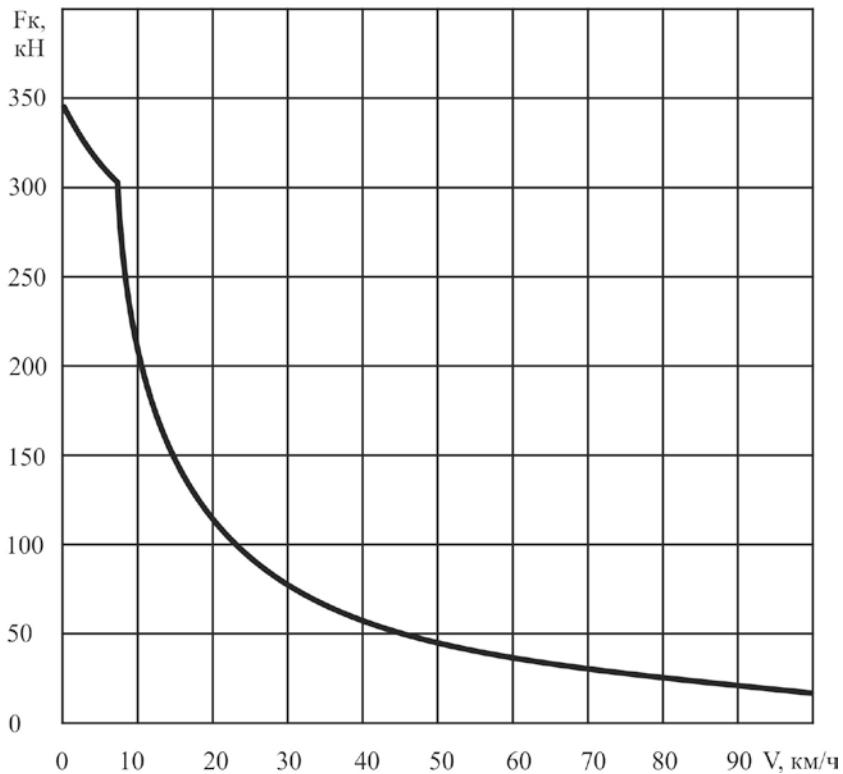


Рис. Б.11.1. Тяговая характеристика тепловоза ТЭМ2

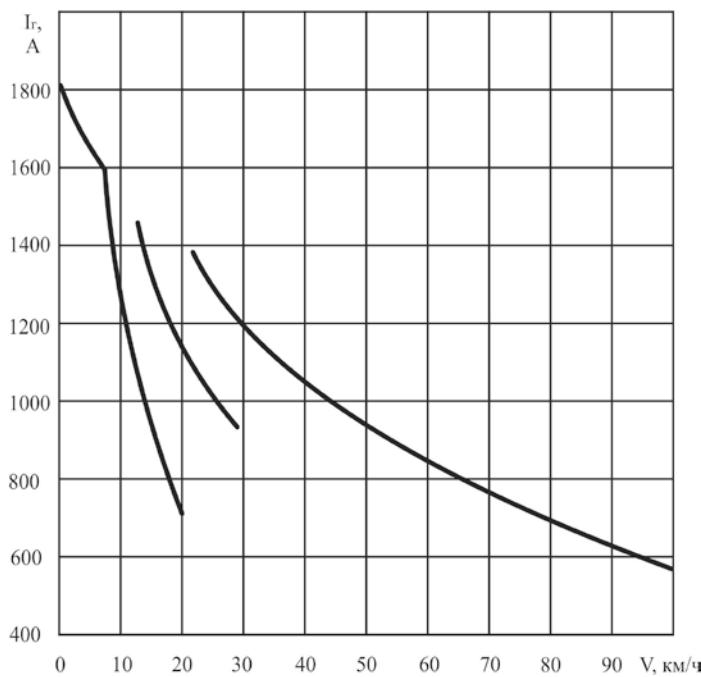


Рис. Б.11.2. Ток генератора тепловоза ТЭМ2

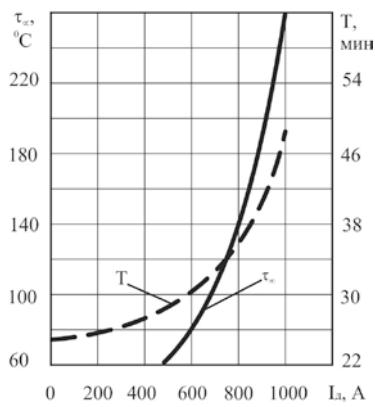


Рис.Б.11.3. Тепловые характеристики тягового электродвигателя ЭД118А тепловоза ТЭМ2

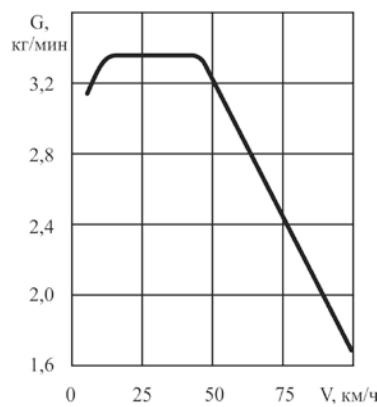


Рис.Б.11.4. Расход топлива в режиме тяги тепловозом ТЭМ2

Учебное издание

КУЗЬМЕНКО Сергей Валентинович
ЧЕРЕДНИЧЕНКО Сергей Петрович
ИГНАТЬЕВ Олег Леонидович

**ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ
СРЕДСТВА: ПРАКТИКУМ**

Техн. редактор

Оригінал - макет

Підписано в друк _____

Формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Папір _____. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк арк. _____. Обл. вид. арк. _____

Наклад _____ екз. Вид. № _____. Замовлення № _____.
Ціна договірна.

Видавництво

Адреса видавництва:

Телефон: _____ Факс:

E-mail:

<http://www.>