

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА (МИИТ)»
(РУТ (МИИТ))**

Одобрено кафедрой
«ТЯГОВЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ»

Протокол № ___ от _____ 201__ г.
Автор: _____

**ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ С МЕТОДИЧЕСКИМИ
УКАЗАНИЯМИ**

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ТЯГА ПОЕЗДОВ

Уровень ВО: *Специалитет*

Форма обучения: *Заочная*

Курс: *3*

Специальность/Направление: *23.05.04 Эксплуатация железных дорог
(ЭЖс)*

Специализация/Профиль/Магистерская программа: *(ДМ)
Магистральный транспорт*

Москва

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

По учебному плану студенты обучающиеся по специальности «Эксплуатация железных дорог» на 3 курсе изучают дисциплину «Тяга поездов». Для лучшего усвоения дисциплины студенты должны выполнить курсовую работу.

Курсовую работу необходимо выполнять, осмысленно применяя расчетные формулы и тщательно продумывая выводы и результаты. Совершенно недопустимо механическое применение формул и выполнение по ним расчетов. Методические указания, которые приводятся ниже, не избавляют студента от необходимости глубоко и внимательно разобраться в рассматриваемых вопросах, используя рекомендуемую литературу. При несоблюдении этого студент не приобретет необходимых знаний и окажется неподготовленным к экзамену по дисциплине.

При выполнении контрольной работы необходимо придерживаться следующих положений.

1. Работа должна быть выполнена в тетради, составленной из стандартных листов писчей бумаги (размером 210X297 мм) с обязательным оставлением полей для замечаний рецензента; на обложке тетради необходимо указать дисциплину, курс, фамилию, инициалы и шифр студента, а также год издания задания на контрольную работу, в соответствии с которым она выполняется.

2. Работа должна быть написана аккуратно, разборчивым почерком, без сокращения слов.

3. Исходные данные должны быть обязательно приведены в начале работы.

4. Расчеты нужно сопровождать пояснениями. Расчетные формулы приводятся сначала в общем виде с применением принятых буквенных обозначений, после чего следует подставить в формулу числовые значения величин и проставить результат.

Необходимо указать, что представляют собой величины, входящие в формулу, обязательно проставляя для именованных величин их единицы измерения.

5. При выборе расчетных величин и параметров, использовании таблиц, формул, справочных материалов нужно ссылаться на источники; использованную литературу (автор, название книги, год издания) следует привести в конце работы.

6. Материал следует излагать с соблюдением принятой в технической литературе терминологии.

7. Точность вычислений до 1% является достаточной при расчетах, поэтому при использовании ПЭВМ результаты следует округлять.

8. Графическую часть работы выполняют на масштабной-координатной (миллиметровой) бумаге.

При изображении графических зависимостей следует:

а) на каждом графике иметь нулевую абсциссу и нулевую ординату;

б) графические зависимости вычерчивать аккуратно, остро заточенным карандашом;

в) оси координат выделить более толстой линией;

г) на осях координат проставлять буквенные обозначения откладываемых величин и их единицы измерения;

д) на осях координат нанести числовые шкалы в соответствии с принятыми масштабами изображения величин.

При построении графических зависимостей на миллиметровой бумаге начало координат следует выбирать в точке пересечения жирных линий; круглые значения числовых шкал на осях координат весьма желательно ставить против более жирных линий сетки.

9. Таблицы, диаграммы и графики необходимо вкладывать в тетрадь так же, как и страницы с текстом, в корешок тетради, не поворачивая их на 90°, чтобы удобно было пользоваться (не следует приклеивать графики и таблицы к полям страниц!). Вкладывать графики и таблицы в тетрадь нужно сразу же за той страницей, где есть касающиеся их пояснения.

10. Страницы работы, иллюстрации, таблицы и графики должны быть пронумерованы. Таблицы должны иметь названия, иллюстрации и графики – подрисуночные подписи.

11. Работу следует подписать и указать дату ее выполнения.

12. Готовая работа должна быть представлена в университет не позднее срока, установленного учебным планом.

После получения прорецензированной работы нужно независимо от того, зачтена она или не зачтена, исправить все ошибки и сделать требуемые дополнения. Если работа не зачтена, следует в кратчайший срок выполнить требования рецензента и выслать исправленную работу вместе с рецензией в университет для повторной проверки¹. При этом не следует переписывать целиком работу или отдельные ее разделы; нельзя также производить исправления по написанному тексту; все исправления и дополнения должны быть сделаны на отдельных листах и вклеены или вшиты в соответствующие места работы. Стирать и зачеркивать замечания рецензента запрещается. Выполнив какое-либо исправление и получив новый числовой результат, следует, если это требуется, внести соответствующие поправки в дальнейшие расчеты.

Курсовые работы, в которых не соблюдены изложенные выше положения, а также работы, выполненные студентом не по своему варианту, не зачитываются.

Зачтенную работу с исправлениями и дополнениями, сделанными по требованию рецензента, следует сохранить, так как ее необходимо представить при ее защите.

Выполнение курсовой работы способствует лучшему усвоению учебного материала, в частности, методов определения массы состава, расчетов по построению диаграмм удельных равнодействующих сил, анализа по этим диаграммам условий движения поезда, способов определения скорости и времени движения поезда по участку,

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

В курсовой работе студент должен:

1. Описать конструкцию заданного локомотива.
2. Провести анализ профиля пути.
3. Установить крутизну расчетного подъема.
4. Определить массу состава по выбранному расчетному подъему.
5. Выполнить проверку массы состава по длине приемоотправочных путей отдельных пунктов заданного участка.
6. Рассчитать таблицу и построить диаграмму удельных равнодействующих сил.
7. Определить максимально допустимую скорость движения на наиболее крутом спуске участка при заданных тормозных средствах поезда.
8. Определить максимально допустимую скорость движения на прочих уклонах используя номограммы приведенные в приложении.
9. Построить кривые скорости $U = f(s)$ и времени $t = f(s)$ используя аналитические способы расчета.
10. Рассчитать скорость и время хода поезда по участку.
11. Рассчитать время хода поезда по участку приближенным способом.
12. Определить допустимость использования приближенных способов расчета.

Исходные данные выбираются студентом по последней цифре учебного шифра (табл. 1), а профиль участка – по предпоследней цифре шифра (табл. 2). При цифрах 0, 2, 4, 6, 8 в направлении от ст. А к ст. К, а при цифрах 1, 3, 5, 7, 9 – от ст. К к ст. А, при этом знаки уклонов сменить на обратные. Эти данные, а также расчетные параметры заданного локомотива (табл. 3) **обязательно приводятся** в начале работы. Кроме того, студент должен вычертить упрощенную схему заданного тепловоза или электровоза, а также его тяговую характеристику. Схемы локомотивов и их тяговые характеристики приведены на рис. 1-4.

Таблица 1

Исходные данные

Наименование данных	Вариант (последняя цифра учебного шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Локомотив	Электровоз ВЛ10	Электровоз ВЛ80 ^Р	Тепловоз 2М62	Тепловоз 2ТЭ116	Тепловоз 3ТЭ10М	Тепловоз 2ТЭ10М	Электровоз ВЛ80 ^Р	Тепловоз 2ТЭ10М	Электровоз ВЛ11	Электровоз ВЛ8
Состав поезда из четырехосных вагонов на подшипниках качения										
Масса вагона брутто, q_4 , т	88									
Длина приемоотправочных путей l_{non} , м	1250	1250	850	1250	1550	1550	1050	1250	1550	850
Тормозные колодки	Чугунные					Композиционные				

**Профили пути к заданию на курсовую работу
(принимается профиль, номер которого
соответствует предпоследней цифре шифра)**

Вариант	Станции	Номер элемента	Крутизна уклона %	Длина элемента, м
0 и 1	Ст. А	1	-2,5	1100
		2	-7	3400
		3	-9,0	1000
		4	0,0	1600
		5	+12,5	2850
		6	+8,5	1500
		7	+10,0	6800
	ст. К	8	+1,5	1600
2 и 3	Ст. А	1	-1,5	1800
		2	-6	2800
		3	-9	8000
		4	0,0	1600
		5	+9,0	2000
		6	+7,0	6000
		7	0,0	2400
	ст. К	8	+6,0	1500
	9	+1,5	1700	
4 и 5	Ст. А	1	0,0	1100
		2	-6,0	2000
		3	0,0	1500
		4	+12,0	2500
		5	+9,0	8000
		6	+7,0	1800
		7	-7,0	5300
		8	-9,0	1000
	ст. К	9	0,0	2000
		10	+1,0	1700
6 и 7	Ст. А	1	0,0	1800
		2	-3,0	1500
		3	-7,0	9400
		4	-9,0	1250
		5	0,0	800
		6	+2,5	1200
		7	+10,0	3000
		8	+8,0	8400
	ст. К	9	+2,0	1000
		10	0,0	1800
8 и 9	Ст. А	1	0,0	1800
		2	-1,0	800
		3	-4,0	1000
		4	0,0	1400
		5	-9,0	9500
		6	-10,5	1500
		7	+1,0	900
		8	+10,0	1000
	ст. К	9	+8,0	8300
		10	+2,0	2000

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ
КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Точность вычислений при выполнении расчетов должна в соответствии с Правилами тяговых расчетов для поездной работы (ПТР) [7] приниматься:

- а) для масс составов (грузовых) с округлением до 50 т;
- б) для сил, действующих на поезд (силы тяги, сопротивления, тормозные) с округлением до 50 Н;
- в) для крутизны уклонов при измерении в тысячных (промилле, ‰) – с одним знаком после запятой;
- г) для удельных сил при измерении в Н/кН – с двумя знаками после запятой;
- д) для расстояний при измерении в метрах (для элементов профиля) и в километрах (для перегонов) – с одним знаком после запятой;
- е) для скоростей при измерении в км/ч – с одним знаком после запятой;
- ж) для перегонных времен хода – расчетное до 0,1 мин, для графика движения поездов с округлением до 1 мин.

1. В первом разделе курсовой работы необходимо привести схему заданного Вам локомотива по примеру рис. 1 или рис. 2 и кратко описать принцип его действия и компоновку оборудования в кузове локомотива.

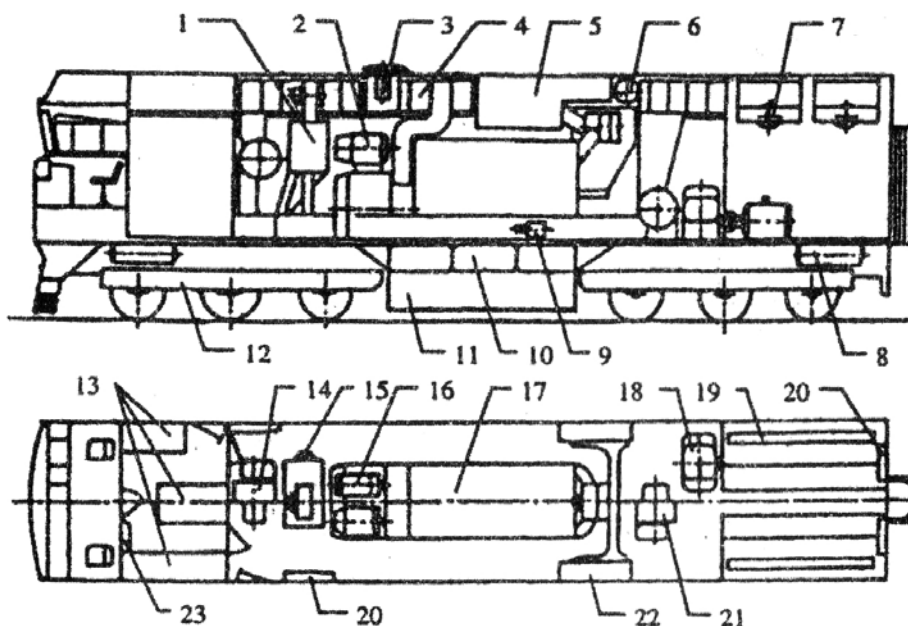


Рис. 1. Схематическое устройство тепловоза:

1 — выпрямитель; 2 — стартер-генератор; 3 — вентилятор кузова; 4 — фильтр воздушный; 5 — глушитель; 6 — бак водяной; 7 — мотор-вентилятор холодильника; 8 — главный резервуар; 9 — агрегат масло прокачивающий; 10 — аккумуляторная батарея; 11 — топливный бак; 12 — тележка; 13 — высоковольтная камера; 14 — вентилятор тяговых электродвигателей; 15 — блок кремниевых выпрямителей; 16 — возбудитель; 17 — дизель-генератор; 18 — мотор-компрессор; 19 — секции холодильника; 20 — песочный бункер; 21 — вентилятор тяговых электродвигателей; 22 — воздухоочиститель дизеля; 23 — шкаф для одежды

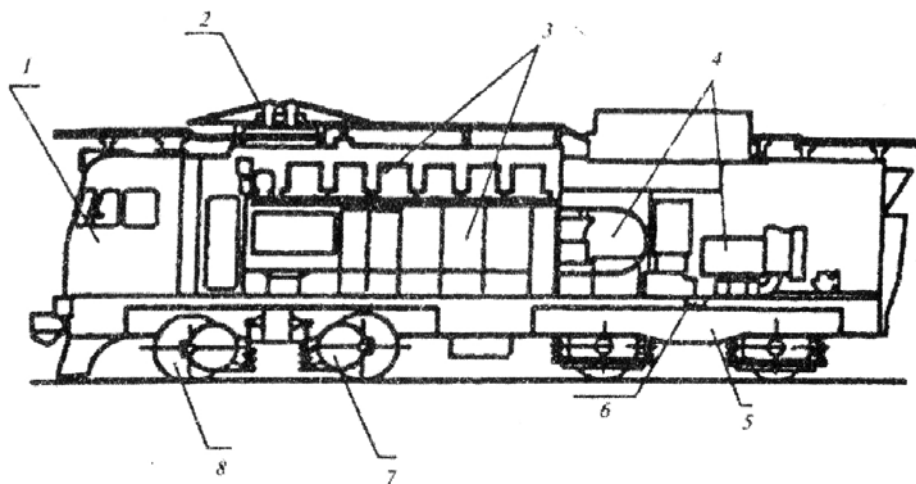


Рис. 2. Схематическое устройство электровоза

1 — кабина; 2 — токоприемник; 3 — электрические аппараты; 4 — вспомогательные машины; 5 — рама тележки; 6 — опора кузова; 7 — тяговый двигатель; 8 — колесная пара

2. **Расчетный подъем** – это наиболее трудный для движения в данном направлении элемент профиля пути, на котором достигается расчетная скорость, соответствующая расчетной силе тяги локомотива (см. табл. 3). Если наиболее крутой подъем участка достаточно длинный, то он принимается за расчетный. Если

же наиболее крутой подъем заданного участка имеет небольшую протяженность и ему предшествуют «легкие» элементы профиля (спуски, площадки), на которых поезд может развить высокую скорость, то такой подъем не может быть принят за расчетный, так как поезд преодолит его за счет накопленной кинетической энергии. В этом случае за расчетный следует принять подъем меньшей крутизны, но большей протяженности, на котором может быть достигнута равномерная скорость.

Например, для профиля № 4 (см. табл. 2) расчетным подъемом будет элемент, имеющий крутизну $i = +9\%$ и длину $s=8000$ м, а не элемент крутизной $-i = +12\%$ и длиной $s=2500$ м, так как он небольшой длины и перед ним расположены спуски, позволяющие поезду подойти к этому подъему с большой скоростью.

3. Масса состава – один из важнейших показателей работы железнодорожного транспорта. Увеличение массы состава позволяет повысить провозную способность железнодорожных линий, уменьшить расход топлива и электрической энергии, снизить себестоимость перевозок. Поэтому массу грузового состава определяют исходя из полного использования тяговых и мощностных качеств локомотива.

Для выбранного расчетного подъема массу состава в тоннах вычисляют по формуле

$$Q = \frac{F_{кр} - (w_0' + i_p)Pg}{(w_0'' + i_p)g} \quad (1)$$

где $F_{кр}$ — расчетная сила тяги локомотива, Н;

P — расчетная масса локомотива, т;

w_0' — основное удельное сопротивление локомотива, Н/кН;

w_0'' — основное удельное сопротивление состава, Н/кН;

i_p — крутизна расчетного подъема, ‰;

g — ускорение свободного падения; $g=9,81$ м/с².

Величины w_0' и w_0'' определяют для расчетной скорости локомотива v_p .

Расчетная скорость, расчетная сила тяги, масса локомотива и другие расчетные нормативы, приведены в табл. 3.

Основное удельное сопротивление локомотива² Н/кН в зависимости от скорости на режиме тяги (при движении под током) подсчитывают по формуле

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

Основное удельное сопротивление состава с 4-осными вагонами на роликовых подшипниках

$$w_{04}'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_{04}} \quad (3)$$

здесь q_{04} — масса, приходящаяся на одну колесную пару 4-осного вагона, т/ось,

$$q_{04} = \frac{q_4}{4}, \text{ т/ось.}$$

4. Чтобы выполнить проверку массы состава по длине прямо-отправочных путей, необходимо определить число вагонов в составе, длину поезда и сопоставить эту длину с заданной длиной прямо-отправочных путей станций.

Число вагонов в составе грузового поезда:

$$m_4 = \frac{Q}{q_4} \quad (4)$$

Полученные количества вагонов необходимо округлить до целых числовых значений.

Длина 4-осного вагона принимается равной 15 м. Длины локомотивов приведены в табл.3. Общая длина поезда

$$l_n = 15m_4 + l_l + 10 \text{ м,} \quad (5)$$

здесь 10м — запас длины на неточность установки поезда.

² Удельные силы отнесены к 1 кН веса поезда, состава, вагона, локомотива.

Проверка возможности установки поезда на приемо-отправочных путях выполняется по соотношению

$$l_n \leq l_{non}, \quad (6)$$

где l_{non} — длина приемо-отправочных путей, м (см. табл. 1).

Если длина поезда меньше или равна длине приемо-отправочных путей станций заданного участка, то масса состава не корректируется и делается вывод о том, что массу состава уменьшать не надо³.

Если же вычисленная длина поезда получилась больше длины приемо-отправочных путей, указанной в исходных данных, то масса состава уменьшается так, чтобы длина поезда равнялась длине приемо-отправочных путей на отдельных пунктах (при этом снова должны быть определены число вагонов в составе уменьшенной массы и соответствующая длина поезда и выполнено сопоставление последней с заданной длиной приемо-отправочных путей станций).

Таблица 3

Расчетные параметры локомотивов

Серия локомотива		Расчетная сила тяги $F_{\text{ТР}}$, Н	Расчетная скорость v_P , км/ч	Расчетная масса P , т	Конструкционная скорость $v_{\text{констр}}$, км/ч	Сила тяги при трогании с места $F_{\text{ТР}}$, Н	Длина локомотива $l_{\text{Л}}$, м	Число движущихся колесных пар
Тепловозы	2Т116 (две секции)	496 400	24,0	276	100	797 550	36	12
	2М62 (две секции)	400 300	20,0	238	100	610 100	34	12
	3ТЭ10М (три секции)	744 000	23,5	414	100	1020750	51	18
	2ТЭ10М (две секции)	496 400	23,5	276	100	797 550	34	12
Электровозы	ВЛ8 (две секции)	456 150	43,3	184	100	595 450	28	8
	ВЛ10 (две секции)	451 250	46,7	184	100	614 100	33	8
	ВЛ11 (три секции)	676 900	46,7	276	100	921 200	50	12
	ВЛ60 ^к (одна секция)	361 000	43,5	138	100	487 350	21	8
	ВЛ80 ^р (две секции)	502 300	43,5	192	100	677 650	33	8

³ В настоящее время для увеличения провозной способности формируются поезда повышенной массы и длины, превышающей длину приемо-отправочных путей.

Сила тяги локомотивов F_k при различных значениях скорости V локомотивов Н 10³

Скорость		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Серии локомотивов											
Тепловозы	2ТЭ 116 (две секции)	680	585	417	320	241	210	190	160	145	130
	2М62 (две секции)	600	400	280	210	170	150	125	115	100	80
	3ТЭ10М (три секции)	1020	867	605	460	375	305	270	245	210	190
	2ТЭ10М (две секции)	680	570	410	310	245	185	170	160	130	120
	2ТЭ25К (две секции)	690	607	480	360	288	240	208	180	160	144
Электроваз	ВЛ8 (две секции)	510	490	481	473	410	260	160	90	80	70
	ВЛ10 (две секции)	524	502	485	470	456	400	270	200	150	115
	ВЛ11 (три секции)	786	753	727	705	685	580	400	300	235	170
	ВЛ 80 (три секции)	600	560	535	515	500	440	305	225	170	135
	2ЭС5К (две секции)	600	560	535	515	464	325	255	200	170	130

*- значения силы тяги указаны в кН, а нужно перевести их в Н, т.е. умножить на 10³

4. Для построения диаграммы удельных равнодействующих сил предварительно составляют таблицу для трех режимов ведения поезда по прямому горизонтальному пути:

а) для режима тяги $f_k - W_0 - f_1(v)$;

б) для режима холостого хода $W_{ox} = f_2(v)$;

в) для режима торможения:

при служебном регулировочном торможении $w_{ox} + 0,5b_T = f_3(v)$,

при экстренном торможении $w_{ox} + b_T = f_4(v)$.

Таблицу удельных равнодействующих сил, форма которой приведена ниже (табл. 5), заполняют для скоростей от 0 до конструкционной $v_{констр}$ через 10 км/ч.

Значение силы тяги для скоростей от 0 до конструкционной $v_{констр}$ приведены в табл. 3Б

Расчетную кривую тяговой характеристики заданного локомотива необходимо вычертить на миллиметровой бумаге и привести в работе.

Основное удельное сопротивление локомотива при движении под током w_0' определено по формуле (2), основное удельное сопротивление состава w_0'' – по формуле (3). Числовые значения этих величин приведены в табл. 4 одинаковыми для всех вариантов.

Основное удельное сопротивление локомотива на холостом ходу (при движении без тока)⁴ определяют по формуле

$$w_x = 2,4 + 0,01lv + 0,0003v^2, \text{ Н/кН} \quad (7)$$

и его значения для разных скоростей приведены в табл. 4.

Удельные тормозные силы поезда в Н/кН вычисляют по формуле

$$b_T = 1000\varphi_{кр} \mathcal{G}_p, \quad (8)$$

где $\varphi_{кр}$ — расчетный коэффициент трения колодок о колесо:

при чугунных колодках

⁴ При отключении двигателей увеличивается сопротивление вращению якорей за счет остаточного магнетизма полюсов.

$$\varphi_{кр} = 0,27 \frac{v + 100}{5v + 100}; \quad (9a)$$

при композиционных колодках

$$\varphi_{кр} = 0,36 \frac{v + 150}{2v + 150}. \quad (9б)$$

(значения $\varphi_{кр}$ подсчитываются или принимают по табл. 4 для всех скоростей, занесенных в табл. 5);

Таблица 4

**Расчетные значения удельных основных сил сопротивления
движению локомотива w'_0 , w_{ox} , состава w''_0 и коэффициентов
трения $\varphi_{кр}$ для чугунных и композиционных колодок**

v, км/ч	w'_0 , Н/кН	w''_0 , Н/кН	w_x , Н/кН	Чугунные	Композиционные
				$\varphi_{кр}$	$\varphi_{кр}$
0	1,9	0,9	2,4	0,27	0,36
10	2,1	0,95	2,55	0,198	0,34
20	2,2	1,0	2,76	0,162	0,32
30	2,4	1,1	3,05	0,140	0,31
40	2,8	1,25	3,4	0,126	0,297
50	3,15	1,35	3,83	0,116	0,288
60	3,58	1,5	4,32	0,108	0,28
70	4,07	1,7	4,89	0,102	0,273
80	4,62	1,9	5,52	0,097	0,267
90	5,23	2,1	6,23	0,093	0,262
100	5,9	2,3	7,00	0,09	0,257

\mathcal{G}_p — расчетный тормозной коэффициент состава в кН/кН

$$\mathcal{G}_p = \frac{\sum K_p}{Qg} = \frac{K_{p4} n_4}{Qg}, \quad (10)$$

где n_4 — число осей состава: $n_4 = 4/m_4$ (значения m_4 подсчитывались выше в п.4);

K_{p4} — расчетные силы нажатия тормозных колодок на ось 4-осно-го вагона (при чугунных колодках

$$K_{p4} = 68,5 \text{ кН/ось, при композиционных колодках } K_{p4} = 41,5 \text{ кН/ось}).$$

При определении расчетного тормозного коэффициента грузовых поездов на спусках до 20‰ масса и тормозные средства локомотива обычно не учитываются; это упрощает расчеты и не снижает их точность.

Удельная замедляющая сила, действующая на поезд на режиме торможения, Н/кН:

при служебном регулировочном торможении: $w_{ox} + 0,5b_T$;

при экстренном торможении: $w_{ox} + b_T$.

Все результаты вычислений вносят в расчетную табл. 5. Значения w'_0 , w''_0 , w_x , $\varphi_{кр}$ для различных скоростей берутся из табл. 4. По данным этой таблицы следует построить по расчетным точкам диаграмму удельных равнодействующих сил для режима тяги $f_k - w_0 = f_1(v)$, режима холостого хода $w_{ox} = f_2(v)$ и режима служебного торможения $w_{ox} + 0,5 b_T = f_3(v)$ (рис. 5).

Диаграмму удельных равнодействующих сил рекомендуется вычертить на отдельном листе, с тем, чтобы в дальнейшем при построении кривой $v = f(s)$ ее можно было бы перемещать вдоль профиля.

При построении графических зависимостей следует пользоваться масштабами, приведенными в табл. 6.

Пользуясь построенной диаграммой для определенной массы состава и типа локомотива, можно анализировать условия и характер движения поезда на различных элементах профиля пути: определять равномерную скорость движения поезда на элементах различной крутизны, удельную равнодействующую силу на разных элементах в зависимости от скорости и т.д.

Таблица 5

Таблица удельных равнодействующих сил
Локомотив _____ ; масса состава Q=_____ т

Режим тяги	v , км/ч	0	10	20	$V_{констр}$
	F_k , Н										
	ω_0' , Н/кН										
	$W_0' = \omega_0' P g$, Н										
	ω_0'' , Н/кН										
	$W_0'' = \omega_0'' Q g$, Н										
	$W_0 = W_0' + W_0''$, Н										
	$F_k - W_0$, Н										
	$F \frac{F_k - W_0}{(P + Q)g} = f_k - \omega_0$										
Режим холостого хода	ω_x , Н/кН										
	$W_x = \omega_x P g$, Н										
	$W_x + W_0''$, Н										
	$\omega_{ox} = \frac{W_x + W_0''}{(P + Q)g}$, Н/кН										
Режим торможения	$\varphi_{кр}$										
	$b_T = 1000 \varphi_{кр} \cdot \mathcal{G}_p$, Н/кН										
	$w_{ox} + 0,5b_T$, Н/кН										
	$w_{ox} + b_T$, Н/кН										

Диаграмму удельных равнодействующих сил вычерчивают на миллиметровой бумаге, расчетные точки наносят на планшет заточенным карандашом четко, чтобы их положение было заметно.

5. Перед тем, как приступить к определению скорости и времени хода поезда по участку, следует решить **тормозную задачу**,

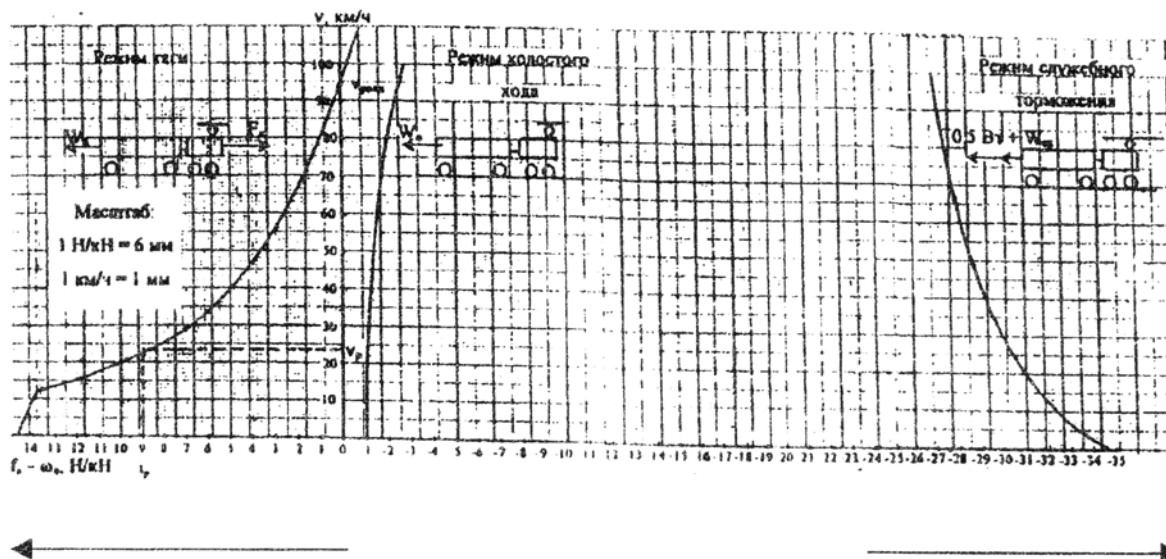


Рис. 5. Диаграмма удельных равнодействующих сил поезда

Таблица 6

Масштабы для графических расчетов

Величины	Для общих расчетов		Для тормозных расчетов	
	1	2	3	4
Удельные силы 1 Н/кН= К, мм	6	10	1	2
Скорость 1 км/ч = m, мм	1	2	1	2
Путь 1 км = y, мм	20	48	120	240
Постоянная времени Δ, мм	30	25	—	—
Время 1 мин = x, мм	10	10	—	—

которая состоит в определении максимально допустимой скорости движения поезда по наиболее крутому спуску участка при заданных тормозных средствах и принятом тормозном пути. Эта задача в работе решается графическим способом.

Полный (расчетный) тормозной путь

$$s_T = s_{II} + s_D, \tag{11}$$

где s_{II} — путь подготовки тормозов к действию, на протяжении которого тормоза поезда условно принимаются недействующими (от момента установки ручки крана машиниста в тормозное положение до включения тормозов поезда);

s_D — действительный тормозной путь, на протяжении которого поезд движется с действующими в полную силу тормозами (конец пути s_{II} совпадает с началом пути s_D).

Равенство (11) позволяет искать допустимую скорость как величину, соответствующую точке пересечения графических зависимостей подготовительного пути s_{II} и действительного тормозного пути s_D от скорости движения поезда на режиме торможения. Поэтому решают тормозную задачу следующим образом.

По данным расчетной таблицы удельных равнодействующих сил строят по точкам графическую зависимость удельных замедляющих сил при экстренном торможении от скорости $w_{ox} + b_T = f(v)$, а рядом, справа, устанавливают в соответствующих масштабах систему координат $v-s$ (рис. 6). Оси скоростей v в обеих системах координат должны быть параллельны, а оси удельных сил $(w_{ox} + b_T)$ и пути s должны лежать на одной пря-

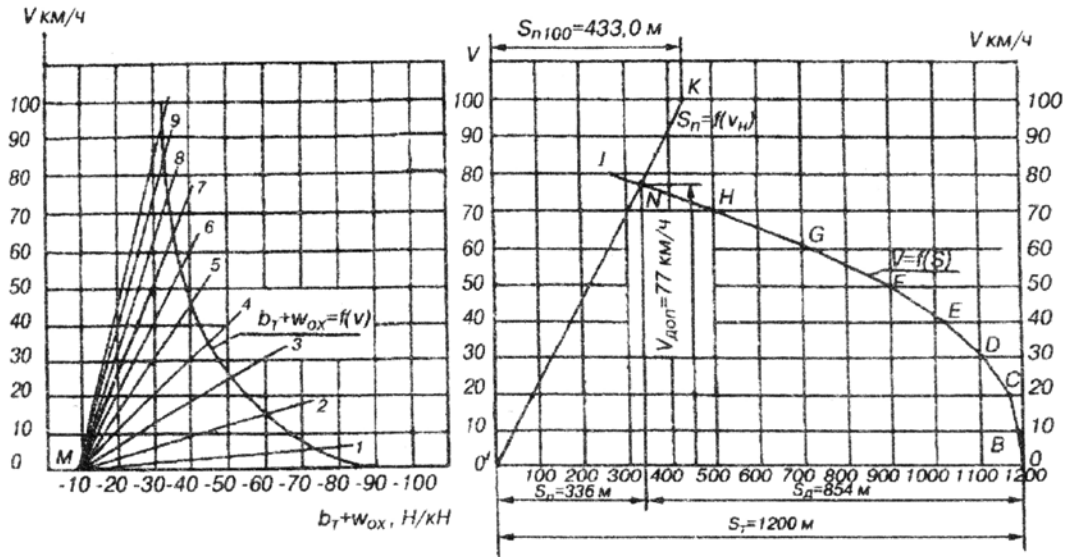


Рис.6. Графическое решение тормозной задачи

мой. Масштабы для графических построений при тормозных расчетах следует выбирать из табл. 6.

Решают тормозную задачу следующим образом. От точки O' вправо на оси s откладывают значение полного тормозного пути S_T , который следует принимать равным: на спусках крутизной до 6‰ включительно – 1000 м, на спусках круче 6‰ – 1200 м.

На кривой $w_{ox} + b_T = f(v)$ отмечают точки, соответствующие средним значениям скоростей выбранного скоростного интервала 10 км/ч (т.е. точки, соответствующие 5, 15, 25, 35 км/ч и т.д.). Через эти точки из точки M на оси $w_{ox} + b_T$, соответствующей крутизне самого крутого спуска участка (полюс построения), проводят лучи 1, 2, 3, 4 и т.д.

Построение кривой $v=f(s)$ начинают из точки O , так как нам известно конечное значение скорости при торможении, равное нулю. Из этой точки проводят (с помощью линейки и угольника) перпендикуляр к лучу 1 до конца первого интервала, т.е. в пределах от 0 до 10 км/ч (отрезок OB). Из точки B проводят перпендикуляр к лучу 2 до конца второго скоростного интервала от 10 до 20 км/ч (отрезок BC); из точки C проводят перпендикуляр к лучу 3 и т.д. Начало каждого последующего отрезка совпадает с концом предыдущего. В результате получают ломаную линию, которая представляет собой выраженную графически зависимость скорости заторможенного поезда от пройденного пути (или, иначе говоря, зависимость пути, пройденного поездом на режиме торможения, от скорости движения).

На тот же график следует нанести зависимость подготовительного тормозного пути от скорости:

$$s_{II} = 0,278v_H t_{II}, \text{ м}, \quad (12)$$

где v_H — скорость в начале торможения, км/ч;

t_{II} — время подготовки тормозов к действию, с; это время для автотормозов грузового типа равно:

$$t_{II} = 7 - \frac{10i_c}{b_T} \text{ — для составов длиной 200 осей и менее;}$$

$$t_{II} = 10 - \frac{15i_c}{b_T} \text{ — для составов длиной от 200 до 300 осей;}$$

$$t_{II} = 12 - \frac{18i_c}{b_T} \text{ — для составов длиной более 300 осей.}$$

Здесь i_c — крутизна уклона, для которого решается тормозная задача (для спусков со знаком минус)⁵;

b_T — удельная тормозная сила при начальной скорости торможения v_H .

Число осей в составе $n = 4m_4$ (см. п. 3).

⁵ Следовательно, при $n < 200$ осей $t_{II} > 7$ с, при $n > 200$ осей $t_{II} > 10$ с, при $n > 300$ осей $t_{II} > 12$ с.

Построение зависимости подготовительного тормозного пути S_{II} от скорости производим по двум точкам, для чего подсчитываем значения S_{II} при $v_H = 0$ (в этом случае $S_{II} = 0$) и при $v_H = v_{констр}$

Считают, что заторможенный поезд движется слева направо.

Графическую зависимость между S_{II} и v_H строят в тех же выбранных масштабах. Значение S_{II} , вычисленное для скорости, равной конструкционной скорости локомотива ($v_{констр}$ приведена в табл. 3), откладывают в масштабе (см. табл. 6) вправо от вертикальной оси $O'v$ на «уровне» той скорости, для которой подсчитывалось значение S_{II} (т.е. против скорости, равной $v_{констр}$). Получают точку K ; соединяют ее с точкой O' (так как при $v_H = 0$ имеем $S_{II} = 0$). Точка пересечения ломаной линии $OBCDEFGHIP$ с линией $O'K$ – точка N – определяет максимально допустимую скорость движения поезда на наиболее крутом спуске участка при данном расчетном тормозном пути S_T . Полученные после решения тормозной задачи результаты следует указать в работе ($v_{дон} = \dots$ км/ч; $S_{II} = \dots$ м; $S_D = \dots$ м).

. Для других уклонов, величины которых меньше того, по которому мы проводим решение тормозной задачи, предельно допустимые скорости движения находим, используя номограммы определения тормозных путей, приведенные в приложении и на которых проводятся графики зависимости тормозного

пути от скорости, величины тормозного коэффициента поезда $\zeta_{\hat{e}}$ и типа колодок. При этом находим по графикам допустимые скорости для трёх значений уклона: для поезда с чугунными колодками для $\hat{i} = -4/00; -8/00; -12/00$, композиционных колодок для $\hat{i} = -6/00; -10/00; -16/00$. И строим график зависимости допустимой скорости $V_{\hat{d}}$ от уклона \hat{i}_c которым пользуемся для определения предельно допустимой скорости для уклона на котором производится построение кривой скорости

Графическое решение тормозных задач и теоретическое обоснование графических способов решения подробно рассмотрены в [3; 10].

Результаты решения тормозной задачи необходимо учитывать при построении кривой скорости движения поезда $v = f(s)$ с тем, чтобы нигде не превысить скорости, допустимой по тормозам, т.е. чтобы поезд мог быть всегда остановлен на расстоянии, не превышающем длины полного тормозного пути.

6. Аналитическое интегрирование уравнения движения поезда.

Уравнение движения поезда определяет зависимость между ускорением и равнодействующей приложенных к поезду сил:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \xi(f_k - \omega_k - \epsilon_T) \text{ км/ч}^2, \quad (13)$$

где $\xi = 120$ — коэффициент уравнения движения поезда с учетом поправки на силы инерции вращающихся масс;

$\hat{f}_k - \omega_k - \epsilon_T$ — удельная сила, действующая на поезд, Н/кН.

Интегрирование уравнения движения поезда позволяет найти зависимость между скоростью V , временем t и пройденным расстоянием S .

В инженерной практике уравнение движения поезда обычно интегрируют, пользуясь методом конечных приращений скорости $\Delta v = v_{n+1} - v_n$. В пределах этих приращений величина равнодействующей силы принимается постоянной и соответствующей средней скорости V_{cp} интервалов. Следовательно, кривая удельных равнодействующих сил заменяется ступенчатой кривой [2, рис.47].

$$t = \frac{V_k - V_n}{2(f_k - \omega_k - \epsilon_T)_{cp}}, \text{ мин}, \quad (14)$$

$$s = \frac{4,17(V_k - V_n)}{(f_k - \omega_k - \epsilon_T)_{cp}}, \text{ м}, \quad (15)$$

где v_n — начальная скорость выбранного интервала скоростей, км/ч;
 v_k — конечная скорость интервала, км/ч;

$(\dot{\Gamma}_k - \Omega_k - B_T)_{cp}$ — численное значение равнодействующей удельной силы, приложенной к поезду при средней скорости интервала (берется по диаграмме удельных равнодействующих сил).

Под равнодействующей удельных сил $(\dot{\Gamma}_k - \Omega_k - B_T)_{cp}$ следует понимать разность удельных сил, действующих на поезда.

Эта разность в режиме тяги при движении по ровному горизонтальному пути представляет собой $(\dot{\Gamma}_k - \Omega_0)_{cp}$ при средней скорости интервала изменения скорости. Ее находят по постоянной диаграмме удельных сил для средних скоростей интервалов. При движении по подъему в режиме тяги она будет иметь вид $(\dot{\Gamma}_k - \Omega_k - i)_{cp}$ (i — удельное сопротивление от подъема, численно равно числу тысячных подъема).

При движении по спуску, наоборот, к разности $(\dot{\Gamma}_k - \Omega_0)_{cp}$ нужно прибавить удельную силу, создаваемую при спуске за счет составляющей веса поезда т.е. $(\dot{\Gamma}_k - \Omega_0 + i_c)_{cp}$.

В режиме холостого хода (выбега) сила тяги отсутствует и удельные равнодействующие силы будут иметь вид: $(-\Omega_{ох} \pm i)_{cp}$, а в режиме торможения: $(-\Omega_{ох} \pm i - B_T)_{cp}$.

Студенту следует учитывать эти изменения (элементов профиля и режимов движения), при расчете проходимого пути и времени в интервалах скоростей.

Для примера приведен расчет времени хода поезда по участку, состоящему из четырех элементов:
 площадка длиной 1000 м;
 спуск (3‰) длиной 800 м;
 подъем (9‰) длиной 3500 м ;
 спуск (12‰) длиной 5000 м.

Равнодействующие удельные силы для режимов тяги, холостого хода и торможения берем из диаграммы удельных равнодействующих сил (рис.3) при средних скоростях интервалов.

Наибольшая допустимая скорость движения 80 км/ч.

Определим время хода поезда по участку от момента трогания до прохода подъемом последнего четвертого элемента участка.

Первый элемент участка

$$s_1 = 1000 \text{ м}; \quad i_1 = 0.$$

В интервале $v = 0 \text{ ч } 10 \text{ км/ч}$ по диаграмме удельных равнодействующих сил (рис.3) в режиме тяги при средней скорости 5 км/ч

$$(f_k - \Omega_0)_{cp} = 14,2 \text{ Н/кН};$$

$$t_1 = \frac{10 - 0}{2 \cdot 14,25} = 0,35 \text{ мин},$$

$$s_1 = \frac{4,17(10^2 - 0^2)}{14,25} \approx 30 \text{ м},$$

$$v = 10 \text{ ч } 20 \text{ км/ч}; \quad (\dot{\Gamma}_k - \Omega_0)_{cp} = 12 \text{ Н/кН};$$

$$t_2 = \frac{20 - 10}{2 \cdot 12} = 0,4 \text{ мин},$$

$$s_2 = \frac{4,17(20^2 - 10^2)}{12} = 104 \text{ м},$$

$$V = 20 \text{ ч } 30 \text{ км/ч}; \quad (\dot{\Gamma}_k - \omega_o)_{\text{cp}} = 8 \text{ Н/кН}$$

$$t_3 = \frac{30 - 20}{2 \cdot 8} = 0,62 \text{ мин},$$

$$S_3 = \frac{4,17(30^2 - 20^2)}{8} = 260 \text{ м},$$

$$V = 30 \text{ ч } 40 \text{ км/ч}; \quad (\dot{\Gamma}_k - \omega_o)_{\text{cp}} = 5,8 \text{ Н/кН}$$

$$t_4 = \frac{40 - 30}{2 \cdot 5,8} = 0,86 \text{ мин},$$

$$S_4 = \frac{4,17(40^2 - 30^2)}{5,8} = 503 \text{ м},$$

Пройденный путь до достижения поездом скорости 40 км/ч:

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 30 + 104 + 260 + 503 = 897 \text{ м}.$$

До перехода на спуск осталось $1000 - 897 = 103$ м. Методом подбора найдем повышение скорости, при котором поезд проходит оставшиеся 103 м:

$$v = 40 \text{ ч } 41,5 \text{ км/ч}; \quad (\dot{\Gamma}_k - \omega_o)_{\text{cp}} = 4,9 \text{ Н/кН}$$

$$t_5 = \frac{41,5 - 40}{2 \cdot 4,9} = 0,2 \text{ мин},$$

$$S_5 = \frac{4,17(41,5^2 - 40^2)}{4,9} = 103 \text{ м},$$

Второй элемент участка:

$$S_H = 800 \text{ м}; \quad i_H = -3 \text{ ‰}.$$

В интервале от 41,5 до 50 км/ч:

$$(\dot{\Gamma}_k - \omega_o + \dot{i}_c)_{\text{cp}} = 4 + 3 = 7 \text{ Н/кН};$$

$$t_6 = \frac{50 - 41,5}{2 \cdot 7} = 0,6 \text{ мин},$$

$$S_6 = \frac{4,17(50^2 - 41,5^2)}{7} = 463 \text{ м},$$

Оставшиеся 337 м поезд проследует при повышении скорости с 50 до 55 км/ч (опять подбором).

$$(\dot{\Gamma}_k - \omega_0 + \dot{i}_c)_{\text{ср}} = 3,4 + 3 = 6,4 \text{ Н/кН};$$

$$t_7 = \frac{55 - 50}{2 \cdot 6,4} = 0,4 \text{ мин},$$

$$S_7 = \frac{4,17(55^2 - 50^2)}{0,4} = 340 \text{ м},$$

Третий элемент участка:

$$S_3 = 3500 \text{ м}; \quad i_3 = 9 \text{ ‰}.$$

На этом элементе удельная равнодействующая сила в режиме тяги отрицательна, т.е. скорость будет снижаться. Для средней скорости 50 км/ч в интервале от 55 до 45 км/ч:

$$(\dot{\Gamma}_k - \omega_0 - \dot{i}_n)_{\text{ср}} = 3,8 - 9 = -5,2 \text{ Н/кН};$$

$$t_8 = \frac{45 - 55}{-2 \cdot 5,2} = 0,96 \text{ мин},$$

$$S_8 = \frac{4,17(45^2 - 55^2)}{-5,2} = 802 \text{ м},$$

$$V = 45 \text{ ч } 35 \text{ км/ч}; \quad (\dot{\Gamma}_k - \omega_0 - \dot{i}_n)_{\text{ср}} = 5,0 - 9 = -4,0 \text{ Н/кН};$$

$$t_9 = \frac{35 - 45}{2 \cdot (-4,0)} = 1,25 \text{ мин},$$

$$S_9 = \frac{4,17(35^2 - 45^2)}{-4,0} = 1250 \text{ м},$$

Следующий интервал скорости берем от 35 км/ч до расчетной скорости $V_p = 23,5 \text{ км/ч}$:

$$(\dot{\Gamma}_k - \omega_0 - \dot{i}_n)_{\text{ср}} = 6,7 - 9 = -2,3 \text{ Н/кН};$$

$$t_{10} = \frac{23,5 - 35}{2 \cdot (-2,3)} = 2,5 \text{ мин},$$

$$S_{10} = \frac{4,17(23,5^2 - 35^2)}{-2,3} = 1220 \text{ м},$$

Итого пройденное расстояние по подъему крутизной 9 ‰ = 3272 м.

При расчетной скорости $V_p = 23,5 \text{ км/ч}$ равнодействующая удельных сил

$$(\dot{\Gamma}_k - \omega_0 - \dot{i}_n) = 9 - 9 = 0.$$

Поезд движется равномерно до конца 9 ‰-го подъема:

$$S_{11} = 3500 - 3272 = 228 \text{ м};$$

$$t_{11} = \frac{s_{11}}{v_p} = \frac{0,228 \cdot 60}{23,5} = 0,58 \text{ мин.}$$

Четвертый элемент участка:

$$S_4 = 5000 \text{ м}, \quad i_4 = -12 \text{ ‰}.$$

Ускоряющая сила увеличивается, скорость растет.

$$V = 23,5 \text{ ч } 30 \text{ км/ч}; \quad (\dot{\Gamma}_k - \omega_0 + \dot{i}_c) = 7,5 + 12 = 19,5 \text{ Н/кН};$$

$$t_{12} = \frac{30 - 23,5}{2 \cdot 19,5} = 0,16 \text{ мин.}$$

$$S_{12} = \frac{4,17(30^2 - 23,5^2)}{19,5} = 118 \text{ м.}$$

$$V = 30 \text{ ч } 40 \text{ км/ч}; \quad (\dot{\Gamma}_k - \omega_0 + \dot{i}_c) = 5,8 + 12 = 17,8 \text{ Н/кН};$$

$$t_{13} = \frac{40 - 30}{2 \cdot 17,8} = 0,28 \text{ мин.}$$

$$S_{13} = \frac{4,17(40^2 - 30^2)}{17,8} = 164 \text{ м.}$$

$$V = 40 \text{ ч } 50 \text{ км/ч}; \quad (\dot{\Gamma}_k - \omega_0 + \dot{i}_c) = 4,1 + 12 = 16,1 \text{ Н/кН};$$

$$t_{14} = \frac{50 - 40}{2 \cdot 16,1} = 0,3 \text{ мин.}$$

$$S_{14} = \frac{4,17(50^2 - 40^2)}{16,1} = 233 \text{ м.}$$

$$V = 50 \text{ ч } 60 \text{ км/ч}; \quad (\dot{\Gamma}_k - \omega_0 + \dot{i}_c) = 2,8 + 12 = 14,8 \text{ Н/кН};$$

$$t_{15} = \frac{60 - 50}{2 \cdot 14,8} = 0,34 \text{ мин.}$$

$$S_{15} = \frac{4,17(60^2 - 50^2)}{14,8} = 253 \text{ м,}$$

$$V = 60 \text{ ч } 70 \text{ км/ч; } (\dot{\Gamma}_k - \omega_o + \dot{i}_c) = 2,1 + 12 = 14,1 \text{ Н/кН;}$$

$$t_{16} = \frac{70 - 60}{2 \cdot 14,1} = 0,35 \text{ мин,}$$

$$S_{16} = \frac{4,17(70^2 - 60^2)}{14,1} = 384 \text{ м,}$$

Допустимая скорость по тормозам на крутом спуске $V_{\text{доп}} = 77 \text{ км/ч}$ (см. рис. 4). Выключаем тяговые двигатели, достигнув скорости 70 км/ч, и продолжаем двигаться на холостом ходу до скорости 77 км/ч:

$$V = 70 \text{ ч } 77 \text{ км/ч; } (-\omega_{\text{ох}} + \dot{i}_c) = -1,9 + 12 = 10,1 \text{ Н/кН;}$$

$$t_{17} = \frac{77 - 70}{2 \cdot 10,1} = 0,346 \text{ мин,}$$

$$S_{17} = \frac{4,17(77^2 - 70^2)}{10,1} = 420 \text{ м.}$$

Скорость достигла максимально допустимой – 77 км/ч. Необходимо произвести служебное торможение, снизив скорость до 60 км/ч. Используем кривую служебного торможения диаграммы удельных равнодействующих сил (рис.3).

$$V = 77 \text{ ч } 70 \text{ км/ч; } (-\omega_{\text{ох}} - 0,5V_T + \dot{i}_c) = -27,5 + 12 = -15,5 \text{ Н/кН;}$$

$$t_{18} = \frac{70 - 77}{2 \cdot (-15,5)} = 0,22 \text{ мин,}$$

$$S_{18} = \frac{4,17(70^2 - 77^2)}{-15,5} = 277 \text{ м,}$$

$$V = 70 \text{ ч } 60 \text{ км/ч; } (-\omega_{\text{ох}} - 0,5V_T + \dot{i}_c) = -28 + 12 = -16 \text{ Н/кН;}$$

$$t_{19} = \frac{60 - 70}{2 \cdot (-16)} = 0,3 \text{ мин,}$$

$$S_{19} = \frac{4,17(60^2 - 70^2)}{(-16)} = 339 \text{ м.}$$

Отпустив тормоза, двигаемся на холостом ходу:

$$V = 60 \text{ ч } 70 \text{ км/ч; } (\omega_{\text{ох}} + \dot{i}_c) = -1,6 + 12 = 10,4 \text{ Н/кН;}$$

$$t_{20} = \frac{70 - 60}{2 \cdot 10,4} = 0,48 \text{ мин,}$$

$$S_{20} = \frac{4,17(70^2 - 60^2)}{10,4} = 677 \text{ м,}$$

$$V = 70 \text{ ч } 77 \text{ км/ч; } (-\omega_{\text{ох}} + \dot{i}_c) = -1,9 + 12 = 10,1 \text{ Н/кН;}$$

$$t_{21} = \frac{77 - 70}{2 \cdot 10,1} = 0,346 \text{ мин,}$$

$$S_{21} = \frac{4,17(77^2 - 70^2)}{10,1} = 420 \text{ м,}$$

Суммируем пройденный путь по спуску: $S = 3285 \text{ м}$.
Оставшийся путь по спуску ($5000 - 3285 = 1715 \text{ м}$) пройдем со скоростью 77 км/ч , поддерживаемой регулировочным торможением.

$$S_{22} = 1715 \text{ м;}$$

$$t_{22} = \frac{1715 - 60}{77} = 1,3 \text{ мин.}$$

Результаты расчетов заносим в табл. 7.

Техническая скорость поезда на заданном участке

$$V_T = \frac{s}{t} \cdot 60 = \frac{10,3 \cdot 60}{13,1} = 47 \text{ км/ч.}$$

Таблица 7

Сводная таблица результатов расчётов

Параметры элемента	Скоростной интервал	V_1 , км/ч	V_2 , км/ч	$(f_k \pm \omega_k - \epsilon_T)_{cp}$, Н/кН	Δt_i , мин	$t = \sum \Delta t$, мин	ΔS_i , м	$S = \sum \Delta S$, м	Режим работы локомотивов	
I $S_1=1000$ м $i_1=0$	1	0	10	14,2	0,35	2,43	30	1000	Режим тяги	
	2	10	20	12	0,4		104		То же	
	3	20	30	8	0,62		260		-//-	
	4	30	40	5,8	0,86		503		-//-	
	5	40	41,5	4,9	0,2		103		-//-	
II $S_2=800$ м $i_2= -3\text{‰}$	6	41,5	50	4+3=7	0,6	1,0	463	805	Режим тяги	
	7	50	55	3,4+3=6,4	0,4		342		То же	
III $S_2=3500$ м $i_2= 9\text{‰}$	8	55	45	3,8-9=-5,2	0,96	5,29	802	3500	Режим тяги	
	9	45	35	5,0-9=-4,0	1,25		1250		То же	
	10	35	23,5	6,7-9=-2,3	2,5		1220		-//-	
	11	23,5	23,5	9-9=0	0,58		228		-//-	
IV $S_2=5000$ м $i_2= -12\text{‰}$	12	23,5	30	7,5+12=19,5	0,16	4,4	118	1622	Режим тяги	
	13	30	40	5,8+12=17,8	0,28		164		То же	
	14	40	50	4,1+12=16,1	0,3		233		-//-	
	15	50	60	2,8+12=14,8	0,34		253		-//-	
	16	60	70	2,1+12=14,1	0,35		384		-//-	
	17	70	77	1,3+12=13,3	0,375		470		-//-	
	18	77	70	-27,5+12=15,5	0,32		403		Служ.	
	19	70	60	-28+12=16	0,3		339		тормож	
	20	60	70	-1,6+12=10,4	0,48		677		3041	Режим х.х.
	21	70	77	-1,9+12=10,1	0,34+1,3		1715		5000	-//-

7. Расчет времени хода поезда способом установившихся скоростей.

Расчеты времени хода аналитическим интегрированием уравнения движения поезда или графическим способом очень трудоемки.

В случае необходимости проведения срочных расчетов, когда не требуется их большая точность, используют способ установившихся скоростей, который предполагает следующие допущения:

- скорость движения в пределах элемента спрямленного профиля пути постоянна и равна установившейся;
- при переходе с одного элемента профиля на другой скорость движения поезда меняется мгновенно.

Установившаяся скорость определяется по диаграмме удельных равнодействующих сил. В случае затяжных уклонов большой величины, на которых невозможно установление значения установившейся скорости указанным образом за установившуюся скорость движения назначают скорости, полученные при решении тормозной задачи.

Время движения по каждому элементу профиля пути при этом определится по формуле:

$$t_i = \frac{60 \cdot S_i}{V_{\text{равн } i}}, \text{ мин} \quad (16)$$

Для определения времени хода по перегону суммируют значения t_i каждого элемента профиля, добавляют время на разгон поезда – $t_{\text{раз}}$ и замедления поезда – $t_{\text{зам}}$. Обычно в расчетах принимается: $t_{\text{раз}}=2$ мин, $t_{\text{зам}}=1$ мин. Все расчеты сводятся в таблицу 10.

Таблица 10

Расчёт времени хода поезда приближённым методом

№ элемента профиля пути	Длина элемента, S_i	Уклон, $i_i \text{ ‰}$	Установившееся скорость, $V_{i \text{ равн}}$, км/ч	Время прохождения элемента t_i , мин	Поправка на разгон $t_{\text{раз}}$, и замедление $t_{\text{зам}}$, мин
1	S_1	i_1	$V_{\text{равн } 1}$	t_1	$t_{\text{раз}}=2$
2	S_2	i_2	$V_{\text{равн } 2}$	t_2	
...		
N	S_n	i_n	$V_{\text{равн } n}$	t_n	$t_{\text{зам}}=1$
				$\sum t_i$	$t_{\text{раз}} + t_{\text{зам}}$

По данным таблицы 10 рассчитываем время хода поезда по участку:

$$t_{\text{х}}^{\text{приб}} = \sum t_i + t_{\text{раз}} + t_{\text{зам}}, \text{ мин} \quad (17)$$

Далее рассчитываем техническую скорость поезда по участку:

$$V_{\text{T}}^{\text{приб}} = \frac{\sum S_i}{t_{\text{х}}^{\text{приб}}} \cdot 60, \text{ км/ч} \quad (18)$$

Расчитанную приближенным способом величину скорости сравниваем с полученным нами ранее точным значением этого параметра и оцениваем процент погрешности приближенного способа:

$$\delta = \frac{V_{\text{T}} - V_{\text{T}}^{\text{приб}}}{V_{\text{T}}} \cdot 100, \% \quad (19)$$

В заключении этого раздела делается вывод о возможности использования приближенных методов расчета времени хода и технической скорости поезда

Для концентрирования внимания при подготовке к дифференцированному зачету в конце работы приведены контрольные вопросы, от ответа на которые зависит оценка

Контрольные вопросы

Локомотивы

1. В чём заключаются принципиальные отличия локомотивов: паровозов, тепловозов, газотурбовозов, электровозов?
2. Что называется тяговой характеристикой локомотива?
3. Какие ограничения накладываются на силу тяги локомотива?
4. Что подразумевается под продолжительным (расчётным) режимом работы локомотива?
5. Как связаны между собой основные параметры: мощность, сила тяги, скорость?
6. В чём заключаются преимущества электровоза перед тепловозом при вождении поездов?
7. Какие преобразования электрической энергии происходят при передаче её от электростанции к электрическим двигателям электровоза?
8. Как определяется КПД электрической тяги?
9. В чём заключаются преимущества электрификации участка на переменном токе?
10. Какое напряжение в контактной сети при электрификации на постоянном токе, какое – на переменном?
11. Какие фазы преобразования энергии происходят в тепловозе?
12. Как определяется КПД тепловоза?
13. Какие двигатели внутреннего сгорания устанавливаются на тепловозах?
14. В чём отличие четырёхтактного дизеля от двухтактного? Какие дизели экономичнее?
15. Какие существуют способы передачи энергии от дизеля к колёсным парам локомотива?
16. Как происходит преобразование электрической энергии в механическую в электродвигателе? От чего зависит получаемый вращающий момент на валу двигателя?
17. Как передаётся вращающий момент от вала двигателя к колёсным парам локомотива?
18. Как образуется сила тяги локомотива?

Тяговые расчёты

1. Что называют расчётным подъёмом?
2. Что понимают под расчётной силой тяги $F_{кр}$?
3. Какие пять факторов определяют основное сопротивление движению поезда?
4. Что понимают под дополнительным сопротивлением?
5. Что понимают под удельным сопротивлением?
6. Чему равно удельное сопротивление движению поезда от подъёма?
7. Как определяется удельное сопротивление движению поезда от кривой?
8. Какое условие положено в основу определения массы состава?
9. В каких режимах поезд движется ускоренно, равномерно, замедленно?
10. Чем отличается техническая скорость от участковой?

Рекомендуемая литература

ОСНОВНАЯ

1. Кононов, В.Е. Скалин А.В. Ибрагимов М.А. Локомотивы. Общий курс: учеб. пособ. /.- М.: РГОТУПС, 2008
2. Кононов, В.Е. Тепловозы. Механическое оборудование. Устройство и ремонт/ В.Е. Кононов, Н.М. Хуторянский, А.В. Скалин.- М.: Желдориздат, 2005
3. В.Д. Кузьмич, В.С. Руднев, С.Я. Френкель. Теория локомотивной тяги: Учебник для вузов ж. д. транспорта /Под. ред. В. Д. Кузьмича – М.: Издат. «Маршрут», 2005. – 448 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

4. Осипов, С.И. Основы тяги поездов: учеб. для техникумов ж.д. транспорта/ С.И. Осипов, С.С. Осипов.- М.: УМК МПС, 2000
5. Сидоров, Н.И. Как устроен и работает электровоз/ Н.И. Сидоров, Н.Н. Сидоров.- 5-е изд., перераб. и доп.- М.: Транспорт, 1988
6. Кононов, В.Е. Справочник машиниста тепловоза/ В.Е. Кононов, А.В. Скалин, В.Д. Шаров.- М.: Желдориздат, 2004
7. Правила тяговых расчётов для поездной работы.- М.: Транспорт, 1985
8. Дробинский, В.А. Как устроен и работает тепловоз/ В.А. Дробинский, П.М. Егунов.- М.: Транспорт, 1980

Приложение

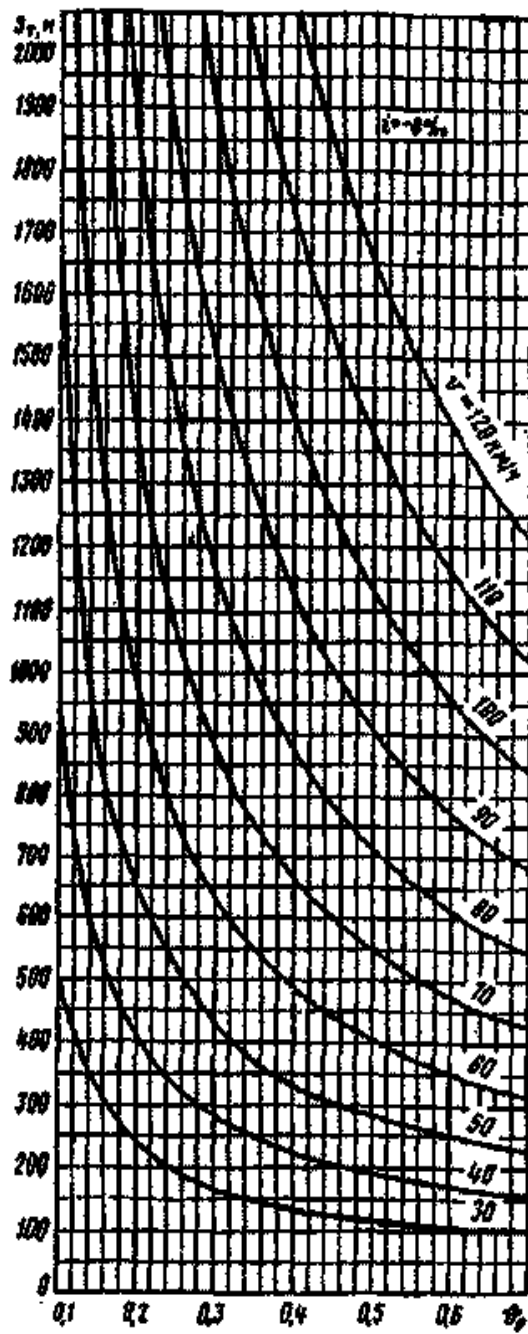
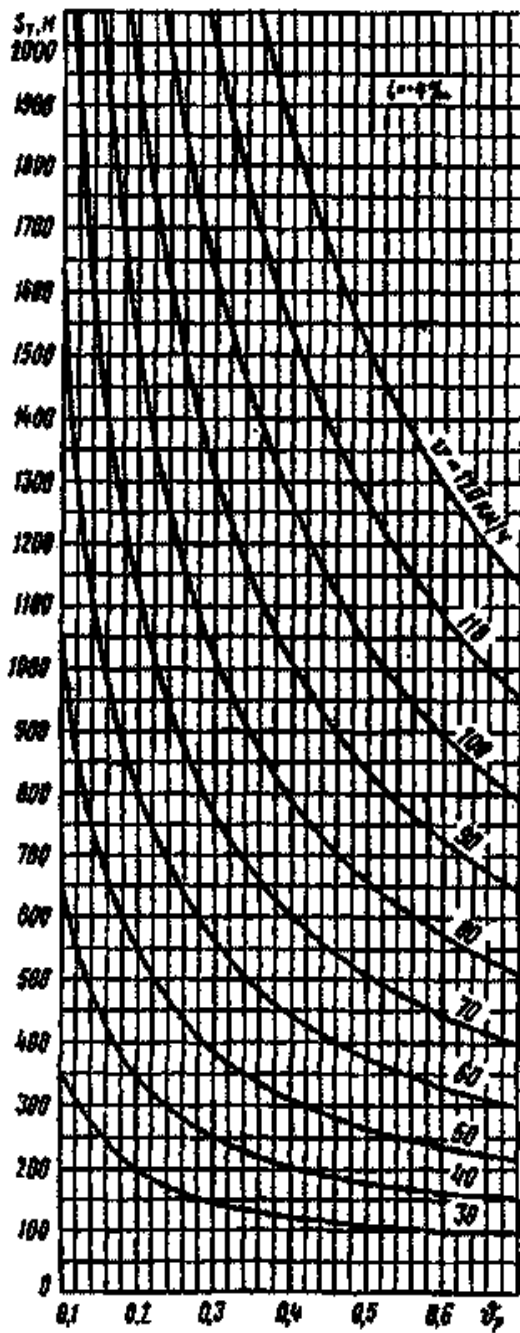


Рис.П1. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -4 \text{ ‰}$

Рис.П2. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -8 \text{ ‰}$

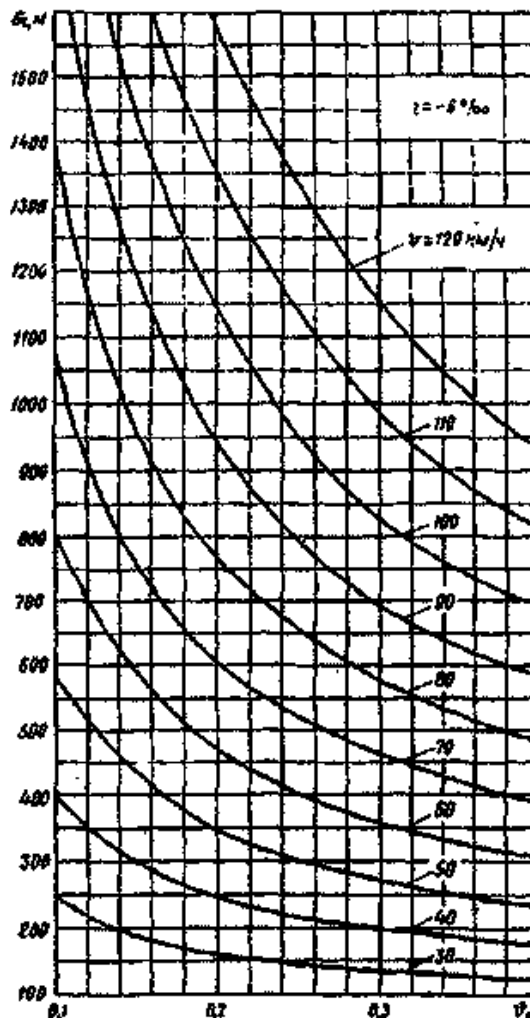
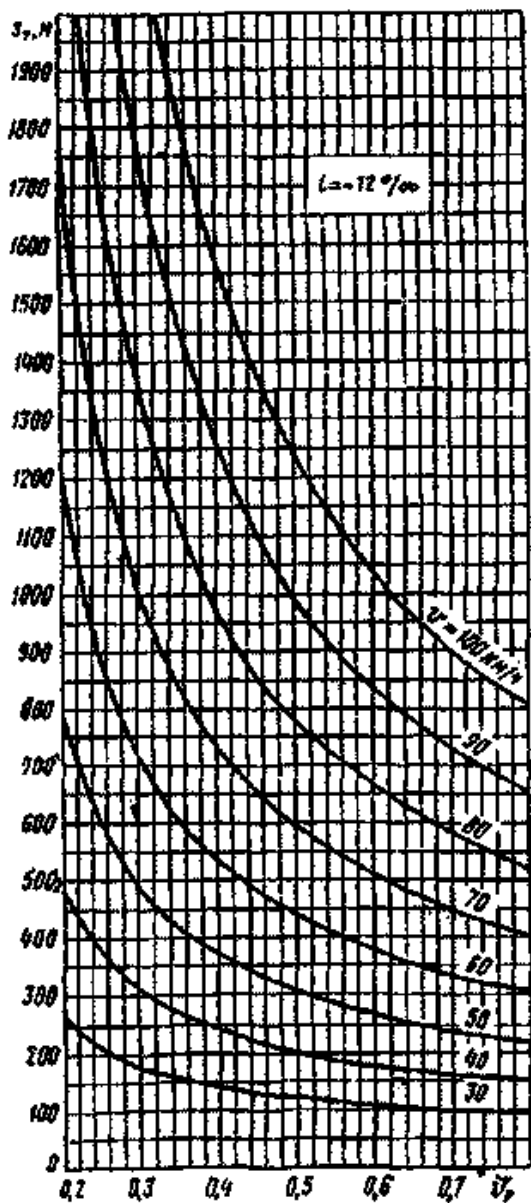


Рис.П3. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -12 \text{ ‰}$ (колодки чугунные стандартные)

Рис.П4. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -6 \text{ ‰}$ (колодки композиционные)

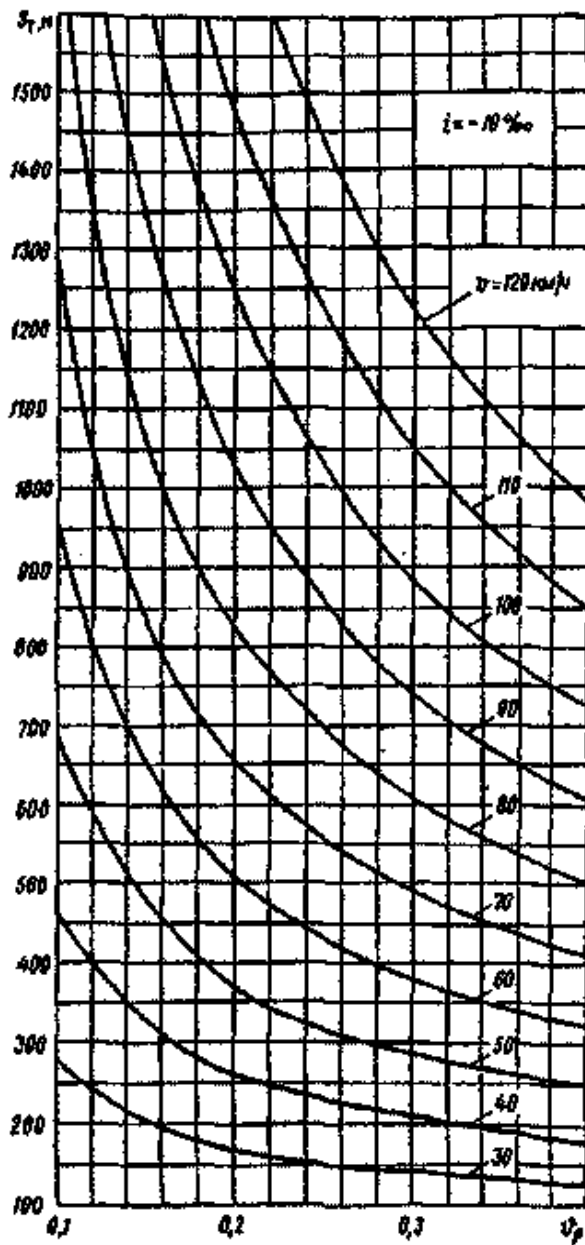


Рис.П5. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -10 \text{ ‰}$ (колодки композиционные)

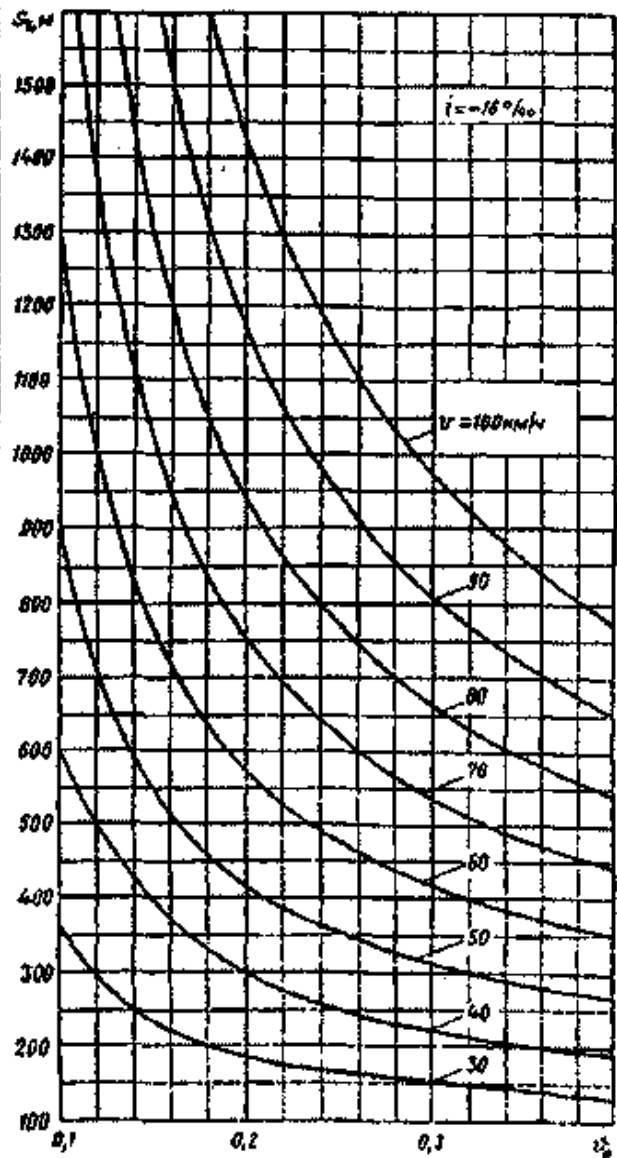


Рис.П6. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -16 \text{ ‰}$ (колодки композиционные)