

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Дальневосточный государственный университет путей сообщения»
(ДВГУПС)
Институт дополнительного образования

УТВЕРЖДАЮ
Директор института
дополнительного образования

_____ А.К. Пляскин
«__» _____ 20__ г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению курсовой работы
по дисциплине «Теория локомотивной тяги»

для дополнительной профессиональной программы
(программы профессиональной переподготовки)
«Локомотивы»
(по направлению подготовки специалистов
23.05.03 «Подвижной состав железных дорог»)

Составитель: ст. преподаватель
каф. «Транспорт железных дорог»
Макаров И.А.

Хабаровск
2022



ВВЕДЕНИЕ

Тяговые расчеты – важная составная часть науки о тяге поездов. Теория тяговых расчетов излагается в курсах тяги поездов, а методы расчетов и относящиеся к ним нормы определяются Правилами тяговых расчетов для поездной работы.

Тяговые расчеты позволяют решить широкий круг практических вопросов эффективной эксплуатации железных дорог. С их помощью определяется оптимальная масса состава для выбранной серии локомотива, рассчитывается скорость движения поезда, время хода по участку, расход электрической энергии или дизельного топлива. На основании расчетов составляют график движения поездов, определяют пропускную и провозную способность дорог. На действующих линиях теория тяги позволяет найти рациональные режимы вождения поездов на различных участках и наиболее экономичные условия эксплуатации локомотивов.

Методические указания предназначены для выполнения курсовой работы и содержит нормативные материалы действующих Правил тяговых расчетов. Теоретические сведения сопровождаются необходимыми пояснениями, практическими расчетами и примерами. Рассмотрены примеры тяговых расчетов для тепловозной тяги.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Курсовую работу необходимо выполнять последовательно в соответствии с заданием.

Слушатель должен:

- 1) выбрать исходные данные (в соответствии с учебным шифром);
- 2) произвести анализ профиля пути и установить величину расчетного подъема;
- 3) определить массу состава по выбранному расчетному подъему;
- 4) проверить полученную массу состава на прохождение встречающихся подъемов большей крутизны, чем расчетный, с учетом использования кинетической энергии;
- 5) проверить возможность трогания поезда с места при остановках на раздельных пунктах (станциях);
- 6) выполнить проверку массы состава по длине приемо-отправочных путей раздельных пунктов заданного участка;
- 7) спрямить профиль пути;
- 8) построить диаграмму удельных равнодействующих сил;
- 9) определить максимально допустимую скорость движения на участке при заданных тормозных средствах поезда;



10) рассчитать время хода и средние скорости поезда по участку способом равновесных скоростей;

11) определить полный и удельный расходы топливно-энергетических ресурсов.

Курсовую работу рекомендуется выполнять последовательно по одному разделу, приступая к следующему разделу лишь после решения и тщательной проверки предыдущего (ошибки, допущенные в одном из разделов, могут привести к изменению всех дальнейших расчетов и построений). При выполнении каждого раздела рекомендуется сначала ознакомиться с теоретическими сведениями, приведенными в методических указаниях по этому разделу, затем ознакомиться с примером расчетов для данного раздела (при их наличии), и после этого приступить к выполнению данного раздела непосредственно для своего варианта задания.

Пояснительная записка к курсовой работе должна быть оформлена с применением текстовых редакторов (*MS Word, Google Docs, IWork Pages, LibreOffice* или др.) и соответствовать ГОСТ Р 2.106-2019 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Текстовые документы». Графические материалы к пояснительной записке должны быть оформлены с применением графических векторных редакторов (*MS Visio, AutoCAD, SolidWorks* или др.).

Работа по объему и содержанию должна соответствовать требованиям, указанным выше. Все расчеты должны сопровождаться теоретическими выкладками, формулами и пояснениями к ним. К графическому материалу курсовой работы относятся: тяговая характеристика, диаграмма удельных равнодействующих сил, графическое решение тормозной задачи.



1 ВЫБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Исходные данные для выполнения курсовой работы представлены в приложениях А–В.

По таблице А.1 по последней цифре шифра выбираются основные характеристики поезда (типы локомотива, вагонов, груза и их тормозные средства). В таблице А.2 выбираются основные технические характеристики локомотива, необходимые для расчетов.

Из приложения В для тепловозов выбирается тяговая характеристика (зависимость силы тяги локомотива от скорости движения), которая оформляется в электронном виде с использованием векторных графических редакторов (*MS Visio*, *AutoCAD* или др.) и добавляется в текст пояснительной записки.

В приложении Б по предпоследней цифре шифра выбирается профиль железнодорожного участка, по которому следует провести заданный поезд. Если последняя цифра шифра 0, 2, 4, 6 или 8, то рассматривается движение от станции А до станции В и профиль принимается без изменений. Если же последняя цифра шифра 1, 3, 5, 7 или 9, то в курсовом проекте следует рассматривать движение поезда от станции В до станции А, т.е. изменяется последовательность элементов (последний элемент, на котором располагается станция В, станет первым, предпоследний элемент – вторым, и т.д.) и знак уклона на противоположный.

Все исходные данные следует внимательно выбрать и оформить в курсовой работе по образцу, приведенному в примерах расчетов. Курсовые работы, выполненные слушателем не по своему варианту, возвращаются на переработку.



2 АНАЛИЗ ПРОФИЛЯ ПУТИ И ВЫБОР РАСЧЁТНОГО ПОДЪЁМА

Профиль участка, выбранный в исходных данных, необходимо проанализировать с целью выявления наиболее сложных для движения поезда элементов пути (расчетного и скоростного подъемов).

Расчетный подъем – это наиболее трудный подъем, на котором в процессе движения поезда устанавливается постоянная (равновесная) скорость. Определенная по расчетному подъему масса состава является максимальной массой, которую локомотив данной серии может перемещать по заданному участку.

Скоростным (инерционным) называют подъем наибольшей крутизны на тяговом участке и сравнительно небольшой протяженности, преодоление которого становится возможным благодаря использованию кинетической энергии поезда, накопленной перед входом на этот подъем.

Величина расчётного подъёма i_p выбирается в зависимости от типа профиля для каждого перегона и на этой основе – для всего заданного участка. Возможны несколько основных вариантов профиля участка:

а) Участок, на котором наиболее крутой подъем является одновременно и наиболее протяженным. Именно таким является участок профиля № k , приведенный в качестве примера в таблице 2.1.

Пример

Проанализируем профиль № k , приведенный в таблице 2.1. При движении от станции C до станции D подъем с уклоном $i = 10\%$ является одновременно и самым протяженным ($s = 5500$ м). Следовательно, 6-й элемент профиля данного участка является расчетным подъемом.

Таблица 2.1 – Профиль № k – от ст. C к ст. D (профиль № z – от ст. D к ст. C)

Номер элемента	Крутизна уклона, %	Длина элемента, м	Радиус и длина кривых, м	Станция участка
1	0	2000		C
2	-2	1500	$R_{кр} = 1500, s_{кр} = 600$	
3	-9	6000		
4	-11	1200	$R_{кр} = 700, s_{кр} = 500$	
5	0	600		
6	+10	5500	$R_{кр} = 1500, s_{кр} = 400$	
7	+6	1800		
8	+4	600		
9	0	1500		D

б) Участок, на котором помимо крутого подъема с большой протяженностью имеется более крутой подъем (их может быть несколько), протяженность которого невелика. В данном случае возможны несколько вариантов:

1) за расчетный принимается менее крутой подъем большой протяженности, а подъем с максимальной крутизной принимается за скоростной. Предполагается, что инерционный подъем будет пройден с использованием кинетической энергии, накопленной поездом на предыдущих элементах. В этом случае



скоростному подъему должны предшествовать несложные для прохождения элементы – горизонтальные участки или спуски;

2) за расчетный принимается наиболее крутой подъем небольшой протяженности. В этом случае подход к данному подъему таков, что однозначно можно сказать о невозможности накопления кинетической энергии поездом и использование ее на преодоление данного подъема;

3) однозначно невозможно определить расчетный подъем. В этом случае, как правило, за расчетный подъем принимается менее крутой подъем большой протяженности, а все остальные подъемы, крутизна которых больше крутизны расчетного подъема, принимаются за скоростные. Затем осуществляется проверка возможности прохождения скоростных подъемов поездом.

Пример

Для первого случая рассмотрим профиль № z, приведенный в таблице 2.1. При движении от станции Д до станции С (знаки уклонов меняются на противоположные) имеется два крутых подъема. Длина элемента с крутизной уклона +11 ‰ невелика ($s = 1200$ м), а подход к нему благоприятен для накопления кинетической энергии (достижения максимально допустимой скорости). Так как ему предшествуют спуски и горизонтальный участок пути, то данный элемент следует принять за скоростной, а подъем с крутизной уклона +9 ‰ и длиной 6000 м следует принять за расчетный.

Для второго случая можно рассмотреть профиль участка № h, представленный в таблице 2.2. При движении от станции С до станции Д поезд сначала движется по элементу участка с уклоном +9 ‰ и длиной 5500 м, а затем по подъему +11 ‰ длиной 1800 м. Логично предположить, что при движении по первому затяжному подъему скорость, которую разовьет поезд на предшествующих «легких» элементах, будет снижаться и при подходе к 7-му элементу профиля значительно снизится. То есть накопить кинетическую энергию и использовать ее для преодоления данного элемента профиля пути не представляется возможным. В этом случае за расчетный подъем следует принять элемент участка с уклоном +11 ‰ и длиной 1800 м.

Таблица 2.2 – Профиль № h – от ст. С к ст. Д (профиль № r – от ст. Д к ст. С)

Номер элемента	Крутизна уклона, ‰	Длина элемента, м	Радиус и длина кривых, м	Станция участка
1	0	2000		С
2	-7	7500		
3	-8	1700		
4	-5	1800		
5	0	1600	$R_{кр} = 1500, s_{кр} = 600$	
6	+9	5500		
7	+11	1800	$R_{кр} = 700, s_{кр} = 500$	
8	+2	600		
9	0	1500		Д

Для третьего случая рассмотрим профиль № r, приведенный в таблице 2.2. При движении от станции Д до станции С имеется подъем небольшой протяженности и с максимальной крутизной уклона ($i = 8$ ‰, $s = 1700$ м), и менее крутой подъем большой протяженности ($i = 7$ ‰, $s = 7500$ м). Максимальному подъему предшествует подъем с крутизной уклона +5 ‰, на котором скорость поезда будет снижаться. Если принять за расчетный подъем с крутизной уклона +7 ‰, а за скоростной – элемент с уклоном +8 ‰, то велика вероятность, что при движении по скоростному подъему скорость поезда опустится ниже расчетной (а это недопустимо). Следовательно, в данном случае однозначно определить расчетный подъем невозможно без проверки возможности прохождения скоростного подъема за счет накопленной кинетической энергии.



В том случае, если на расчетном подъеме располагается кривая, то сопротивление, действующее на поезд в кривой, заменяется фиктивным подъемом $i_{кр}$, и крутизна расчетного подъема в этом случае определяется по формуле

$$i_p = i + i_{кр}, \quad (2.1)$$

где i – действительный уклон расчетного подъема, ‰; $i_{кр}$ – фиктивный подъем от действия кривой, ‰.

В случае, если кривая располагается на скоростном подъеме, то результирующий уклон скоростного подъема также учитывает фиктивный подъем $i_{кр}$, т.е. будет определяться по формуле

$$i_{ск} = i + i_{кр}, \quad (2.2)$$

где i – действительный уклон скоростного подъема, ‰.

В тяговых расчетах вводится допущение, что поезд является материальной точкой. Тогда фиктивный подъем определяется по формуле (предполагается, что поезд полностью вмещается в кривой)

$$i_{кр} = \frac{700 \cdot s_{кр}}{s \cdot R_{кр}}, \quad (2.3)$$

где $s_{кр}$ – длина кривой, м; $R_{кр}$ – радиус кривой, м; s – длина подъема, м.

Величины уклонов в промилле (‰) следует округлять до двух знаков после запятой.

Пример

Определим величину расчетного подъема для профиля участка № k , приведенного в таблице 2.1. Расчетным подъемом является 6-й элемент профиля с действительным уклоном $i = 10$ ‰, длиной 5500 м. Так как на данном элементе профиля располагается кривая радиусом $R_{кр} = 1500$ м и длиной $s_{кр} = 400$ м, то необходимо учесть влияние кривой на движение поезда.

Следовательно, по формулам (2.1) и (2.3) результирующий расчетный подъем (приведенный подъем) с учетом округления

$$i_{кр} = \frac{700 \cdot 400}{5500 \cdot 1500} = 0,03 \text{ ‰}; \quad i_p = 10 + 0,03 = 10,03 \text{ ‰}.$$

Пример

Определим величину скоростного подъема для профиля участка № z , приведенного в таблице 2.1. Скоростным подъемом является 6-й элемент профиля (при движении от ст. Д к ст. С) с действительным уклоном $i = 11$ ‰, длиной 1200 м. Так как на данном элементе профиля располагается кривая радиусом $R_{кр} = 700$ м и длиной $s_{кр} = 500$ м, то необходимо учесть влияние кривой на движение поезда.

Приведенный скоростной подъем следует определить по формулам (2.2) и (2.3):

$$i_{кр} = \frac{700 \cdot 500}{1200 \cdot 700} = 0,42 \text{ ‰}; \quad i_{ск} = 11 + 0,42 = 11,42 \text{ ‰}.$$



3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ СОСТАВА ПО РАСЧЕТНОМУ ПОДЪЕМУ

Масса состава – один из важнейших показателей работы железнодорожного транспорта. Увеличение массы составов позволяет повысить провозную способность железнодорожных линий, уменьшить расход топлива и электрической энергии, снизить себестоимость перевозок.

Однако увеличение массы состава возможно до определенного предела и ограничивается мощностью и техническими характеристиками локомотива. В нашем случае *ограничивающим фактором является расчетная скорость локомотива*, ниже которой не должна опуститься скорость поезда при движении на заданном участке.

Наименьшую допустимую паспортными характеристиками локомотива скорость движения по подъему (в режиме полной мощности) называют *расчетной скоростью*, а реализуемую при этом локомотивом силу тяги – *расчетной силой тяги*. **Продолжительное движение поезда в режиме тяги со скоростью ниже расчетной может привести к перегреву тяговых двигателей и выходу их из строя.**

Под *равновесной скоростью* понимается скорость, при которой сумма всех сил, действующих на поезд (равнодействующая сила) равна нулю. **Скорость поезда всегда стремится к равновесной**, т.к. если равнодействующая сила не равна нулю, то поезд будет двигаться с ускорением (исходя из второго закона Ньютона) до тех пор, пока силы не уравновесятся.

К примеру, при движении в режиме тяги скорость растет. С ростом скорости увеличивается сопротивление движению. В какой-то момент сила сопротивления движению станет равна силе тяги, ускорение будет равно нулю и скорость не будет изменяться, т.е. поезд достиг равновесной скорости. Скорость будет неизменной до тех пор, пока не изменятся условия движения.

Для обеспечения движения поезда со скоростью не ниже расчетной, *необходимо, чтобы на самом трудном элементе профиля пути (расчетном подъеме) равновесная скорость была равна расчетной*. В этом случае, если скорость на таком элементе достигнет равновесной, а подъем в силу своей протяженности еще не закончился, скорость до конца элемента останется неизменной и равной расчетной.

Масса состава m_c определяется из условия равенства расчетной касательной силы тяги локомотива силам сопротивления движению поезда при движении с расчетной скоростью на расчетном подъеме:

$$m_c = \frac{F_{кр} - (w'_0 + i_p g)m_{лg}}{(w''_0 + i_p)g}, \quad (3.1)$$

где $F_{кр}$ – расчётное значение силы тяги локомотива, Н; $m_{л}$ – масса локомотива, т; w'_0 – основное удельное сопротивление движению локомотива, кгс/т; w''_0 – основное удельное сопротивление движению состава, кгс/т; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с².



Основное удельное сопротивление движению локомотива в режиме тяги определяется в соответствии с выражениями:

а) в режиме тяги

$$w'_0 = a'_0 + b'_0 v + c'_0 v^2; \quad (3.2)$$

б) на холостом ходу (в режиме выбега)

$$w'_x = a'_x + b'_x v + c'_x v^2, \quad (3.3)$$

где a' , b' , c' – расчетные коэффициенты; v – скорость движения, км/ч.

Значения расчетных коэффициентов принимаются в зависимости от типа локомотива и характеристик пути. Расчетные коэффициенты представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Расчетные коэффициенты

Характеристика пути	Тип подвижного состава	a_0	b_0	c_0	a_x	b_x	c_x
Звеньевой путь	Локомотив	1,9	0,01	0,0003	2,4	0,011	0,00035
	4-осный вагон	3	0,1	0,0025	1	0,044	0,00024
	6-осный вагон	8	0,1	0,0025	1	0,044	0,00024
	8-осный вагон	6	0,038	0,0021	1	0,044	0,00024
Бесстыковой путь	Локомотив	1,9	0,008	0,00025	2,4	0,09	0,00035
	4-осный вагон	3	0,09	0,002	1	0,042	0,00016
	6-осный вагон	8	0,08	0,002	1	0,042	0,00016
	8-осный вагон	6	0,026	0,0017	1	0,042	0,00016

Основное удельное сопротивление движению состава, сформированного из различных типов вагонов, определяется по формуле:

а) в режиме тяги

$$w''_0 = w''_{04} \alpha_4 + w''_{06} \alpha_6 + w''_{08} \alpha_8, \quad (3.4)$$

б) в режиме выбега

$$w''_x = w''_{x4} \alpha_4 + w''_{x6} \alpha_6 + w''_{x8} \alpha_8, \quad (3.5)$$

где α_n – доля однотипных груженых вагонов в составе (n – осьность вагона); w''_{0n} – основное удельное сопротивление вагонов с n -ной осьностью, кгс/т.



Основное удельное сопротивление движению однотипных вагонов с n -ной осью определяется по формуле:

а) в режиме тяги

$$w''_{on} = 0,7 + \frac{a''_o + b''_o v + c''_o v^2}{m_{bo}}; \quad (3.6)$$

а) в режиме выбега

$$w''_{xn} = 0,7 + \frac{a''_x + b''_x v + c''_x v^2}{m_{bo}}, \quad (3.7)$$

где a'' , b'' , c'' – расчетные коэффициенты (см. таблицу 3.1); m_{bo} – осевая нагрузка, т.

Осевая нагрузка определяется отношением массы брутто вагона к его осности

$$m_{bo} = \frac{m_B}{n}. \quad (3.8)$$

где m_B – масса вагона, т.

Согласно Правилам тяговых расчетов удельные силы следует округлять до одного знака после запятой, массу грузового состава – до ближайшего меньшего значения, кратного 50 т.

Тип пути (звеньевой или бесстыковой), для которого следует производить расчеты, принимается в соответствии с заданием (Приложение А).



4 ПРОВЕРКА МАССЫ СОСТАВА НА ПРОХОЖДЕНИЕ СКОРОСТНОГО ПОДЪЕМА

Проверка массы состава на прохождение скоростного подъема, заключается в расчете скорости поезда при движении по подъемам, крутизна которых превышает крутизну расчетного подъема.

Расчет изменения скорости можно выполнять графически, аналитически либо путем численного интегрирования уравнения движения поезда.

Если скорость движения в конце проверяемого подъема оказывается равной или большей, чем расчетная скорость для принятого локомотива, можно считать массу состава принятой. Если же скорость в конце проверяемого элемента меньше расчетной, массу состава следует уменьшить и повторить расчет.

Аналитическая проверка выполняется в соответствии с условием

$$s_{\text{пр}} \leq \Sigma \Delta s_i, \quad (4.1)$$

где $s_{\text{пр}}$ – длина проверяемого инерционного подъема, м; $\Sigma \Delta s_i$ – путь, пройденный поездом с использованием кинетической энергии при изменении скорости от максимально допустимого значения до расчетной, м.

Как было сказано выше, скоростной подъем преодолевается с использованием кинетической энергии, накопленной на предшествующих данному подъему элементах профиля, т.е. поезд развивает максимально допустимую скорость, с которой входит на скоростной подъем. При движении по нему скорость будет стремиться к равновесной. Поскольку масса состава определялась для расчетного подъема, крутизна которого меньше крутизны инерционного, то данная равновесная скорость будет ниже расчетной. Так как движение со скоростью ниже расчетной недопустимо, то поезд должен преодолеть скоростной подъем, прежде чем его скорость опустится ниже расчетной.

В условии (4.1) определяется путь, который может преодолеть поезд при изменении скорости с максимальной до расчетной, и если этот путь больше длины проверяемого скоростного подъема, то проверка массы состава выполняется, а если меньше – не выполняется, и следует массу состава уменьшать. Как правило, в таких случаях масса состава определяется методом подбора, а именно, определенную по расчетному подъему массу состава уменьшают на 50 т и производят проверку еще раз, и так до тех пор, пока проверка не будет выполнена.

Путь, который преодолевает поезд при движении по скоростному подъему, определяется из выражения

$$\Sigma \Delta s_i = \sum \frac{500(v_{\text{ки}}^2 - v_{\text{ни}}^2)}{120r_{\text{спi}}}, \quad (4.2)$$



где v_{ni} – начальная скорость рассматриваемого интервала, км/ч; v_{ki} – конечная скорость рассматриваемого интервала, км/ч; r_{cpi} – удельная замедляющая сила, для средней на рассматриваемом интервале изменения скорости, кгс/т.

Как правило, интервал изменения скорости не должен превышать 10 км/ч, т.к. при увеличении данного интервала увеличивается погрешность расчетов. Начальную скорость следует принимать не более 80% от конструкционной скорости $v_{констр}$ (максимальная скорость локомотива по тяговой характеристике, приложение В).

Удельная замедляющая сила в пределах выбранного интервала скоростей

$$r_{cp} = f_k - w_o - i_{ск} \cdot g, \quad (4.3)$$

где f_k – удельная касательная сила тяги, кгс/т; w_o – основное удельное сопротивление движению поезда, кгс/т; $i_{ск}$ – величина скоростного уклона, ‰.

Для режима тяги

$$w_o = \frac{(m_{л}w'_o + m_{с}w''_o)g}{(m_{л} + m_{с})g}. \quad (4.4)$$

Для определения основного удельного сопротивления необходимо предварительно рассчитать основное удельное сопротивление локомотива w'_o и состава w''_o по формулам (3.2), (3.4), (3.6). При этом для расчета принимается среднее значение скорости на интервале v_{cp} , которое определяется по формуле

$$v_{cp} = \frac{v_H + v_K}{2}. \quad (4.5)$$

Удельная касательная сила тяги

$$f_k = \frac{F_k}{(m_{л} + m_{с})g}. \quad (4.6)$$

Для определения удельной касательной силы тяги используется сила тяги, соответствующая среднему значению скорости на интервале v_{cp} . Тяговую характеристику предварительно следует построить по табличным значениям (приложение В) в электронном виде с использованием векторных графических редакторов.

После расчета пути Δs_i для выбранного интервала скоростей, следует повторить расчет для нового интервала с очередным уменьшением скорости на 10 км/ч.



После проведения расчетов анализируются результаты, и при выполнении условия (4.1) и конечной скорости не ниже расчетной делается вывод о выполнении проверки, в ином случае проверка не выполняется и требуется корректировка массы состава (уменьшение на 50 т) с последующей проверкой на возможность преодоления скоростного подъема.



5 ПРОВЕРКА МАССЫ СОСТАВА НА ТРОГАНИЕ С МЕСТА

При трогании поезда ускоряющая сила должна быть больше нуля. Только в этом случае ускорение движения поезда положительно, а следовательно, возможно увеличение скорости, т.е. трогание поезда.

Масса состава, определенная ранее по расчетному или инерционному подъему, проверяется по формуле

$$m_{\text{тр}} = \frac{F_{\text{ктр}}}{(w_{\text{тр}} + i_{\text{max}})g} - m_{\text{л}}, \quad (5.1)$$

где $F_{\text{ктр}}$ – касательная сила тяги локомотива при трогании поезда с места, Н (определяется по тяговой характеристике при нулевой скорости, Приложение В); $w_{\text{тр}}$ – удельное сопротивление движению состава при трогании с места, кгс/т; $i_{\text{тр}}$ – уклон элемента профиля пути, на котором происходит трогание поезда, ‰.

Выражение (5.1) допускает, что удельные сопротивления троганию локомотива и состава поезда равны. Данное допущение вносит незначительную погрешность в расчеты.

Если определенная по формуле (5.1) масса $m_{\text{тр}}$ больше массы, рассчитанной по расчетному или инерционному подъему, то проверка массы состава на трогание выполняется. Если же $m_{\text{тр}} < m_{\text{с}}$, то необходимо принять $m_{\text{тр}}$ в качестве расчетной массы (на практике целесообразно в этом случае ввести разгонное толкание в пределах станции либо отменить остановку поезда на этом отдельном пункте).

По условию самостоятельной работы предполагается, что на любом из трех отдельных пунктов участка поезд может остановиться с дальнейшим троганием с места для продолжения движения. Т.е. проверку массы состава на трогание следует производить для наибольшего подъема, расположенного на одном из этих отдельных пунктов.

Сопротивление троганию поезда можно определить как средневзвешенное, рассчитав предварительно сопротивление троганию отдельных групп вагонов

$$w_{\text{тр}} = w_{\text{тр}4}\alpha_4 + w_{\text{тр}6}\alpha_6 + w_{\text{тр}8}\alpha_8, \quad (5.2)$$

где α_n – доля однотипных груженых вагонов в составе (n – осьность вагона); $w_{\text{тр}n}$ – удельное сопротивление троганию однотипных вагонов, кгс/т.

Удельное сопротивление троганию вагонов

$$w_{\text{тр}4} = \frac{280}{(m_{\text{в}04} + 7)g}, \quad (5.3)$$



$$w_{\text{тр6}} = \frac{280}{(m_{\text{в06}} + 7)g}, \quad (5.4)$$

$$w_{\text{тр8}} = \frac{280}{(m_{\text{в08}} + 7)g}. \quad (5.5)$$

Если в голове поезда используют два и более локомотива, то во избежание разрыва поезда при трогании максимальную силу на автосцепке ограничивают величиной 930 кН. При этом касательная сила тяги локомотива должна соответствовать выражению

$$F_{\text{ктр}} \leq 930000 + m_{\text{л}} \cdot g \cdot (w_{\text{тр}} + i_{\text{тр}}). \quad (5.6)$$

По результатам расчетов следует сделать вывод о выполнении проверки массы состава на трогание с места.



6 ПРОВЕРКА МАССЫ СОСТАВА ПО ДЛИНЕ ПРИЕМО-ОТПРАВОЧНЫХ ПУТЕЙ

Масса состава, рассчитанная по наиболее трудному элементу профиля пути, прошедшая проверки на прохождение более крутого, чем расчетный, подъема и на трогание поезда, может оказаться, тем не менее, слишком большой для того, чтобы поезд уместился в пределах приемо-отправочных путей.

Для проверки следует определить длину поезда

$$l_{\text{п}} = l_{\text{л}} + l_{\text{с}} + 10, \quad (6.1)$$

где $l_{\text{л}}$ – длина локомотива, м; $l_{\text{с}}$ – длина состава, м; 10 – допуск на неточность установки поезда.

Для определения длины состава необходимо определить число вагонов. Число однотипных вагонов можно рассчитать, если известна, например, доля массы данной группы вагонов в общей массе состава:

$$n_i = \alpha_i \frac{m_{\text{с}}}{m_{\text{в}i}}, \quad (6.2)$$

где q_i – средняя масса вагона (брутто) для i -й группы вагонов, т.

Полученное по формуле (6.2) количество вагонов необходимо округлить до целого числа в большую сторону. Определив количество вагонов в каждой группе, необходимо задаться типом и длиной вагонов. Некоторые типы вагонов, их длина и предельная масса брутто приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Характеристики вагонов

Тип вагона	Длина, м	Предельная масса брутто, т
Вагон пассажирский купейный	25	65
Вагон пассажирский некупейный	25	60
Крытый вагон для перевозки тарно-штучных грузов	14	85
Крытый четырехосный вагон-хопер для зерна	15	100
Крытый четырехосный вагон-хопер для цемента	12	86
Полувагон четырехосный универсальный	14	100
Четырехосная цистерна для нефтепродуктов	12	100
Четырехосная цистерна для тяжелых порошкообразных грузов	12	94
Думпкар шестиосный для перевозки руды	15	167
Полувагон шестиосный цельнометаллический	15	127



Окончание табл. 6.1

Тип вагона	Длина, м	Предельная масса брутто, т
Цистерна шестиосная для нефти и бензина	16	126
Восьмиосная двухсекционная цистерна для нефтепродуктов	24	197
Думпкар восьмиосный для перевозки горной массы	19	220
Платформа восьмиосная для крупнотоннажных грузов	26	100
Цистерна восьмиосная для бензина и светлых нефтепродуктов	21	170

Выбор типа вагонов должен соответствовать типу перевозимых грузов, указанных в задании (Приложение А). Кроме того, масса вагона брутто, указанная в задании, не должна превышать предельную массу брутто выбранного типа вагона.

Если вычисленная по формуле (6.1) длина поезда оказывается больше длины приемо-отправочных путей, то массу состава следует уменьшить. При этом осуществляется корректировка количества вагонов по формуле (6.2).



7 СПРЯМЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ ПУТИ НА ЗАДАННОМ УЧАСТКЕ

Для повышения точности расчетов, учета влияния кривых в плане пути и упрощения расчетов и построений (за счет уменьшения числа элементов профиля) служит спрямление профиля пути.

Спряжением называют замену нескольких действительных элементов профиля пути одним условным.

При тяговых расчетах поезд обычно рассматривают как материальную точку, расположенную в центре тяжести поезда. То есть при расчете скорости движения дополнительное сопротивление от крутизны уклона профиля принимается именно для того элемента профиля, на котором располагается центр поезда. На самом деле, часть поезда может располагаться на другом элементе (как показано на рисунке 7.1), крутизна которого отличается, и, следовательно, реально действующее дополнительное сопротивление будет отличаться от принятого в расчетах.

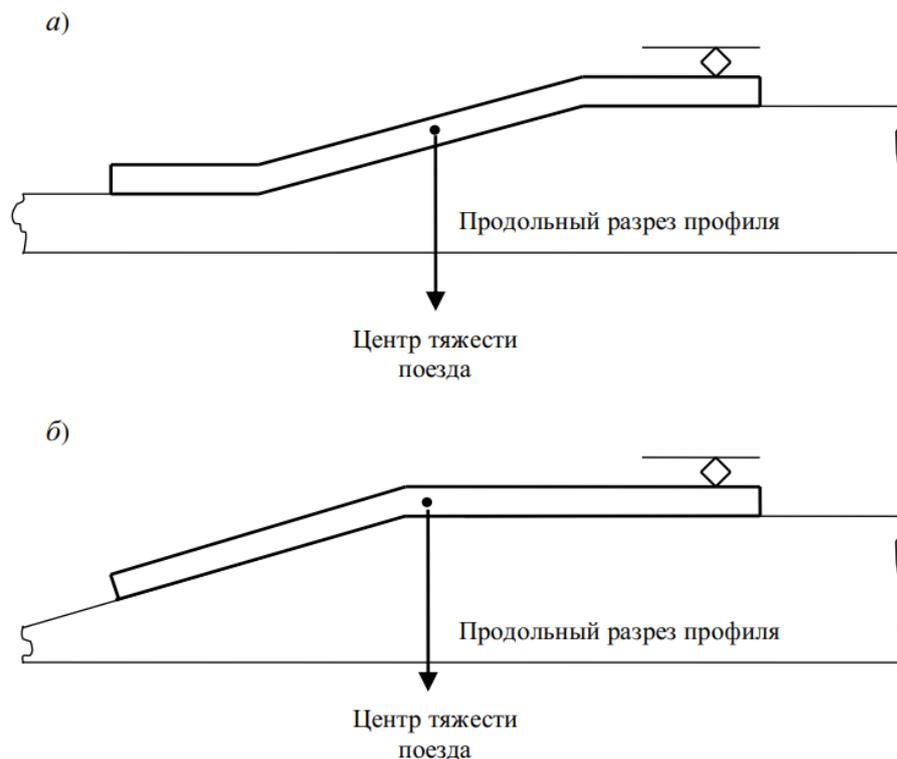


Рисунок 7.1 – Пример расположения поезда и его центра на элементах профиля пути при движении: а – вариант расположения поезда одновременно на трех элементах профиля пути; б – вариант расположения поезда одновременно на двух элементах профиля пути

При переходе поезда с одного элемента на другой изменение дополнительного сопротивления от уклона в расчетах принимается мгновенным. На самом деле поезд имеет определенную длину, и при движении поезда с одного элемента профиля на другой его сопротивление от уклона изменяется постепенно по мере движения.



В примере, приведенном на рисунке 7.1, рассмотрены случаи, когда расчет движения производится для элемента профиля с одной крутизной уклона (для центра поезда), в то время как часть поезда движется по элементу с другой крутизной.

Так в первом варианте примера расчет будет производиться для случая движения всего поезда по подъему, хотя в действительности часть поезда движется по горизонтальным участкам пути, а во втором варианте примера центр поезда располагается на горизонтальном участке, для которого и будут производиться все расчеты. Чем короче длина элементов профиля, тем чаще поезд будет располагаться одновременно на нескольких из них.

Целесообразно в расчетах заменить несколько мало отличающихся крутизной коротких элементов одним, длина которого равна сумме длин этих элементов, а крутизна определена таким образом, чтобы механическая работа сил сопротивления на исходном профиле пути незначительно отличалась от работы сил сопротивления на спрямленном. В таком случае в действительности поезд будет двигаться одновременно по нескольким коротким элементам профиля, а в расчетах будет рассматриваться его движение по одному длинному участку.

Длина спрямленного элемента участка

$$s_c = \sum s_i, \quad (7.1)$$

где s_i – длина i -го элемента спрямляемого участка, м; n – количество спрямляемых элементов.

Уклон спрямленного участка

$$i'_c = \frac{\sum i_i s_i}{s_c}, \quad (7.2)$$

где i_i – уклон i -го спрямляемого участка, ‰.

При проведении расчетов по спрямленному профилю погрешность вычислений будет тем больше, чем больше различаются между собой отдельные элементы. Поэтому спрямлять можно только элементы с уклонами одного знака (подъемы – с подъемами, а спуски – со спусками; горизонтальные участки можно спрямлять и с подъемами, и со спусками), мало отличающиеся по величине.

Для количественной оценки возможности спрямления профиля вводят условие

$$s_i \leq \frac{2000}{|i'_c - i_i|}. \quad (7.3)$$



Это условие должно выполняться для всех элементов, входящих в группу спрямляемых. Оно означает, что разность значений механической работы по преодолению удельного сопротивления от уклона спрямленного участка и уклона элемента исходного профиля на длине этого элемента не должна быть больше 2000 Дж на 1 кН веса поезда. Если хотя бы один из элементов исходного профиля не удовлетворяет условию (7.3), то необходимо пересмотреть состав спрямляемых элементов.

Не спрямляют с другими элементами:

- элементы, на которых расположены остановочные пункты;
- расчетный подъем;
- скоростной подъем.

Если на элементе профиля (независимо от того, спрямляется он с другими или нет) в плане расположена кривая, то ее необходимо заменить фиктивным подъемом. Крутизну фиктивного подъема принимают такой, чтобы создаваемое им дополнительное сопротивление движению было равно дополнительному сопротивлению от заменяемой кривой.

Фиктивный подъем от действия кривой определяется по одной из формул:

- если кривая задана радиусом $R_{кр}$ и длиной кривой $s_{кр}$,

$$i_c'' = \frac{700 \cdot s_{кр}}{s_c \cdot R_{кр}}; \quad (7.4)$$

- если кривая задана центральным углом α ,

$$i_c'' = \frac{12,2 \cdot \alpha}{s_c}. \quad (7.5)$$

Если на спрямляемых элементах расположено несколько кривых, то их фиктивные подъемы суммируются.

Следует помнить, что знак i_c' при движении на подъеме положительный, а при движении на спуске – отрицательный. Значение i_c'' всегда положительно, поскольку дополнительное сопротивление движению в кривой всегда направлено против движения поезда.

Окончательно уклон спрямленного участка, на котором расположены кривые, принимают

$$i_c = i_c' + i_c''. \quad (7.6)$$

Величину i_c часто называют приведенным уклоном. Очевидно, что при наличии кривых одни и те же участки приведенного профиля пути при движе-



нии в противоположных направлениях отличаются не только знаком, но и величиной.

Предлагаемый алгоритм спрямления профиля рассмотрим на примере.

Пример.

Необходимо спрямить профиль пути № *m*, приведенный в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Профиль пути № *m* – от ст. С к ст. Е

Номер элемента	Крутизна уклона, ‰	Длина элемента, м	Радиус и длина кривых, м	Станция участка
1	0	2000		С
2	-2	1500	$R = 1500, \text{скр} = 600$	
3	-4	700		
4	0	1100		
5	-11	1200		
6	-2	1800	Д	Д
7	0	600	$R = 700, \text{скр} = 400$	
8	+10	1500		
9	+8	4800		
10	0	1300		
11	+2	1500		
12	+5	1000	$R = 1100, \text{скр} = 700$	
13	+4	600	$R = 850, \text{скр} = 300$	
14	0	1500	Е	Е

1. Определяются элементы профиля, которые спрямлять нельзя.

Спрямлять нельзя элементы под номерами 1, 6, 14 (станционные пути), 8 (скоростной подъем) и 9 (расчетный подъем). Помимо этого, не будет спрямляться с другими элементами профиля 7-й элемент, расположенный между 6-м и 8-м элементами. Однако на 7-м элементе присутствует кривая, влияние которой необходимо будет учесть.

2. Определяются возможные группы спрямляемых элементов.

Необходимо сгруппировать элементы между собой, учитывая, что спрямляться могут только элементы одного знака (а также горизонтальные участки), мало отличающиеся крутизной уклона.

В нашем примере можно сгруппировать элементы 2-3-4, 10-11-12-13, 5-й элемент с другими объединять не будем, т.к. крутизна его уклона значительно отличается от крутизны всех соседних элементов. В случае, если сформированные нами группы не пройдут проверку на возможность спрямления [условие (7.3)], их можно перегруппировать в любом другом сочетании, например, попробовать спрямить элементы 2-3 или 3-4, 10-11-12 или 11-12-13, или 10-11 и 12-13, и т.д.

Возможны различные варианты спрямления, но группировку желательно производить от наибольшего количества элементов, входящих в группы, к наименьшему. В случае, если группа с наибольшим количеством элементов не проходит проверку, ее перегруппируют в несколько групп.

3. Производится проверка возможности спрямления. В нашем примере изначально группируем элементы 2-3-4 и 10-11-12-13.

Произведем спрямление элементов 2-3-4. По формуле (7.1)

$$s_c = 1500 + 700 + 1100 = 3300 \text{ м.}$$

По формуле (7.2) с учетом округления до сотых

$$i'_c = \frac{(-2) \cdot 1500 + (-4) \cdot 700 + 0 \cdot 1100}{3300} = -1,76 \text{ ‰.}$$

По условию (7.3) проверим возможность спрямления профиля:

- для 2-го элемента:



$$\frac{2000}{|-1,76-(-2)|} = 8333 > 1500, \text{ (условие выполняется);}$$

- для 3-го элемента:

$$\frac{2000}{|-1,76-(-4)|} = 893 > 700, \text{ (условие выполняется);}$$

- для 4-го элемента:

$$\frac{2000}{|-1,76-0|} = 1136 > 1100, \text{ (условие выполняется).}$$

Так как для всех элементов условие спрямления выполняется, то спрямление этих трех элементов возможно. Элементы 2-3-4 можно объединить в один, длина которого 3300 м, а крутизна $i'_c = -1,76\%$.

Произведем спрямление элементов 10-11-12-13:

$$s_c = 1300 + 1500 + 1000 + 600 = 4400 \text{ м,}$$

$$i'_c = \frac{0 \cdot 1300 + 2 \cdot 1500 + 5 \cdot 1000 + 4 \cdot 600}{4400} = 2,36\%,$$

$$\frac{2000}{|2,36-0|} = 847 < 1300, \text{ (условие не выполняется).}$$

Для 10-го элемента профиля проверка не выполняется, следовательно, дальнейшая проверка не имеет смысла, т.к. условием спрямления является выполнение проверки для всех входящих в группу элементов. Группу элементов 10-11-12-13 объединять нельзя. Попробуем объединить между собой элементы 10-11 и 12-13.

Спрявление элементов 10-11:

$$s_c = 1300 + 1500 = 2800 \text{ м,}$$

$$i'_c = \frac{0 \cdot 1300 + 2 \cdot 1500}{2800} = 1,07\%,$$

$$\frac{2000}{|1,07-0|} = 1869 > 1300, \text{ (условие выполняется),}$$

$$\frac{2000}{|1,07-2|} = 2151 > 1500, \text{ (условие выполняется).}$$

Элементы 10-11 можно спрямить в один длиной 2800 м и крутизной $i'_c = 1,07\%$.

Спрявление элементов 12-13:

$$s_c = 1000 + 600 = 1600 \text{ м,}$$

$$i'_c = \frac{5 \cdot 1000 + 4 \cdot 600}{1600} = 4,63\%,$$

$$\frac{2000}{|4,63-5|} = 5405 > 1000, \text{ (условие выполняется),}$$

$$\frac{2000}{|4,63-4|} = 3174 > 600, \text{ (условие выполняется).}$$

Элементы 12-13 можно спрямить в один длиной 1600 м и крутизой $i'_c = 4,63\%$.

4. На последнем этапе производится учет влияния кривых и определяется приведенный уклон. В нашем случае на 2-м приведенном элементе профиля располагается кривая ($R_{кр} = 1500 \text{ м, } s_{кр} = 600 \text{ м}$), фиктивный подъем от которой определим по формуле (7.4)

$$i''_c = \frac{700 \cdot 600}{3300 \cdot 1500} = 0,08\%.$$

Приведенный уклон для данного элемента профиля

$$i_c = -1,76 + 0,08 = -1,68\%.$$

Кривая располагается также на 5-м элементе спрямленного профиля. Учтем ее влияние:

$$i''_c = \frac{700 \cdot 400}{600 \cdot 700} = 0,67\%.$$

Приведенный уклон для данного элемента профиля

$$i_c = 0 + 0,67 = 0,67\%.$$

На 9-м элементе спрямленного профиля располагаются две кривые. Учтем их влияние:

$$i''_c = \frac{700 \cdot 700}{1600 \cdot 1100} + \frac{700 \cdot 300}{1600 \cdot 850} = 0,43\%.$$

Приведенный уклон для данного элемента профиля

$$i_c = 4,6 + 0,43 = 5,03\%.$$

Все полученные результаты расчетов заносим в таблицу 7.2.



Таблица 7.2 – Спрямоленный участок профиля № *m* – от ст. С к ст. Е

№ элемента	Длина, м	Уклон, ‰	Кривые		s_c , м	i'_c , ‰	i''_c , ‰	i_c , ‰	$\frac{2000}{ i'_c - i_c }$	№ приведенного элемента	Примечание
			$R_{кр}$, м	$s_{кр}$, м							
1	2000	0	–	–	2000	–	–	0	–	1	Ст. С
2	1500	–2	1500	600	3300	–1,76	0,08	–1,68	8333	2	
3	700	–4	–	–					893		
4	1100	0	–	–					1136		
5	1200	–11	–	–	1200	–	–	–11	–	3	
6	1800	–2	–	–	1800	–	–	–2	–	4	Ст. Д
7	600	0	700	400	600	0	0,67	0,67	–	5	
8	1500	+10	–	–	1500	–	–	+10	–	6	$i_{ск}$
9	4800	+8	–	–	4800	–	–	+8	–	7	i_p
10	1300	0	–	–	2800	+1,07	–	+1,07	1869	8	
11	1500	+2	–	–					2151		
12	1000	+5	1100	700	1600	+4,63	0,43	+5,03	5405	9	
13	600	+4	850	300					3174		
14	1500	0	–	–	1500	–	–	0	–	10	Ст. Е



8 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ УДЕЛЬНЫХ РАВНОДЕЙСТВУЮЩИХ СИЛ

Для выполнения тяговых расчетов необходимо построить **диаграмму удельных равнодействующих сил**. Для ее построения производят расчеты, результаты которых оформляют по образцу, представленному в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Образец расчета удельных равнодействующих сил

ТХ		Режим тяги					Режим выбега				Режим торможения			
v , км/ч	F_k , Н	f_k , Н/кН	w'_0 , кгс/т	w''_0 , кгс/т	w_0 , Н/кН	r_T , Н/кН	w'_x , кгс/т	w''_x , кгс/т	w_x , Н/кН	r_B , Н/кН	$\phi_{кр}$	b_T , Н/кН	$r_{тс}$, Н/кН	$r_{тэ}$, Н/кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Обычно вычисления выполняют для трех режимов ведения поезда:

- 1) тяги;
- 2) холостого хода (выбега);
- 3) торможения (служебного и экстренного).

Рассмотрим порядок заполнения таблицы:

- *1-й столбец*. Вносятся скорость движения поезда v от 0 до конструкционной скорости локомотива. Шаг изменения скорости не должен превышать 10 км/ч. Кроме того, необходимо внести значения, соответствующие характерным точкам тяговой характеристики: расчетная скорость (обязательно), скорость перехода от ограничения по сцеплению (или по току) на автоматическую характеристику;

- *2-й столбец*. Заполняется значениями касательной силы тяги F_k , соответствующей скорости движения в первом столбце. Принимается по тяговой характеристике локомотива. Расчетная сила тяги и сила тяги при трогании с места должна соответствовать значениям, принятым в исходных данных;

- *3-й столбец*. Определяется удельная касательная сила тяги f_k для заданных во втором столбце значений касательной силы тяги. Расчет производится по формуле (4,6);

- *4-й столбец*. Определяется основное удельное сопротивление движению локомотива в режиме тяги w'_0 для заданных в первом столбце скоростей. Расчет производится по формуле (3.2). Эмпирические выражение (3.2) при скорости движения менее 10 км/ч не совсем корректно отражают действительное значение сопротивления движению, поэтому принято для скоростей менее 10 км/ч принимать основное удельное сопротивление такое же, как при 10 км/ч. То есть результат расчета для скорости 10 км/ч вносится в таблицу дважды: для скоростей 0 и 10 км/ч;



- 5-й столбец. Рассчитываются значения основного удельного сопротивления движению состава w_0'' для заданных в первом столбце скоростей. Расчет производится по формулам (3.4), (3.6) с учетом типа пути. Для скоростей движения менее 10 км/ч принимаются значения, рассчитанные для скорости 10 км/ч;

- 6-й столбец. Определяются значения основного удельного полного сопротивления движению состава по формуле (4.4);

- 7-й столбец. Заполняется значениями равнодействующей сил, действующих на поезд при движении в режиме тяги по прямому горизонтальному пути. Определяется по формуле

$$r_T = f_k - w_0; \quad (8.1)$$

- 8-й столбец. Определяется удельное сопротивление движению локомотива в режиме выбега w_x' для заданных в первом столбце скоростей. Расчет производится по формуле (3.3). Для скорости движения менее 10 км/ч принимается значение сопротивления, рассчитанное для скорости 10 км/ч;

- 9-й столбец. Определяется удельное сопротивление движению состава в режиме выбега w_x'' для заданных в первом столбце скоростей. Расчет производится по формулам (3.5), (3.7). Для скорости движения менее 10 км/ч принимается значение сопротивления, рассчитанное для скорости 10 км/ч;

- 10-й столбец. Производится расчет основного удельного сопротивления движению поезда на холостом ходу по формуле

$$w_x = \frac{(m_L w_x' + m_C w_x'')g}{(m_L + m_C)g}; \quad (8.2)$$

- 11-й столбец. Производится расчет основного удельного сопротивления движению поезда на холостом ходу по формуле

$$r_T = -w_x; \quad (8.3)$$

- 12-й столбец. Определяются значения расчетного коэффициента трения тормозных колодок $\varphi_{кр}$ для различных скоростей движения по формулам:

$$\varphi_{кр}^ч = 0,27 \frac{v + 100}{5v + 100}; \quad (8.4)$$

$$\varphi_{кр}^к = 0,36 \frac{v + 150}{2v + 150}; \quad (8.5)$$

где $\varphi_{кр}^ч$ – расчетный коэффициент трения стандартных чугунных колодок; $\varphi_{кр}^к$ – расчетный коэффициент трения композиционных колодок из материала 8-1-66.



В курсовой работе тип тормозных колодок выбирается в соответствии с заданием;

- 13-й столбец. Заполняется значениями удельной тормозной силы, вычисляемой по формуле

$$b_T = 100 \cdot \vartheta_p \varphi_{кр} g, \quad (8.6)$$

где ϑ_p – расчетный тормозной коэффициент.

При движении поезда по участкам, на которых имеются крутые спуски (более 20 ‰), необходим учет всех имеющихся тормозных средств, и расчетный тормозной коэффициент в этом случае определяется по формуле

$$\vartheta_p = \frac{n_l K_{рл} + \delta(4n_4 K_{р4} + 6n_6 K_{р6} + 8n_8 K_{р8})}{(m_l + m_c)g}, \quad (8.7)$$

где n_l – количество осей у локомотива; $K_{рл}$ – расчетное нажатие тормозных колодок локомотива на одну ось, кН/ось; δ – доля тормозных осей в составе; n_4, n_6, n_8 – количество соответственно 4, 6, 8-осных вагонов; $K_{р4}, K_{р6}, K_{р8}$ – расчетное нажатие тормозных колодок на одну ось соответственно 4, 6, 8-осных вагонов, кН/ось.

Для упрощения расчета тормозной силы грузовых поездов, движущихся на участках со спусками до 20 ‰, Правила тяговых расчетов рекомендуют не учитывать тормозные средства локомотива и его массу. В этом случае расчетный тормозной коэффициент определяется по формуле

$$\vartheta_p = \frac{\delta(4n_4 K_{р4} + 6n_6 K_{р6} + 8n_8 K_{р8})}{m_c \cdot g}. \quad (8.8)$$

Значения расчетного нажатия на одну тормозную ось K_p в зависимости от типа тормозных колодок и загрузки вагонов представлены в таблице 8.2. При чугунных тормозных колодках тормоза грузовых вагонов включают на порожний режим, если полезная нагрузка на одну ось не превышает 3 т, на средний – если полезная нагрузка на одну ось не превышает 6 т, на груженный – при полезной нагрузке более 6 т.

Таблица 8.2 – Расчетные силы нажатия тормозных колодок грузовых вагонов

Режим загрузки вагона	Расчетная сила нажатия тормозных колодок, кН/ось	
	чугунные	композиционные
Груженный	70	42,5
Средний	50	30,0
Порожний	35	17,5



При расчетной силе нажатия 42,5 кН/ось композиционных тормозных колодок грузовых вагонов на практике возникают случаи заклинивания колесных пар. В связи с этим принято ограничивать нажатие композиционных тормозных колодок величиной 30 кН/ось;

- 14-й столбец. Определяются значения удельных равнодействующих сил $r_{тс}$, приложенных к поезду в режиме служебного торможения, по формуле

$$r_{т} = -w_x - 0,5b_{т}; \quad (8.9)$$

- 15-й столбец. Определяются значения удельных равнодействующих сил $r_{тэ}$, приложенных к поезду в режиме экстренного торможения, по формуле

$$r_{т} = -w_x - b_{т}. \quad (8.10)$$

По результатам расчетов, приведенным в столбцах 7, 11, 14, строятся диаграммы удельных равнодействующих сил, действующих на поезд при движении в режиме тяги, выбега и служебного торможения. По оси ординат откладывается скорость движения, а по оси абсцисс – удельные равнодействующие силы. Особенностью построения диаграммы удельных равнодействующих сил является измененное направление вектора оси абсцисс: отрицательные значения равнодействующих сил располагаются справа от оси ординат, а положительные – слева.

Построения следует производить в электронном виде с использованием векторных графических редакторов с обязательным соблюдением масштабов:

- 1) удельная сила – 1 Н/кН = 6 мм;
- 2) скорость – 1 км/ч = 1 мм.

Пример построения диаграммы удельных равнодействующих сил представлен на рисунке 8.1.

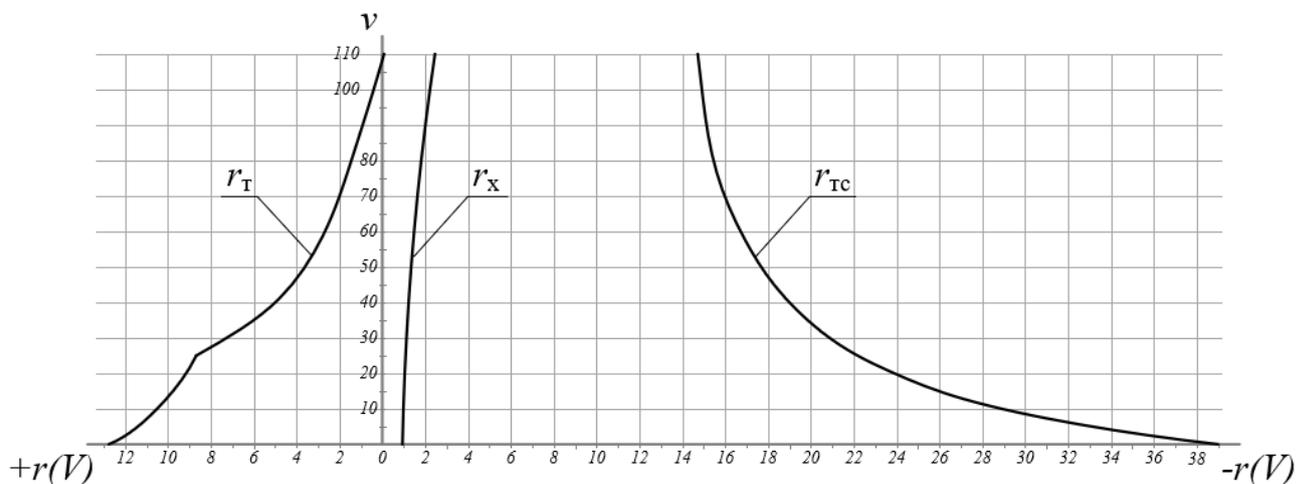


Рисунок 8.1 – Пример построения диаграммы удельных равнодействующих сил



9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПРИ ЗАДАННЫХ ТОРМОЗНЫХ СРЕДСТВАХ ПОЕЗДА

Для обеспечения безопасности движения поездов важнейшее значение имеет возможность снижения скорости движения или остановки поезда, выполняемой в штатной или экстраординарной ситуации и реализуемой тормозными средствами поезда.

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

Тормозной путь S_T складывается из пути подготовки тормозов к действию S_{Π} и действительного пути торможения S_D :

$$S_T = S_{\Pi} + S_D. \quad (9.1)$$

Действительный тормозной путь – расстояние, которое проходит поезд с действующими тормозами, т.е. прижатыми тормозными колодками. Действительный тормозной путь S_D определяют аналитическим или графическим методом.

При торможении поезда тормозная сила возникает не сразу после перевода ручки крана машиниста в тормозное положение. Требуется время на распространение воздушной волны по тормозной магистрали состава, срабатывание воздухораспределителей, перемещение тормозной рычажной передачи до соприкосновения тормозных колодок с колесами и на увеличение нажатия колодок до установившегося значения. То есть тормозная сила вагонов возникает не сразу и увеличивается до установившегося значения постепенно. В расчетах это увеличение условно заменяют установившимся расчетным значением тормозной силы, происходящим после установки рукоятки крана машиниста в тормозное положение через время t_{Π} . Его называют *временем подготовки тормозов к действию*. В течение времени t_{Π} движение поезда считают равномерным.

Путь подготовки тормозов к действию – это расстояние, которое поезд проходит за время подготовки тормозов к действию. Он определяется по формуле

$$S_{\Pi} = 0,278 \cdot v_H + t_{\Pi}, \quad (9.2)$$

где v_H – скорость поезда в начале торможения, км/ч; t_{Π} – время подготовки тормозов к действию, с.



Время подготовки зависит от количества осей в составе и определяется по формуле

$$t_{\text{п}} = a - \frac{e \cdot i_{\text{с}}}{b_{\text{т}}}, \quad (9.3)$$

где a , e – коэффициенты, принимаемые согласно ПТР (таблица 9.1); $i_{\text{с}}$ – крутизна уклона, для которого решается тормозная задача (для спусков – со знаком минус), ‰.

Таблица 9.1 – Значения коэффициентов в зависимости от числа осей

Наименование коэффициента	Число осей		
	Менее 200	200 – 300	Более 300
a	7	10	12
e	10	15	18

Для обеспечения безопасности движения необходимо, чтобы поезд, двигаясь по самому крутому спуску с крутизной уклона $i_{\text{с}}$, в любой момент мог остановиться. При этом его полный тормозной путь для режима экстренного торможения не должен превышать 1200 м при движении на спусках круче 6 ‰ (на спусках крутизной до 6 ‰ включительно – 1000 м).

Очевидно, что тормозной путь поезда зависит от скорости в начале торможения. При прочих равных условиях чем больше скорость начала торможения, тем больше будет полный тормозной путь. В связи с этим, чтобы полный тормозной путь данного конкретного поезда при экстренном торможении не превышал заданных значений, необходимо ограничить скорость его движения. Для этого следует решить тормозную задачу.

Целью решения тормозной задачи является определение максимально допустимой скорости движения поезда по наиболее крутому спуску участка при заданных тормозных средствах и принятом тормозном пути (в курсовой работе тормозной путь следует принять 1200 м).

Решаем тормозную задачу графическим способом, для чего:

1) по данным таблицы удельных равнодействующих сил (см. таблицу 8.1) строим по точкам графическую зависимость удельных замедляющих сил при экстренном торможении от скорости;

2) справа от построенного графика удельных сил, задаем в соответствующих масштабах систему координат $v-s$ (см. рисунок 9.1). Оси скоростей v в обеих системах координат должны быть параллельны, а оси удельных равнодействующих сил r и пути s должны лежать на одной прямой.

Построение следует производить в электронном виде с использованием векторных графических редакторов. с обязательным соблюдением масштабов.



Для графических построений при тормозных расчетах следует обязательно принять следующие масштабы:

а) удельная сила – $1 \text{ Н/кН} = 1 \text{ мм}$;

б) скорость – $1 \text{ км/ч} = 1 \text{ мм}$;

в) путь – $1 \text{ км} = 120 \text{ мм}$;

3) решаем тормозную задачу по следующему алгоритму:

- в системе координат $v-s$ строится зависимость подготовительного тормозного пути от скорости $s_{\text{п}} = f(v_{\text{н}})$. Построение зависимости производится по двум точкам, первая из которых располагается в начале координат, а вторая определяется по формуле (9.2) для скорости в начале торможения, равной конструкционной скорости локомотива (точка N на рисунке 9.1);

- на оси s ставим точку A , расположенную на расстоянии 1200 м от начала координат (соответствует максимально допустимому тормозному пути поезда);

- из точки A методом Липеца строим кривую скорости для режима экстренного торможения до пересечения данной кривой с построенной ранее зависимостью подготовительного тормозного пути от скорости $s_{\text{п}} = f(v_{\text{н}})$. Точка пересечения данных зависимостей определяет максимально допустимую скорость движения поезда на наиболее крутом спуске участка.

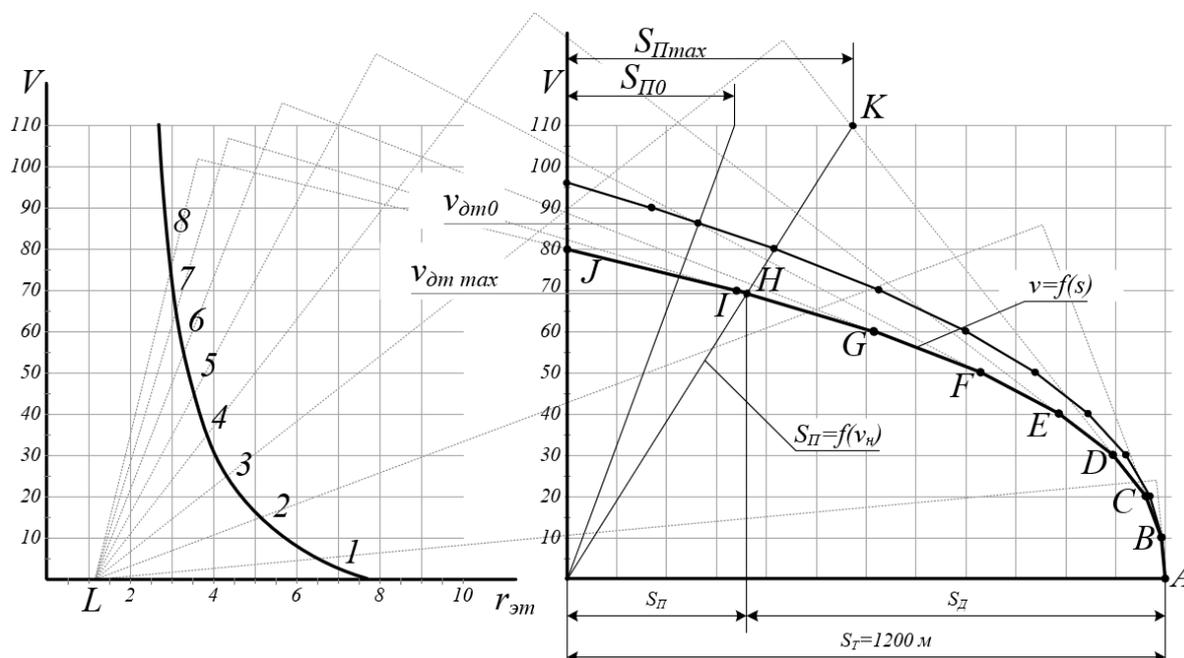


Рисунок 9.1 – Графическое решение тормозной задачи

Порядок построения (см. рисунок 9.1). На кривой удельных равнодействующих сил для режима экстренного торможения $r_{\text{эТ}}$ отмечаем точки, соответствующие средним значениям скорости выбранного скоростного интервала $\Delta v = 10 \text{ км/ч}$ (т. е. точки, соответствующие 5, 15, 25, 35 и т.д. км/ч). Через эти точки из точки L (полюс построения) на оси $r_{\text{эТ}}$, соответствующей крутизне самого крутого спуска участка i_c , проводим лучи 1, 2, 3, 4, и т.д.



Из точки A проводим перпендикуляр к лучу 1 до конца первого интервала, т. е. в пределах от 0 до 10 км/ч (отрезок AB). Из точки B проводим перпендикуляр к лучу 2 до конца второго скоростного интервала от 10 до 20 км/ч (отрезок BC); из точки C проводим перпендикуляр к лучу 3 и т. д.

Начало каждого последующего отрезка совпадает с концом предыдущего. В результате получаем ломаную линию $ABCDEFGIJ$, которая представляет собой выраженную графически зависимость скорости поезда в режиме экстренного торможения от пройденного пути.

Скорость в точке пересечения кривых $s_{\text{п}} = f(v_{\text{н}})$ и $v = f(s)$ (точка H на рисунке 9.1) соответствует максимальной допустимой скорости движения поезда $v_{\text{дт max}}$ на наиболее крутом спуске участка i_c .

Аналогичным способом следует решить тормозную задачу для $i = 0 \text{ ‰}$ (вторая кривая на рисунке 9.1) и определить максимальную допустимую скорость движения поезда $v_{\text{дт0}}$ на элементе с нулевым уклоном. Для этого лучи через средние значения скорости выбранного скоростного интервала следует проводить не из точки L , а из начала координат графика $r_{\text{тз}}$.

Для нахождения скорости $v_{\text{дт0}}$ также необходимо построить зависимость подготавливающего тормозного пути от скорости $s_{\text{п}} = f(v_{\text{н}})$, для чего используя формулы (9.2)–(9.3) следует рассчитать $S_{\text{п}}$ для уклона $i = 0 \text{ ‰}$.

По полученным значениям допускаемых скоростей для уклонов i_c и $i = 0 \text{ ‰}$ на диаграмме удельных равнодействующих сил следует построить ограничение по тормозам, соединив две точки с координатами $(v_{\text{дт0}}; 0)$ и $(v_{\text{дт max}}; i_c)$ отрезком (отрезок BC , рисунок 9.2). В случае, если полученный отрезок не имеет точек пересечения с кривой $r_{\text{т}}$, отрезок BC следует продлить до пересечения с кривой $r_{\text{т}}$ (отрезок AB , рисунок 9.2). В случае, если продление отрезка не позволяет получить точку пересечения с кривой $r_{\text{т}}$, следует построить горизонтальный отрезок от крайней левой точки ограничений по тормозам до кривой $r_{\text{т}}$.

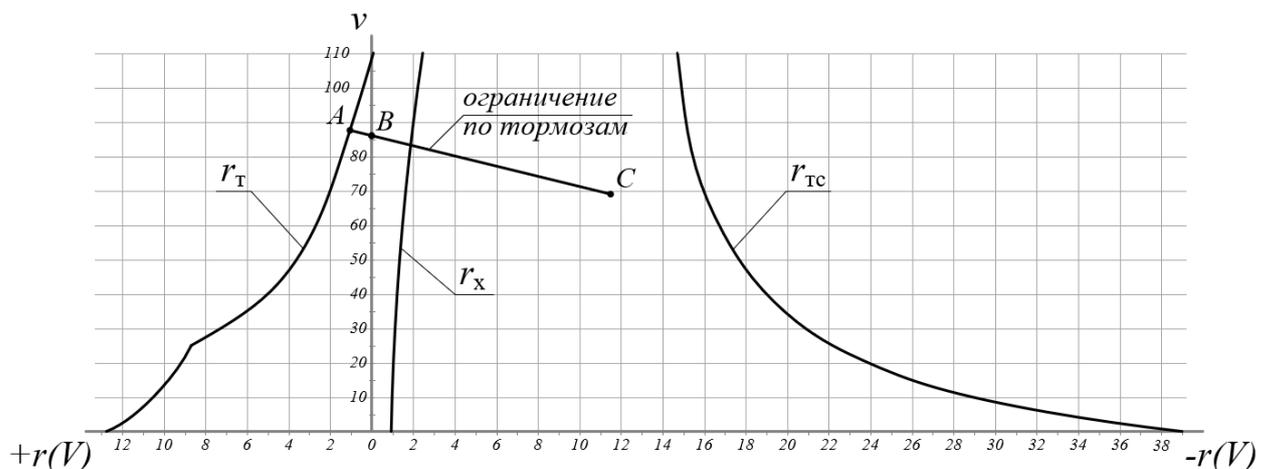


Рисунок 9.2 – Нанесение ограничений по тормозным свойствам поезда



10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ХОДА И СРЕДНИХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА ПО УЧАСТКУ СПОСОБОМ РАВНОВЕСНЫХ СКОРОСТЕЙ

Определение времени хода поезда способом равновесных скоростей основано на предположении о равномерном движении поезда по каждому элементу профиля пути. При этом *равновесная скорость на каждом элементе спрямленного профиля определяется по диаграмме удельных равнодействующих сил для режима тяги с учетом ограничения скорости.*

Алгоритм определения равновесной скорости следующий:

- на диаграмме удельных равнодействующих сил на оси $r(V)$ с учетом знака и масштаба отметить уклон элемента спрямленного профиля;
- из полученной точки восстановить перпендикулярный луч до кривой r_T , отрезка ограничения по тормозам или отрезка ограничения по конструкционной скорости;
- из точки пересечения луча с кривой r_T , ограничением по тормозам или ограничением по конструкционной скорости опустить перпендикуляр на ось скоростей.

Полученное значение скорости и будет являться равновесной скоростью для данного элемента профиля.

Если для уклона данного элемента профиля получено более одной точки пересечения, то следует выбирать ту, которой соответствует наименьшая равновесная скорость. На подъемах, круче расчетного, значения равновесной скорости принимают равными расчетной скорости.

Пример

Определим величины равновесных скоростей для уклонов -10% , $-1,5\%$, $0,5\%$, 8% , 10% , для локомотива с расчетной скоростью 25 км/ч. В соответствии с вышеуказанным алгоритмом определим равновесные скорости с помощью диаграммы удельных равнодействующих сил (рисунок 10.1).

- отметим на оси $r(V)$ с учетом знака и масштаба уклон -10% и восстановим из полученной точки перпендикуляр (зеленая линия, рисунок 10.1). Для данного уклона существует точка пересечения с ограничением по тормозам. Из точки пересечения опустим перпендикуляр на ось скоростей. В результате построений получим, что равновесная скорость для уклона -10% $v \approx 71$ км/ч;

- отметим на оси $r(V)$ с учетом знака и масштаба уклон $-1,5\%$ и восстановим из полученной точки перпендикуляр (красная линия, рисунок 10.1). Для данного уклона существует две точки пересечения: с ограничением по тормозам и с кривой равнодействующей в режиме выбега r_x . Т.к. для определения равновесных скоростей используются только кривая r_m , ограничение по тормозам и ограничением по конструкционной скорости, точку пересечения с кривой r_x игнорируем. Из точки пересечения с ограничением по тормозам опустим перпендикуляр на ось скоростей. В результате построений получим, что равновесная скорость для уклона $-1,5\%$ $v \approx 84$ км/ч;

- отметим на оси $r(V)$ с учетом знака и масштаба уклон $+0,5\%$ и восстановим из полученной точки перпендикуляр (оранжевая линия, рисунок 10.1). Для данного уклона существует две точки пересечения: с ограничением по тормозам и с кривой равнодействующей в режиме тяги r_m . Т.к. точка пересечения с ограничением по тормозам находится ниже, а значит соответствует меньшей по величине равновесной скорости, точку пересечения с кривой r_m игнорируем. Из точки



пересечения с ограничением по тормозам опустим перпендикуляр на ось скоростей. В результате построений получим, что равновесная скорость для уклона $+0,5\%$ $v \approx 87$ км/ч;

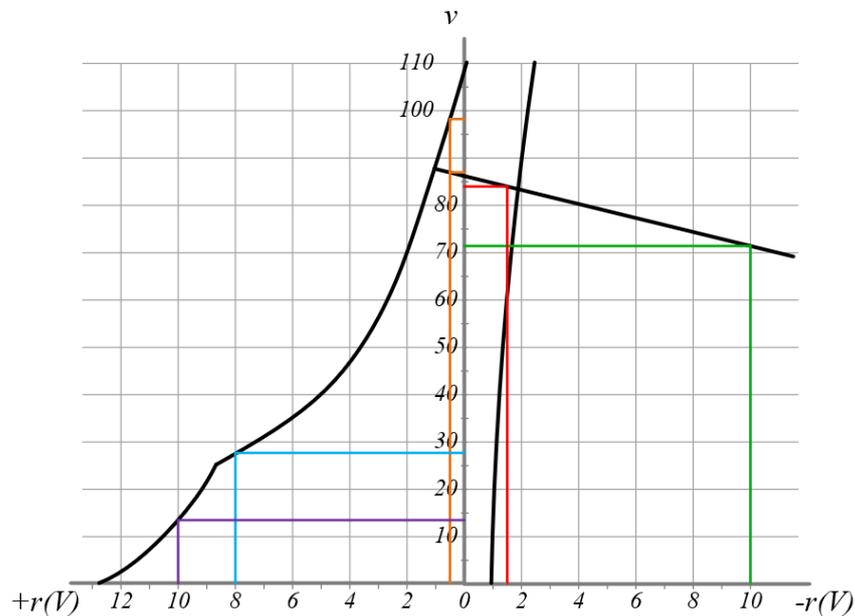


Рисунок 10.1 – Определение равновесных скоростей по диаграмме $r(V)$

- отметим на оси $r(V)$ с учетом знака и масштаба уклон $+8\%$ и восстановим из полученной точки перпендикуляр (синяя линия, рисунок 10.1). Для данного уклона существует точка пересечения с кривой равнодействующей в режиме тяги r_m . Из точки пересечения опустим перпендикуляр на ось скоростей. В результате построений получим, что равновесная скорость для уклона $+8\%$ $v \approx 28$ км/ч;

- отметим на оси $r(V)$ с учетом знака и масштаба уклон $+10\%$ и восстановим из полученной точки перпендикуляр (фиолетовая линия, рисунок 10.1). Для данного уклона существует точка пересечения с кривой равнодействующей в режиме тяги r_m . Из точки пересечения опустим перпендикуляр на ось скоростей. В результате построений получим, что равновесная скорость для уклона $+8\%$ $v \approx 13$ км/ч. Т.к. полученная скорость ниже расчетной скорости локомотива $v_p = 25$ км/ч, следует принять в качестве равновесной скорость $v = 25$ км/ч.

Время движения по i -му элементу профиля пути t_i при постоянной скорости движения определяют по формуле

$$t_i = 60 \frac{s_i}{v_{\text{равн}i}}, \quad (10.1)$$

где s_i – длина i -го участка, км; $v_{\text{равн}i}$ – равновесная скорость движения по i -му участку, км/ч.

Результаты расчета времени хода поезда способом равновесных скоростей следует оформить по образцу, представленному в таблице 10.1.



Таблица 10.1 – Расчет времени хода поезда методом равновесных скоростей

Номер элемента спрямленного профиля	Длина элемента, км	Крутизна уклона i , ‰	Равновесная скорость, v , км/ч	Время движения по участку, t , мин
1	2	3	4	5
1	s_1	i_1	$v_{\text{равн1}}$	t_1
2	s_2	i_2	$v_{\text{равн2}}$	t_2
...
...
...
n	s_n	i_n	$v_{\text{равн}n}$	t_n
Итого				Σt_i

Рассмотрим порядок заполнения таблицы:

- *1-й столбец.* Вносятся номера элементов спрямленного профиля. Номера должны соответствовать указанным номерам в столбце 11 таблицы спрямленного участка профиля (раздел 7);

- *2-й столбец.* Вносятся длины элементов спрямленного профиля в километрах. Длины должны соответствовать указанным в столбце 6 таблицы спрямленного участка профиля (раздел 7);

- *3-й столбец.* Вносятся уклоны элементов спрямленного профиля. Уклоны должны соответствовать указанным в столбце 9 таблицы спрямленного участка профиля (раздел 7);

- *4-й столбец.* Вносятся равновесные скорости движения поезда по элементам с уклонами, указанными в столбце 9 таблицы спрямленного участка профиля (раздел 7);

- *5-й столбец.* Вносятся результаты расчетов времени по соответственным элементам [формула (10.1)];

- *6-й столбец.* Вносятся значение 2 для первого элемента профиля (разгон со станции) и значение 1 для последнего элемента профиля (замедление на станции).

Кроме рассчитанных значений времени хода по элементам профиля, следует учесть время на разгон $t_{\text{разг}}$, замедление $t_{\text{зам}}$ и стоянки $t_{\text{ст}}$ поезда в каждом случае, когда имеется трогание и разгон поезда на станции и остановка его на раздельном пункте участка.

При приближенных расчетах принимают:

- $t_{\text{разг}} = 2$ мин;
- $t_{\text{зам}} = 1$ мин;
- $t_{\text{ст}} = 5$ мин.



Слушателям, выполняющим тяговый расчет для грузовых тепловозов, учесть разгон с начальной станции и замедление на конечной (остановок на промежуточных станциях нет).

Слушателям, выполняющим тяговый расчет для пассажирских и маневровых тепловозов, учесть разгон с начальной и промежуточной станции, замедление на промежуточной и конечной, а также стоянку на промежуточной станции.

При расчете показателей использования локомотивов используют три вида средних скоростей движения поезда по участку: ходовую, техническую и участковую.

Ходовой скоростью v_x называется средняя скорость движения поезда на участке за среднее ходовое время Σt_i .

Технической скоростью $v_{\text{тех}}$ называется средняя скорость движения поезда на участке за среднее ходовое время Σt_i , с учетом времени, затраченного на разгон $t_{\text{разг}}$ и замедление $t_{\text{зам}}$.

Участковой скоростью $v_{\text{уч}}$ называется средняя скорость движения поезда на участке за среднее ходовое время Σt_i , с учетом времени, затраченного на разгон $t_{\text{разг}}$, замедление $t_{\text{зам}}$ и стоянки на промежуточных станциях $t_{\text{ст}}$.

Для расчета средних скоростей движения поезда по участку используют формулы:

$$v_x = \frac{60 \Sigma s_i}{\Sigma t_i}, \quad (10.2)$$

$$v_{\text{тех}} = \frac{60 \Sigma s_i}{\Sigma t_i + \Sigma t_{\text{разг}} + \Sigma t_{\text{зам}}}, \quad (10.3)$$

$$v_{\text{уч}} = \frac{60 \Sigma s_i}{\Sigma t_i + \Sigma t_{\text{разг}} + \Sigma t_{\text{зам}} + \Sigma t_{\text{ст}}}. \quad (10.4)$$

Результаты расчета средних скоростей движения поезда следует оформить по образцу, представленному в таблице 10.2.

Таблица 10.2 – Расчет времени и средних скоростей движения на перегонах

Перегон	s , М	t , МИН	$t_{\text{разг}}$, МИН	$t_{\text{зам}}$, МИН	$t_{\text{ст}}$, МИН	v_x , КМ/Ч	$v_{\text{тех}}$, КМ/Ч	$v_{\text{уч}}$, КМ/Ч
Ст.1– Ст.2	S_{1-2}	t_{1-2}	$t_{\text{разг.1}}$	$t_{\text{зам.2}}$	—	v_{x1-2}	$v_{\text{тех}1-2}$	$v_{\text{уч}1-3}$
Ст.2– Ст.3	S_{2-3}	t_{2-3}	$t_{\text{разг.2}}$	$t_{\text{зам.3}}$	—	v_{x2-3}	$v_{\text{тех}2-3}$	
Ст.1– Ст.3	S_{1-3}	t_{1-3}	$\Sigma t_{\text{разг}}$	$\Sigma t_{\text{зам}}$	$t_{\text{ст.2}}$	v_{x1-3}	$v_{\text{тех}1-3}$	



Рассмотрим порядок заполнения таблицы:

- *1-й столбец.* Вносятся названия перегонов в соответствии с заданием (Например «Ст. А – Ст. Б»). При этом Ст.1 – начальная станция; Ст.2 – промежуточная станция; Ст.3 – конечная станция;

- *2-й столбец.* Вносятся длины перегонов. При этом S_{1-2} – сумма длин всех элементов от начальной станции до промежуточной, включая длину начальной станции и половину длины промежуточной; S_{2-3} – сумма длин всех элементов от промежуточной станции до конечной, включая длину конечной станции и половину длины промежуточной; S_{1-3} – сумма длин всех элементов профиля;

- *3-й столбец.* Вносится время хода по перегонам. При этом t_{1-2} – суммарное время хода поезда от начальной станции до промежуточной, включая время хода по начальной станции и половину времени хода по промежуточной; t_{2-3} – суммарное время хода поезда от промежуточной станции до конечной, включая время хода по конечной станции и половину времени хода по промежуточной; t_{1-3} – суммарное время хода поезда по всем элементам профиля;

- *4-й столбец.* Вносится время на разгон поезда. Если заданием предусмотрена остановка на промежуточной станции, указывается $t_{\text{разг}} = 2$ мин для перегонов Ст.1–Ст.2 и Ст.2–Ст.3; если остановка на промежуточной станции не предусмотрена, указывается $t_{\text{разг}} = 2$ мин только для перегона Ст.1–Ст.2;

- *5-й столбец.* Вносится время на замедление поезда. Если заданием предусмотрена остановка на промежуточной станции, указывается $t_{\text{зам}} = 1$ мин для перегонов Ст.1–Ст.2 и Ст.2–Ст.3; если остановка на промежуточной станции не предусмотрена, указывается $t_{\text{зам}} = 1$ мин только для перегона Ст.2–Ст.3;

- *6-й столбец.* Вносится время на стоянку поезда. Если заданием предусмотрена остановка на промежуточной станции, указывается $t_{\text{ст}} = 5$ мин для перегона Ст.1–Ст.3; если остановка на промежуточной станции не предусмотрена, $t_{\text{зам}}$ не указывается;

- *7–9 столбец.* Заполняется расчетными данными. Расчет производится по формулам (10.2)–(10.4).



11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ТЕПЛОВОЗОМ

Полный расход дизельного топлива тепловозом за поездку определяется по формуле

$$E_T = Gt_T + g_x t_x, \quad (11.1)$$

где G – расход дизельного топлива тепловозом в режиме тяги на номинальной мощности, кг/мин; t_T – суммарное время работы тепловоза в режиме тяги, мин; g_x – расход топлива тепловозом на холостом ходу (режимы холостого хода и торможения), кг/мин; t_x – суммарное время движения тепловоза в режиме холостого хода и торможения, мин.

Значения G , g_x принимают по расходным характеристикам тепловозов, полученным экспериментально и приведенным в ПТР. В курсовой работе для расчета следует принимать значения, приведенные в таблице 13.1

Таблица 11.1 – Удельный расход дизельного топлива тепловозами

Тепловоз	Удельный расход дизельного топлива, кг/мин	
	в режиме тяги	в режиме холостого хода и торможения
2ТЭ116У	19,2	0,66
2ТЭ25А	13,9	0,56
2ТЭ25К	18,25	0,43
2ТЭ70	20,7	0,27
3М62У	17,55	0,92
3ТЭ10М	25,73	1,15
М62	5,85	0,31
ТЭМ18ДМ	3,55	0,13
ТЭМ7А	5,4	0,28
ТЭП70БС	10,5	0,27

Для расчета E_T принять:

- t_T , как суммарное время хода поезда по участку, рассчитанное способом равновесных скоростей Σt_i ;
- t_x , как суммарное время разгонов замедлений и стоянок поезда на перегонах $t_{разг}$, $t_{зам}$, $t_{ст}$.

Для того, чтобы сравнивать расход топлива при работе локомотивов с разными поездами и на различных направлениях, общий расход топлива относят к измерителю выполненной перевозочной работы, получая удельный расход топлива e_T , кг/(10^4 т·км), определяемый по формуле



$$e_T = \frac{10^4 E_T}{m_c \cdot \Sigma s_i}, \quad (11.2)$$

где Σs_i – длина участка.

Чтобы сравнивать различные виды тяги и разные сорта топлива, введено понятие «условное топливо», под которым понимают топливо с удельной теплотой сгорания 29,3 МДж/кг. Удельная теплота сгорания дизельного топлива 41,9 МДж/кг. Следовательно, чтобы пересчитать расход дизельного топлива в расход условного топлива, следует ввести эквивалент. Удельный расход условного топлива, кг.у.т./(10^4 т·км), определяется по формуле

$$e_y = e_T \cdot \mathcal{E}, \quad (11.3)$$

где \mathcal{E} – эквивалент дизельного топлива; $\mathcal{E} = 41,9/29,3 = 1,43$.



ПРИЛОЖЕНИЕ А

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Таблица А.1 – Исходные данные
(выбирать по последней цифре шифра)

Вар.	Локомотив	Состав поезда по массе вагонов			Масса вагона брутто, т		
		4-осных	6-осных	8-осных	4-осных	6-осных	8-осных
0	3ТЭ10М	0,9	0,1	–	88	150	–
1	2ТЭ70	0,8	0,2	–	100	120	–
2	ТЭМ18ДМ	0,7	–	0,3	80	–	80
3	2ТЭ116У	0,6	0,4	–	88	126	–
4	ТЭП70БС	1	–	–	60	–	–
5	2ТЭ25К	0,9	–	0,1	80	–	160
6	ТЭМ7А	0,8	–	0,2	84	–	96
7	3М62У	0,7	0,3	–	100	120	–
8	М62	1	–	–	60	–	–
9	2ТЭ25А	0,6	–	0,4	96	–	216

Окончание табл. А.1

Вар.	Тормозных осей в составе	Тормозные колодки	Скорость по станционным путям	Тип пути	Тип груза
0	0,7	композиц.	30	бесстыковой	руда
1	0,9	чугунные	40	звеньевой	руда
2	0,8	чугунные	25	звеньевой	тарно-штучные и контейнеры
3	0,9	чугунные	40	бесстыковой	нефтепродукты
4	1,0	композиц.	25	звеньевой	пассажирский
5	0,8	чугунные	30	бесстыковой	нефтепродукты
6	0,7	композиц.	35	бесстыковой	тарно-штучные и контейнеры
7	0,8	композиц.	25	звеньевой	нефтепродукты
8	1,0	чугунные	40	звеньевой	пассажирский
9	0,9	композиц.	30	бесстыковой	руда



Окончание прил. А

Таблица А.2 – Технические характеристики локомотива

Вар.	Локомотив	Расчетная сила тяги, Н	Расчетная скорость, км/ч	Расчетная масса, т	Конструкционная скорость
0	3ТЭ10М	732 000	24,6	406	100
1	2ТЭ70	580 000	25	282	110
2	ТЭМ18ДМ	206 000	10,5	126	100
3	2ТЭ116У	560 000	27	278	100
4	ТЭП70БС	222 000	36,2	133	120
5	2ТЭ25К	557 000	27	276	110
6	ТЭМ7А	306 400	12	184	100
7	3М62У	588 000	20,9	378	100
8	М62	191 000	20,9	117	100
9	2ТЭ25А	356 500	20	288	

Окончание табл. А.2

Вар.	Локомотив	Сила тяги при трогании с места, Н	Длина локомотива	Число движущих колесных пар
0	3ТЭ10М	1 194 000	50,9	18
1	2ТЭ70	815 000	41	12
2	ТЭМ18ДМ	285 000	16,9	6
3	2ТЭ116У	803 000	36,3	12
4	ТЭП70БС	391 000	21,7	6
5	2ТЭ25К	797 000	40	12
6	ТЭМ7А	530 000	21,5	8
7	3М62У	1 090 000	52,2	18
8	М62	338 000	17,4	6
9	2ТЭ25А	445 400	40	6



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ПРОФИЛИ К ЗАДАНИЮ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Таблица Б.1 – Профили железнодорожных участков
(выбирать по предпоследней цифре шифра)

Номер элемента	Крутизна уклона, ‰	Длина элемента, м	Радиус и длина кривых, м	Станция участка
Профиль № 0 – от ст. А к ст. В, профиль № 1 – от ст. В к ст. А				
1	+2	2000		А
2	-1,5	1700		
3	-3,5	1100	$R = 1500, s_{кр} = 400$	
4	0	1500	$R = 1500, s_{кр} = 600$	
5	+12	1600		
6	+6	1000		
7	+4	800	$R = 700, s_{кр} = 350$	
8	+10	5500		
9	0	1000		
10	-1,5	1800		Б
11	0	800		
12	-8	6100		
13	-6	1000		
14	0	800	$R = 1000, s_{кр} = 800$	
15	+3	900		
16	0	500	$R = 1200, s_{кр} = 450$	
17	-9	1800		
18	0	1500		
19	+1	2500		
20	+2	1700		
21	0	2400		Б



Продолжение прил. Б

Продолжение табл Б.1

Номер элемента	Крутизна уклона, ‰	Длина элемента, м	Радиус и длина кривых, м	Станция участка
Профиль № 2 – от ст. А к ст. В, профиль № 3 – от ст. В к ст. А				
1	0	1600		А
2	-2	1800		
3	-4	1400	$R = 1500, s_{кр} = 800$	
4	0	1600		
5	+10	1900		
6	+7	6500		
7	0	1000		
8	+5	600	$R = 1000, s_{кр} = 600$	
9	+2,5	1700		В
10	0	800		
11	-3,5	500	$R = 700, s_{кр} = 400$	
12	0	600	$R = 850, s_{кр} = 300$	
13	-10	1700		
14	0	800	$R = 1200, s_{кр} = 600$	
15	+5	1400		
16	+2	400		
17	0	700		
18	-8	4800		
19	0	1850	$R = 1500, s_{кр} = 600$	
20	+3	1650		
21	+2	1500		
22	0	1000		
23	-1,5	1900		В



Продолжение прил. Б

Продолжение табл. Б.1

Номер элемента	Крутизна уклона, ‰	Длина элемента, м	Радиус и длина кривых, м	Станция участка
Профиль № 4 – от ст. А к ст. В, профиль № 5 – от ст. В к ст. А				
1	-1	1600		А
2	0	1800		
3	+2	1200		
4	+3,5	700	$R = 1000, s_{кр} = 600$	
5	0	1000		
6	-5	1500	$R = 1500, s_{кр} = 700$	
7	-8	6000		
8	0	2200		
9	+1,5	1800		В
10	+4	700		
11	0	1600		
12	-10	1500		
13	0	600	$R = 700, s_{кр} = 600$	
14	+11,5	1300		
15	+9	7100		
16	+5	1000		
17	+4	400	$R = 900, s_{кр} = 400$	
18	0	1300		
19	-4	800	$R = 850, s_{кр} = 500$	
20	0	2000		
21	+2	800		
22	+1	2000		В



Продолжение прил. Б

Продолжение табл Б.1

Номер элемента	Крутизна уклона, ‰	Длина элемента, м	Радиус и длина кривых, м	Станция участка
Профиль № 6 – от ст. А к ст. В, профиль № 7 – от ст. В к ст. А				
1	0	1800		А
2	-2	1900	$R = 1500, s_{кр} = 900$	
3	-8	6300		
4	-10	1300		
5	0	1100		
6	+5,5	1100		
7	+4	700	$R = 700, s_{кр} = 450$	
8	0	500		
9	-3	1100		
10	0	1000		
11	+2	1900		В
12	0	900		
13	-2	2000		
14	-4	500	$R = 1100, s_{кр} = 400$	
15	0	1000	$R = 800, s_{кр} = 500$	
16	+11	1700		
17	+10	5000		
18	+5	1900	$R = 1000, s_{кр} = 750$	
19	0	500		
20	-3	3300		
21	-2	2200		В



Окончание прил. Б

Окончание табл Б.1

Номер элемента	Крутизна уклона, ‰	Длина элемента, м	Радиус и длина кривых, м	Станция участка
Профиль № 8 – от ст. А к ст. В, профиль № 9 – от ст. В к ст. А				
1	0	1800		А
2	+1	1300	$R = 1300, s_{кр} = 650$	
3	+4	1000		
4	0	900	$R = 700, s_{кр} = 400$	
5	-7	7200		
6	-10	1500		
7	0	700		
8	+3	2200		
9	0	1300	$R = 1500, s_{кр} = 600$	
10	-1,5	2000		В
11	0	800		
12	-4	1100		
13	-6	400	$R = 850, s_{кр} = 350$	
14	0	800	$R = 1100, s_{кр} = 550$	
15	+11	2000		
16	+9	6000		
17	+2,5	800		
18	0	1500		
19	-4	1800		
20	-3	800	$R = 1500, s_{кр} = 800$	
21	0	600		
22	+2	1800		В



ПРИЛОЖЕНИЕ В

ТЯГОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛОКОМОТИВОВ

Обратите внимание, что в таблицах значения силы тяги даны в кН в то время, как в расчетах следует использовать значения в Н. Не забудьте домножить табличные значения на 1000.

Таблица В.1 – Тяговые характеристики тепловозов

ТЭМ18ДМ		ТЭП70БС		2ТЭ116У		2ТЭ25А		2ТЭ25К	
v , км/ч	F_k , кН								
0,00	320,00	0,00	391,00	0,00	803,00	0,00	868,53	0,00	797,00
5,00	292,00	5,00	355,00	5,00	730,00	5,00	822,51	5,00	723,00
6,50	285,00	10,00	328,00	10,00	670,00	10,00	803,40	10,00	668,00
6,50	285,00	15,00	307,00	15,00	630,00	17,00	799,11	15,00	626,00
10,00	218,00	20,00	291,00	20,00	600,00	18,00	761,28	20,00	594,00
10,50	206,00	25,00	278,00	25,00	570,00	20,00	695,18	25,00	567,00
15,00	144,00	28,50	269,90	27,00	560,00	25,00	567,06	27,00	557,00
20,00	116,00	30,00	259,00	30,00	503,00	30,00	479,90	30,00	484,00
25,00	90,00	35,00	229,20	35,00	435,00	35,00	421,40	35,00	414,00
27,50	82,00	40,00	203,00	40,00	379,00	40,00	362,90	40,00	360,00
30,00	75,00	45,00	180,00	45,00	335,00	45,00	326,24	45,00	319,00
37,50	62,00	50,00	162,00	50,00	301,00	50,00	289,58	50,00	287,00
40,00	56,00	60,00	135,00	58,00	258,00	60,00	240,83	56,00	259,00
50,00	44,00	69,00	117,00	64,00	236,00	70,00	206,51	60,00	242,00
60,00	36,00	80,00	101,00	70,00	214,00	80,00	179,01	70,00	211,00
70,00	28,00	90,00	90,00	80,00	187,00	90,00	158,54	80,00	186,00
80,00	21,00	100,00	82,00	90,00	167,00	100,00	141,77	90,00	164,00
90,00	15,00	110,00	75,00	95,00	158,50	110,00	127,73	100,00	147,00
100,00	12,00	120,00	70,00	100,00	150,00	120,00	116,03	110,00	134,00



Окончание прил. В

Окончание табл. В.1

М62		3М62У		ТЭМ7А		2ТЭ70		3ТЭ10М	
v , км/ч	F_k , кН								
0,00	338,00	0,00	1090,00	0,00	530,00	0,00	815,00	0,00	1194,00
5,00	300,00	5,00	989,00	5,00	480,00	5,00	740,00	5,00	1083,00
10,00	274,00	10,00	915,00	6,00	472,00	10,00	685,00	10,00	1001,00
15,00	255,00	11,50	897,00	10,00	344,00	15,00	640,00	15,00	939,00
17,50	224,40	13,00	846,90	12,00	306,40	20,00	605,00	19,00	898,00
20,00	199,80	15,00	780,00	15,00	250,00	25,00	580,00	20,00	865,00
20,90	191,00	17,50	698,60	17,50	217,40	30,00	555,00	24,60	732,00
25,00	160,00	20,00	617,30	19,00	200,80	38,40	448,00	27,50	670,00
27,50	149,50	25,00	497,00	20,00	192,00	40,00	432,00	29,00	641,00
28,50	145,30	27,50	455,10	23,00	169,50	45,20	386,00	30,00	621,70
29,00	143,20	28,50	438,40	24,00	162,00	50,00	351,00	35,00	525,00
30,00	139,00	29,00	430,00	25,00	157,20	52,00	338,00	38,00	482,00
31,50	132,60	30,00	416,00	30,00	133,00	57,10	308,00	40,00	459,60
32,50	128,30	31,50	397,60	32,50	123,70	58,00	304,00	41,00	448,40
33,00	126,20	32,50	385,30	37,00	107,00	60,00	294,00	43,00	426,00
33,50	124,00	33,00	379,20	37,50	105,50	62,50	282,70	46,00	401,10
34,00	122,50	34,00	368,40	38,00	104,00	63,10	280,00	50,00	368,00
37,50	111,70	37,50	336,10	40,00	98,00	63,50	278,30	55,00	335,00
40,00	104,00	40,00	313,00	43,40	90,00	65,00	272,00	60,00	307,70
41,00	101,70	41,00	306,10	45,00	87,80	70,00	253,00	62,00	296,70
43,50	96,00	43,50	289,00	50,00	81,00	74,00	240,00	65,00	283,00
50,00	85,00	50,00	255,00	52,00	78,60	78,00	228,00	66,00	279,00
60,00	71,00	60,00	215,00	60,00	69,00	80,00	223,00	70,00	263,00
61,00	70,00	61,00	212,00	66,00	63,00	84,00	213,00	75,00	248,00
62,00	69,00	62,00	208,80	70,00	59,00	89,00	201,00	80,00	234,00
70,00	61,00	70,00	183,00	80,00	51,00	90,00	199,00	85,00	220,00
80,00	52,00	80,00	156,00	87,50	41,30	93,00	193,00	90,00	205,00
90,00	44,00	90,00	133,00	90,00	38,00	100,00	179,00	95,00	191,00
100,00	38,00	100,00	114,00	100,00	27,00	110,00	163,00	100,00	179,00