



МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
ФИЛИАЛ ИРКУТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
г. Красноярск

***ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ  
ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛО-  
ВОЗНОЙ ТЯГЕ  
ПОЕЗДОВ***

**Методические указания к курсовой работе для студен-  
тов специальности «СЖД»**

***ЧАСТЬ I***

***КРАСНОЯРСК 2003***

УДК 624.

*В настоящих методических указаниях изложены рекомендации о порядке тяговых расчетов и их основные принципы для проектируемых железных дорог с учетом действующих ПТР, ПТЭ, а так- же СТН-Ц 01-95. Приведены соответствующие расчетные схемы и формулы, последовательность решения отдельных задач тяговых расчетов. Предназначены для студентов специальности «СЖД» или «УПП» при курсовом и дипломном проектировании.*

Методические указания рассмотрены и утверждены к печати на заседании кафедры «Общетехнических и специальных дисциплин» Красноярского Филиала СГУПС.

Составитель: преподаватель *Науменко Д. А.*

**Рецензенты:**

*Руководитель группы капитального ремонта института «Сибжелдорпроект», инженер Трофимова О.И.*

*Старший преподаватель кафедры «Общетехнических и специальных дисциплин», Полинцев А.В.*

## 1. Общие указания

Все поименованные задачи увязаны между собой и должны выполняться в строгой последовательности. Необходимо с самого начала работы иметь в виду, что ошибка, допущенная в одном из разделов проекта, отразится на выполнении всех последующих расчетах и будучи обнаружена в конце всей работы, приведет к необходимости переделывать проект заново. Поэтому следует тщательно проверять все расчеты, и в случае сомнения в правильности результатов немедленно устранять допущенные ошибки.

Работа по тяговым расчетам состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка оформляется согласно действующим нормам. Она должна содержать все аналитические расчеты и пояснения к графическим построениям. При использовании методик решения, тех или иных формул, необходимо делать ссылку на источники в установленной форме. Во всех расчетах нужно приводить размерности полученных величин, точность расчетов, масштабы построений.

В начале каждого раздела должны быть указаны:

- постановка задачи;
- исходные данные для её решения;
- принятая методика решения;
- вывод по разделу, например: «... таким образом, длина поезда составит 536 м»

Графическая часть включает в себя чертежи, выполняемые на миллиметровой бумаге в определенных масштабах, указанных в соответствующих разделах методических указаний. Чертежи должны соответствовать действующим нормам оформления. При сдаче работы требуется следующий минимальный комплект чертежей для каждого из видов тяги:

1. Расчетная тяговая характеристик локомотива;
2. Диаграмма равнодействующих сил при всех режимах движения поезда;
3. Графическое решение тормозной задачи;
4. Построение кривых скорости, времени хода, силы тяги;
5. Кривые потребляемого тока при движении по участку.

## 2. Определение характеристик поезда

### 2.1 Расчетная тяговая характеристика локомотива

В пояснительной записке по данному разделу необходимо изложить расчет силы тяги по сцеплению, порядок построения расчетной тяговой характеристики, указать расчетную скорость и соответствующее ей расчетное значение силы тяги, а также указать на каких скоростях происходит переход с одного фактора ограничения силы тяги на другой и её значения в этих точках.

#### 2.1.1 Построение расчетной тяговой характеристики

Для выполнения тяговых расчетов необходимо располагать информацией о величине силы тяги в рабочем диапазоне скоростей движения, от  $v=0$  до  $v_{\text{констр}}$  с шагом  $\Delta v=5 \dots 10$  км/ч. Эти данные получают из тяговых характеристик локомотива.

Тяговой характеристикой локомотива называется зависимость силы тяги  $F_k$  от скорости его движения  $v$ .

Они приведены в ПТР для всех видов тягового подвижного состава, в виде графиков и таблиц, выражающих связь силы тяги со скоростью.

Величина силы тяги локомотива при различных условиях может ограничиваться:

1. Для всех видов тяги:

- сцеплением движущих колес с рельсами на малых скоростях;

Построение расчетной тяговой характеристики ведется по точкам, путем подсчета силы тяги по сцеплению, кН:

$$F_{\text{сц}}^k = 1000\psi_k P; \quad (1)$$

где  $\psi_k$  - расчетный коэффициент сцепления;  $P$  - сцепной вес локомотива, т.

Силу тяги по сцеплению следует определять с интервалом скоростей через 10 км/ч, до тех значений скорости, которые соответствуют переходу на другой фактор ограничения силы тяги. Пользуясь вычисленными значениями, легко построить кривую по точкам, в одном из выбранных масштабов:

- скорость  $v$  - 2 мм/км/ч;
- сила  $F_k$  - 2 или 4 мм/кН;

Коэффициент сцепления зависит от скорости движения, и рассчитывается по следующей эмпирической формуле:

$$\psi_k = a + \frac{b}{c + dv} - ev; \quad (2)$$

Таблица 1

Коэффициенты формулы 2 для различных видов локомотивов

Тип локомотива	Коэффициенты				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
Электровоз постоянного тока					
ВЛ10, ВЛ11, ВЛ10у, ВЛ82	0,28	3	50	20	0,0007

ВЛ22 <sup>м</sup> , ВЛ23, ВЛ8	0,25	8	100	20	0
Электровоз переменного тока					
ВЛ60, ВЛ60 <sup>т</sup> , ВЛ80 <sup>т</sup> , ВЛ80 <sup>к</sup> , ВЛ80 <sup>р</sup>	28	4	50	6	0,0006
Тепловозы					
ТЭ10, 2ТЭ10Л	0,18	4	22	1	0
ТЭ3, М62, 2ТЭ10В, ТЭ10М, 2ТЭ116	0,118	5	27,5	1	0

2. Кроме того, для тепловоза:

- по величине пускового тока в начале движения;
- по мощности дизеля, зависящей от количества подаваемого в цилиндры дизеля топлива;

3. Кроме того, для электровоза:

3.1 При системе постоянного тягового тока:

- схемой соединения тяговых двигателей;
- степенью ослабления магнитного потока двигателей;

3.2 При системе переменного тягового тока:

- напряжением, подаваемым на тяговые двигатели со вторичной обмотки трансформатора;

## 2.2 Определение характеристик состава поезда.

### 2.2.1 Определение основных удельных сопротивлений локомотива и различных видов подвижного состава

Для определения веса поезда удельные основные сопротивления рассчитываются при расчетной скорости локомотива по формулам:

- для любого типа локомотива в режиме тяги:

$$\omega'_o = A + Bv + Cv^2; \quad (1)$$

где коэффициенты  $A, B, C$  приведены ниже:

Таблица 2

*Коэффициенты формул основного удельного сопротивления движению локомотивов*

Коэффициенты	Звеньевой путь		Бесстыковой путь	
	Режим тяги	Режим холостого хода	Режим тяги	Режим холостого хода
$A$	1,9	2,4	1,9	2,4
$B$	0,01	0,011	0,008	0,009
$C$	0,0003	0,00035	0,00025	0,00025

- груженые  $i$  осные вагоны на роликовых подшипниках:

$$\omega''_{o(i)} = A + \frac{B + Cv + Dv^2}{q_o^{(i)}}; \quad (3)$$

где  $q_o^{(i)}$  - средняя нагрузка от оси  $i$ -осного вагона на рельсы;  $A, B, C, D$  - коэффициенты, приведенные ниже:

*Коэффициенты формул основного удельного сопротивления движению вагонов*

Коэффици- енты	Число осей вагона			
	Звеньевой путь		Бессыковой путь	
	<i>4</i>	<i>8</i>	<i>4</i>	<i>8</i>
<i>A</i>	<i>0,7</i>	<i>0,7</i>	<i>0,7</i>	<i>0,7</i>
<i>B</i>	<i>3</i>	<i>6</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>C</i>	<i>0,1</i>	<i>0,038</i>	<i>0,09</i>	<i>0,026</i>
<i>D</i>	<i>0,0025</i>	<i>0,0025</i>	<i>0,002</i>	<i>0,0017</i>

Средняя осевая нагрузка вагона рассчитывается по простейшей формуле:

$$q_o^{(i)} = \frac{q_{(i)}}{i}; \quad (4)$$

где  $i$ - число осей вагона;  $q_{(i)}$ - полный вес  $i$ - осного вагона, определяемый как:

$$q_{(i)} = q_T^{(i)} + \alpha q_{zp}^{(i)}; \quad (5)$$

где  $\alpha$ - коэффициент использования подъёмной силы вагонов, зависящий от рода перевозимого груза, для тяжелых грузов, как-то: уголь, руда, металлические слитки и т.п.  $\alpha=1$ , для легких грузов, как-то: лес, трубы и т.п. может быть менее 1;  $q_T^{(i)}$  - вес тары  $i$ - осного вагона;  $q_{zp}^{(i)}$  - грузоподъемность  $i$ - осного вагона.

### *2.2.2 Определение удельного сопротивления состава*

В грузовом движении, весьма часто, *в составе одного поезда следуют различные вагоны* число которых обычно задано в процентах по отношению к общему количеству вагонов в составе  $\gamma_{(i)}$ . Но решающим фактором, влияющим на сопротивление движению вагонной части подвижного состава, является  $q_o^{(i)}$  - средняя нагрузка от оси  $i$ -осного вагона, поэтому *производится переход от соотношения по числу вагонов, к соотношению по весу их в составе поезда.*

$$\beta_{(i)} = \frac{\gamma_{(i)} q_{(i)}}{\sum \gamma_{(i)} q_{(i)}}; \quad (6)$$

причем очевидной проверкой будет являться, что:

$$\sum \beta_{(i)} = 1; \quad (7)$$

Таким образом, сопротивление состава поезда будет определяться *средневзвешенным сопротивлением:*

$$\omega_o'' = \sum \omega_o''_{(i)} \beta_{(i)}; \quad (8)$$

Для проверки расчетов на наличие грубой ошибки нужно сравнить полученное средневзвешенное сопротивление вагонов  $\omega''$  с сопротивлением от каждого типа вагонов в составе поезда.

### 2.2.3 Определение веса поезда

Для проектируемых железных дорог вес состава поезда  $Q$  определяется исходя из условия установившегося равномерного движения поезда по руководящему подъёму с расчетной скоростью. Формула расчета теоретического веса состава  $Q$  поезда, исходя из этого условия, имеет вид:

$$Q = \frac{F_{\kappa(p)} - P(\omega'_o + i_p)}{\omega''_o + i_p}; \quad (9)$$

где  $i_p$  - руководящий уклон проектируемой линии, ‰;  $\omega'_o$  - удельное основное сопротивление электровоза при движении под током, Н/кН;  $\omega''_o$  - средневзвешенное удельное сопротивление состава Н/кН;

Вес каждой части состава поезда определится как:

$$Q_{(i)} = \beta_{(i)} Q; \quad (10)$$

Теоретически, число вагонов каждого типа в составе определится следующей зависимостью:

$$n_{(i)} = \frac{Q_{(i)}}{q_{(i)}}; \quad (11)$$

Поскольку в этом расчете число вагонов, как правило, получается дробным, чего в принципе не может быть в поезде, эти величины округляются до ближайших целых значений  $n_{(i)}^{окр}$ , составляющих *практический вес поезда*:

$$Q_{np} = \sum n_{(i)}^{окр} q_{(i)}; \quad (12)$$

*Практический вес поезда не должен отличаться от теоретического более чем на  $\pm 50$  т.*

Если проверка дает результат:

- ✓  $Q - Q_{np} < -50$  т, рекомендуется округлять число более легких вагонов в большую, а более тяжелых в меньшую сторону;
- ✓  $Q - Q_{np} > 50$  т, округлять число более тяжелых вагонов в большую, а более легких вагонов в меньшую сторону;
- ✓ если вышеизложенные мероприятия не дают результата, то необходимо округлить число всех типов подвижного состава в большую или меньшую сторону соответственно;

В реальной грузовой работе необходимо знать *вес поезда нетто-полезного груза перевозимого в поезде без учета веса подвижного состава*:

$$Q_{нетто} = Q_{np} - \sum n_{(i)}^{np} q_T^{(i)}; \quad (13)$$

Для дальнейших расчетов необходим так- же полный вес поезда (вес поезда брутто)- вес состава с учетом локомотива:

$$P + Q_{np}; \quad (14)$$

#### 2.2.4 Проверка по троганью с места

При трогании с места поезд испытывает некоторое дополнительное сопротивление, которое для площадки (нулевого уклона) и подвижного состава на роликовых подшипниках в удельном выражении будет составлять:

$$\omega_{mp(i)} = \frac{28}{q_o^{(i)} + 7}; \quad (15)$$

Таким образом, сопротивление состава поезда будет определяться *средне-взвешенным сопротивлением состава троганью*:

$$\omega_{mp} = \sum \omega_{mp(i)} \beta_{(i)}; \quad (16)$$

Весьма многие остановочные пункты имеют уклон продольного профиля в пределах путей, причем на некоторых из них он достигает значительных величин. Следовательно, необходимо провести проверку возможности троганья с места поезда расчетной массы ведомого заданным локомотивом.

Вес состава поезда по условиям трогания с места определяется по формуле:

$$Q_{mp} = \frac{F_{kmp}}{\omega_{mp} + i_{mp}} - P; \quad (17)$$

где  $F_{kmp}$  - сила тяги локомотива при  $v \approx 0$  км/ч, ограничиваемая сцеплением или допустимым током;  $i_{mp}$  - максимальный уклон станционной площадки ‰;

Условие проверки будет выполняться в случае:

$$Q_{mp} > Q_{np}; \quad (18)$$

#### 2.2.5 Определение длины поезда

Определение длины поезда необходимо для проверки возможности его размещения с соблюдением габаритов в пределах имеющейся полезной длины станционного пути.

Длина поезда определяется суммой:

$$l_n = l_{лок} + 10 + \sum n_{(i)}^{окр} l_{(i)}; \quad (19)$$

где  $l_{(i)}$  - длина  $i$ - осного вагона;  $l_{лок}$  - длина локомотива; 10 м - запас на установку поезда в пределах станционных путей, определяемый точностью остановки;

В случае, если  $l_n \leq l_{n/o}$ , то поезд расчетной длины разместится в пределах полезной длины станционных путей.



### 3. Подготовка продольного профиля

Студент должен проанализировать заданный ему профиль, выявить все уклоны, спрямление которых возможно, и подсчитать приведенные уклоны всех элементов, сведя все расчеты в таблицу. По её данным необходимо подготовить расчетный продольный профиль участка.

#### 3.1 Спрявление профиля

##### 3.1.1 Теоретические основы спрявления профиля

Спрявление профиля есть замена нескольких элементов с уклонами одинакового знака и близких по крутизне одним уклоном, равной протяженности.

Применение этого мероприятия в тяговых расчетах выполняемых «вручную» позволяет существенно уменьшить число элементов профиля, и тем самым упростить построение кривых скорости.

Для того, чтобы спрявление не повлекло за собой искажений тяговых расчётов, вводятся следующие ограничения:

- спрямляются только уклоны одного направления (знака);
- не включаются элементы профиля расположенные на остановочных пунктах;
- не включаются в спрявление площадки (нулевые уклоны);
- не спрямляются элементы с руководящим уклоном;

Возможность спрявления элемента профиля проверяется условием:

$$l_i \leq \frac{2000}{|\Delta i|}; \quad (20)$$

где  $\Delta i$  - разность уклонов спрямлённого и проверяемого участков;  $l_j$  - протяженность элемента профиля;

$$\Delta i = i_c - i_j; \quad (21)$$

где  $i_c$  - спрямлённый уклон,  $i_j$  - уклон проверяемого элемента;

Спрямлённый уклон на участках вычисляется как:

$$i_c = \frac{\sum i_j l_j}{\sum l_j}; \quad (22)$$

##### 3.1.2 Пример спрявления профиля

Имеется профиль, приведенный ниже:

0	4	6	9	-3
900	600	800	1500	300
№1	№2	№3	№4	№5

Рисунок 1 Участок профиля подлежащий спрявлению

Проведём его попытку спрявления в следующей последовательности:

1. Рассмотрим последовательно все элементы профиля. Принципиально не поддаются спрямлению 1 и 2 (площадка и уклон), а также 4 и 5 элементы (уклоны противоположного знака).
2. Таким образом, можно спрямлять 2, 3 и 4 элементы. Спряmlённый уклон определяем по ф-ле 22:

$$i_c = \frac{4 \cdot 600 + 6 \cdot 800 + 9 \cdot 1500}{600 + 800 + 1500} = 7,13 \text{ ‰}$$

3. Проведем проверку на возможность спрямления этих элементов, по ф-ле 20.

■ для 2 элемента:

$$\Delta i = 7,13 - 4 = 3,13 \text{ ‰}, \text{ таким образом } 600 \leq \frac{2000}{|3,13|} = 638,97 \text{ м, условие соблюдается;}$$

■ для 3 элемента:

$$\Delta i = 7,13 - 6 = 1,13 \text{ ‰}, \text{ } 800 \leq \frac{2000}{|1,13|} = 1769,91 \text{ м, условие соблюдается;}$$

■ для 4 элемента:

$$\Delta i = 7,13 - 9 = -1,87 \text{ ‰}, \text{ } 1500 > \frac{2000}{|-1,87|} = 1069,52 \text{ м, условие не выполняется;}$$

*Следовательно, спрямление 2, 3 и 4 элементов невозможно.*

4. Сделаем попытку спрямить 2 и 3 элементы профиля.

$$i_c = \frac{4 \cdot 600 + 6 \cdot 800}{600 + 800} = 5,14 \text{ ‰}$$

5. Проведем проверку на возможность спрямления этих элементов:

■ для 2 элемента:

$$\Delta i = 5,14 - 4 = 1,14 \text{ ‰}, \text{ таким образом } 600 \leq \frac{2000}{|1,14|} = 1754,38 \text{ м, условие соблюдается;}$$

■ для 3 элемента:

$$\Delta i = 5,14 - 6 = -0,86 \text{ ‰}, \text{ } 800 \leq \frac{2000}{|-0,86|} = 2325,58 \text{ м, условие соблюдается;}$$

Следовательно, спрямлению подлежат 2 и 3 элементы профиля, окончательный вид которого (см. рис. 2) и будет использован в дальнейших расчетах.

0	5,14	9	-3
900	1400	1500	300
№1	№2, №3	№4	№5

Рисунок 2 Участок профиля после спрямления

### 3.2 Учет сопротивления от кривых

Расчетное значение сопротивления от кривых вычисляется по двум формулам:

- в случае если длина кривой более длины поезда  $K \geq l_n$ , Н/кН:

$$\omega_r = 12,2 \frac{\alpha}{K}; \tag{23}$$

где  $\alpha$  - угол поворота кривой, °;  $K$  - длина кривой, м;  
 для расчетов, требующих повышенной точности и при проектировании железных  
 дорог ВНИИЖТ рекомендует использовать формулу, Н/кН:

$$\omega_r = \frac{3,5\alpha}{K} + 1,5\tau_k; \quad (24)$$

где  $\tau_k$  - непогашенное ускорение в кривой м/с<sup>2</sup>, может задаваться как норматив  
 или определяться формулой:

$$\tau_k = \frac{v^2}{13R} + \frac{hg}{S}; \quad (25)$$

где  $h$  - нормативное возвышение наружного рельса в кривой данного радиуса, мм;  
 $g=9,81$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $S$  - нормативное расстояние между  
 осями рельсовых нитей в кривой данного радиуса, 1600 мм;  
 ✓ в случае, если длина кривой менее длины поезда, Н/кН:

$$\omega_r = 12,2 \frac{\alpha}{l_n}; \quad (26)$$

для расчетов, требующих повышенной точности и при проектировании железных дорог  
 ВНИИЖТ рекомендует использовать формулу:

$$\omega_r = \left( 3,5 \frac{\alpha}{R} + 1,5\tau_k \right) \frac{K}{l_n}; \quad (27)$$

Сопротивление движению поезда от кривых учитывается в виде эквива-  
 лентного уклона ‰:

$$i_{эк} = \omega_r; \quad (28)$$

вводимого на всем протяжении элемента продольного профиля, в пределах кото-  
 рого расположена кривая.

Необходимо помнить, что *сопротивление от кривой всегда является поло-  
 жительным, то есть препятствует движению поезда.*

*Сумма эквивалентного уклона и уклона элемента профиля именуется при-  
 веденным уклоном, ‰:*

$$i_k = i + i_{эк}; \quad (29)$$

Если кривая занимает более одного элемента профиля, она рассматривается  
 как две кривых, каждая из которых расположена на своём элементе. Расчеты  
 производятся в следующем порядке:

1. Вычисляется длина круговой кривой по общеизвестным формулам;
2. Отыскивается участок длины кривой, приходящийся на  $i$  элемент профиля,  
 м<sup>1</sup>:

---

<sup>1</sup> В курсовой работе принимается допущение, что начало круговой кривой совпадает с началом того  
 элемента профиля, на котором она расположена.

$$K_i = K - \sum_1^i l_i; \quad (30)$$

где  $l_i$  - длина  $i$  участка профиля;

3. Угол поворота соответствующий каждой из кривых будет равен:

$$\alpha_i = \frac{K_i}{R}; \quad (31)$$

4. Находится сопротивление движению от каждой из кривых;

## 4. Построение диаграммы удельных равнодействующих сил

### 4.1.1 Теоретические основы

Уравнение движения поезда может быть применено к поезду в любой момент его движения, и в зависимости от режима ведения имеет вид, приведенный в табл. 3.

С целью решения задач тяговых расчетов необходимо графически выразить зависимость сил, действующих на поезд, от скорости движения, при движении на прямолинейном и горизонтальном участке пути, т.е. без учета сопротивления от уклонов и кривых.

Таблица 4

*Вид уравнения движения в зависимости от режима ведения поезда*

Режим ведения поезда	Уравнение движения	Графическое выражение действующих сил
Тяговый	$\frac{dV}{dt} = 120(f_k - \omega)$	$f_1(V) = f_k - \omega_o$
Выбега (холостого хода)	$\frac{dV}{dt} = -120\omega_{xx}$	$f_2(V) = -\omega_{ox}$
Служебного торможения	$\frac{dV}{dt} = 120(\omega_{xx} + \alpha b_T)$	$f_3(V) = -(\omega_{ox} + \alpha b_T)$
Экстренного торможения	$\frac{dV}{dt} = 120(\omega_{xx} + b_l)$	$f_3(V) = -(\omega_{ox} + b_T)$
Установившегося движения	$\frac{dV}{dt} = 0$	

### 4.1.2 Расчет таблиц удельных равнодействующих сил

Расчет удельных сил удобно вести в табличной форме, составляя две таблицы, для:

- режима тяги (см. табл. 5);
- режимов холостого хода и торможения (см. табл. 6);

Таблица 5

*Расчет удельных равнодействующих сил при тяговом режиме для  $i_p = \dots\%$ , локомотива серии ..., поезда весом  $P+Q = \dots$  т.*

$V$	$F_k$	$f_k$	$\omega'_o$	$W'_o$	$\omega''_o$	$W''_o$	$W_o$	$\omega_o$	$f_k - \omega_o$
км/ч	$H$	$H/кН$	$H/кН$	$H$	$H/кН$	$H$	$H$	$H/кН$	$H/кН$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Таблица 6

*Расчет удельных равнодействующих сил при режимах торможения и выбега*

для  $i_p = \dots\%$ , локомотива серии ..., поезда весом  $P+Q = \dots$  т,  
с тормозным коэффициентом  $\mathcal{G} = \dots$ .

$V$	$\omega'_{ox}$	$W'_{ox}$	$W''_o$	$W_{ox}$	$\omega_{ox}$	$\varphi_{кр}$	$b_T$	$\alpha b_T$	$\omega_{ox} + b_T$	$\omega_{ox} + \alpha b_T$
км/ч	Н/кН	кН	кН	кН	Н/кН		Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

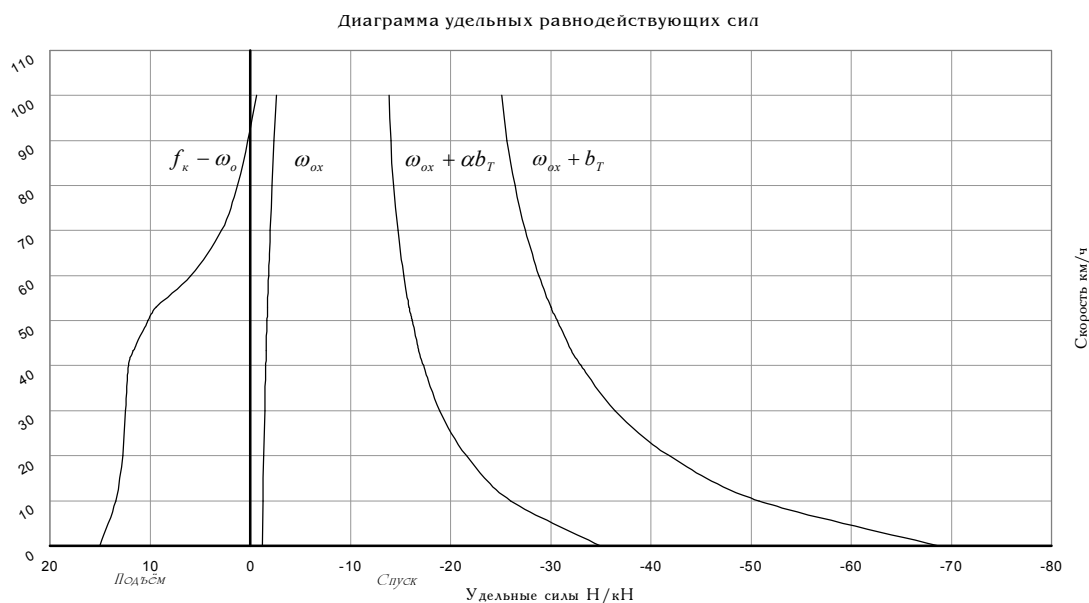


Рисунок 3 Диаграмма удельных равнодействующих сил в различных режимах движения поезда

Таблица 5 заполняется согласно нижеследующим указаниям, представленным по номерам граф:

1. Заносятся значения скорости от  $v=0$  до  $v_{констр}$  с шагом  $\Delta v=5$  км/ч, с обязательным внесением скоростей, соответствующих точкам перелома тяговой характеристики локомотива, а также расчетной скорости локомотива,  $v_p$ ;
2. Записываются величины силы тяги в кН;
3. Величина удельной силы тяги определяется формулой:

$$f_k = \frac{F_k}{P+Q}; \quad (32)$$

4. Основное удельное сопротивление локомотива, по ф-ле (2);
5. Основное полное сопротивление локомотива:

$$W'_o = \omega'_o P; \quad (33)$$

6. Средневзвешенное удельное сопротивление вагонов, определяемое по методике раздела 2.2.1;
7. Полное сопротивление состава:

$$W''_o = \omega''_o Q; \quad (34)$$

8. Полное сопротивление поезда:

$$W_o = W_o' + W_o'' ; \quad (35)$$

9. Средневзвешенное удельное сопротивление поезда:

$$\omega_o = \frac{W_o}{P + Q} ; \quad (36)$$

10. Удельная равнодействующая сила в режиме тяги.

*Показателем правильности вычислений служит равенство, соблюдающееся при расчетной скорости  $v_p$ :*

$$f_k - \omega_o = i_p ; \quad (37)$$

где допускается разница до  $\pm 0.01$ , за счет:

- ✓ точности расчетов;
- ✓ округления веса поезда за счет подбора числа вагонов, из за чего разница между расчетным и практическим весом состава может достигать  $\pm 50$  т;

Тормозной коэффициент вычисляется по числу оборудованных тормозами вагонов в поезде, по формуле:

$$g = \frac{\sum K_p}{P + Q} ; \quad (38)$$

где  $\sum K_p$  – сумма сил нажатий тормозных колодок;

$$\sum K_p = K_{лок} m_{лок} + \sum_1^n K_{(i)} i n_{(i)} ; \quad (39)$$

где  $K_{лок}$  сила нажатий тормозных колодок локомотива;  $K_{(i)}$  сила нажатия тормозных колодок  $i$ - осного вагона;  $i$ - число тормозных осей у  $i$ - осного вагона;

Таблица 5 заполняется аналогичным образом, по номерам граф, куда заносятся:

1. Значения скорости от  $v=0$  до  $v_{констр}$  с шагом  $\Delta v=5$  км/ч, с обязательным внесением скоростей, соответствующих точкам перелома тяговой характеристики локомотива, а также расчетной скорости локомотива,  $v_p$  ;
2. Удельное сопротивление локомотива в режиме выбега, определяемое по формуле:

$$\omega'_{ox} = 2,4 + 0,011v + 0,00035v^2 ; \quad (40)$$

3. Полное сопротивление локомотива:

$$W'_{ox} = \omega'_{ox} P ; \quad (41)$$

4. Полное сопротивление состава, не зависящее от режима движения поезда, переносится из табл. 4;

5. Полное сопротивление поезда в режиме выбега:

$$W = +W'_{ox} ; \quad (42)$$

6. Удельное сопротивление поезда в режиме холостого хода:

$$\omega_{ax} = \frac{W_{ax}}{P + Q}; \quad (43)$$

7. Расчетный коэффициент трения колодок о бандаж колеса:

Таблица 7

*Тормозной коэффициент в зависимости от материала колодок*

<i>Вид материала колодок</i>	<i>Тормозной коэффициент</i>
Стандартные чугунные	$\varphi_{кр} = 0,27 \frac{v + 100}{5v + 100}$
Чугунные, с повышенным содержанием фосфора	$\varphi_{кр} = 0,3 \frac{v + 100}{5v + 100}$
Композиционные колодки	$\varphi_{кр} = 0,36 \frac{v + 100}{2v + 150}$

8. Удельная тормозная сила, применяемая машинистом при экстренном торможении поезда:

$$b_T = 1000\varphi_{кр}g_p; \quad (44)$$

9. Удельная тормозная сила при служебном торможении, когда тормозная сила используется не полностью (например, на подходе к остановочным пунктам, заранее известным машинисту). При служебном торможении используется около половины тормозной силы экстренного торможения.

10. Полные удельные силы экстренного торможения с учетом силы основного сопротивления состава на холостом ходу.

11. Полные удельные силы служебного торможения с учетом силы основного сопротивления состава на холостом ходу.



## 5. Решение тормозной задачи

Наиболее часто встречающаяся формулировка тормозной задачи:

- ✓ найти наибольшую допустимую скорость движения поезда, с которой он может следовать по элементу продольного профиля заданной крутизны, чтобы при необходимости он мог быть остановлен экстренным торможением в пределах установленного тормозного пути.

Расчетная длина тормозного пути состоит из двух участков движения, м:

$$s_m = s_n + s_o; \quad (45)$$

Расчетная ситуация принимаемая при решении тормозной задачи, выглядит следующим образом:

- ✓ Поезд расчетной массы движется с конструкционной скоростью на спуске, уклон коего равен руководящему;

### 5.1 Время и путь подготовки к торможению

Время подготовки к торможению определяется аналитическим путём, в зависимости от числа осей в составе:

- при 200 и менее осей, тормоза автоматические, с:

$$t_n = 7 - \frac{10i}{b_T}; \quad (46)$$

- от 200 до 300 осей, тормоза автоматические, с:

$$t_n = 10 - \frac{15i}{b_T}; \quad (47)$$

- более 300 осей, тормоза автоматические, с:

$$t_n = 12 - \frac{18i}{b_T}; \quad (48)$$

- путь подготовки к торможению- нажатие колодок на бандажи колёс постепенно возрастает, но существенного снижения скорости ещё не происходит, определяется формулой, м:

$$s_n = \frac{v_n t_n}{3,6}; \quad (49)$$

### 5.2 Действительный тормозной путь

Действительный путь торможения- путь, на котором действует полная расчетная тормозная сила, а скорость достигает требуемой величины.

Эта часть тормозного пути может находится различными способами, приведенными ниже.

### 5.2.1 Расчет тормозного пути суммированием

Действительный тормозной путь можно вычислить суммированием тормозных путей, полученных в малых интервалах изменения скорости, при условии, что в этих малых интервалах можно принять постоянными тормозную силу  $b_T$ , удельное сопротивление  $\omega_{ox}$  и уклон  $i$ .

$$s_{\delta} = \sum \frac{500(v_n^2 - v_k^2)}{\zeta(b_T + \omega_{ox} + \omega_i)}; \quad (50)$$

где  $v_n, v_k$  - начальный и конечный интервалы скоростей, км/ч;  $\zeta=120$  - замедление поезда под действием удельной замедляющей силы;  $\omega_i$  - сопротивление от уклона;

Расчетный интервал скоростей принимается в настоящем расчете  $\Delta v=10$  км/ч.

Удельная тормозная сила  $b_T$  и сопротивление движению поезда на холостом ходу берется из табл. 7 в середине расчетного интервала скоростей.

Проведенный расчет сводится в таблицу.

Таблица 8

Расчет действительного тормозного пути суммированием для  $\zeta=...$  локомотива серии ..., поезда весом  $P+Q=...$  т, с тормозным коэффициентом  $\mathcal{B}=...$

$V_n$	$V_k$	$\omega_{ox}$	$b_T$	$\omega_i$	$s_{\delta i}$
км/ч	км/ч	Н/кН	Н/кН	‰	м
1	2	6	8	9	10

## *6. Список использованной литературы*

1. Правила тяговых расчетов для поездной работы. —М, Транспорт 1985 г.
2. Горинов А.В. и др. Изыскание и проектирование железных дорог. —М, Транспорт, 1969 г.
3. Гребенюк П.Т., Долганов А.Н., Скворцова А.И. Тяговые расчеты: Справочник./Под ред. Гребенюка П.Т. —М, Транспорт, 1987

<b>1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЕЗДА .....</b>	<b>4</b>
2.1 РАСЧЕТНАЯ ТЯГОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛОКОМОТИВА.....	4
2.1.1 Построение расчетной тяговой характеристики.....	4
2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОСТАВА ПОЕЗДА.....	5
2.2.1 Определение основных удельных сопротивлений локомотива и различных видов подвижного состава .....	5
2.2.2 Определение удельного сопротивления состава.....	6
2.2.3 Определение веса поезда.....	7
2.2.4 Проверка по троганью с места.....	8
2.2.5 Определение длины поезда.....	8
<b>3. ПОДГОТОВКА ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ .....</b>	<b>10</b>
3.1 СПРЯМЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ.....	10
3.1.1 Теоретические основы спрямления профиля.....	10
3.1.2 Пример спрямления профиля.....	10
3.2 УЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ КРИВЫХ .....	11
<b>4. ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ УДЕЛЬНЫХ РАВНОДЕЙСТВУЮЩИХ СИЛ.....</b>	<b>14</b>
4.1.1 Теоретические основы.....	14
4.1.2 Расчет таблиц удельных равнодействующих сил .....	14
<b>5. РЕШЕНИЕ ТОРМОЗНОЙ ЗАДАЧИ .....</b>	<b>18</b>
5.1 ВРЕМЯ И ПУТЬ ПОДГОТОВКИ К ТОРМОЖЕНИЮ .....	18
5.2 ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЙ ТОРМОЗНОЙ ПУТЬ.....	18
5.2.1 Расчет тормозного пути суммированием.....	19
<b>6. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>20</b>