

13/5/10

Одобрено кафедрой
«Локомотивы и локомотивное
хозяйство»

ТЕОРИЯ ЛОКОМОТИВНОЙ ТЯГИ

Лабораторные работы
для студентов V курса
специальности
190301 ЛОКОМОТИВЫ (Т)



ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Учебным планом по дисциплине «Теория локомотивной тяги» предусмотрены лабораторные работы, которые должны закрепить у студентов теоретические знания по наиболее сложному разделу дисциплины — тяговым расчетам. Исходным при решении всех тяговых задач является **уравнение движения поезда**, которое базируется на втором законе Ньютона.

Уравнение движения поезда в общем виде:

$$dv/dt = \xi(f_k \pm w_k - b_t),$$

где v — скорость движения поезда, км/ч;

t — время движения, ч;

dv/dt — ускорение поезда, км/ч²;

f_k — удельная сила тяги локомотива, Н/кН;

w_k — удельная сила сопротивления движению поезда, Н/кН;

b_t — удельная тормозная сила поезда, Н/кН;

ξ — коэффициент уравнения, $\xi = 120 \frac{\text{км}}{\text{ч}^2} / \frac{\text{Н}}{\text{кН}}$.

В уравнении движения поезда:

$$f_k = \frac{F_k}{(P+Q)g} \frac{\text{Н}}{\text{кН}}; \quad w_k = \frac{W_k}{(P+Q)g} \frac{\text{Н}}{\text{кН}}; \quad b_t = \frac{B_t}{(P+Q)g} \frac{\text{Н}}{\text{кН}},$$

где F_k — касательная сила тяги, создаваемая локомотивом, Н;

W_k — сопротивление движению поезда (основное и дополнительное), Н;

B_t — тормозная сила, приложенная к поезду, Н;

P — масса локомотива, т;

Q — масса состава, т;

$P + Q$ — масса поезда, т;

g — ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с².

Различают три режима движения поезда:

Составитель — канд. техн. наук, проф. В.Д. Шаров

Рецензент — канд. техн. наук, доц. А.В. Скалин

режим тяги: тормозные силы отсутствуют, уравнение движения принимает вид

$$dv/dt = \xi(f_k \pm w_k)^*;$$

режим холостого хода (выбега): тяговые и тормозные силы отсутствуют, уравнение движения принимает вид

$$dv/dt = \xi(w_k);$$

режим торможения: тяговые силы отсутствуют, уравнение движения поезда принимает вид

$$dv/dt = \xi(\pm w_k - b_r).$$

Решение уравнения движения позволяет определить скорость движения, пройденный путь и время хода поезда на заданном участке, а тяговые расчеты в целом дают возможность рассчитать массу состава, расход электроэнергии или дизельного топлива, определить температуру нагревания электрических тяговых машин локомотива.

Решается уравнение движения поезда двумя методами:

графический метод решения позволяет наглядно исследовать физику движения поезда и технологию управления локомотивом. Графики скорости и времени движения поезда напоминают графическое изображение параметров движения поезда на скоростемерной ленте. В связи с наглядностью этот метод применяется для решения уравнения движения поезда в курсовом проекте;

численный метод решения позволяет определить время хода поезда и пройденный путь в заданном диапазоне изменения скорости с помощью математических формул. Метод позволяет выполнять тяговые расчеты на ЭВМ и в настоящее время используется на сети железных дорог.

* Удельные силы дополнительного сопротивления при движении поезда по спуску могут превышать удельные силы основного сопротивления. Тогда суммарная сила w_k будет направлена в сторону движения поезда и иметь знак (+).

В отдельную группу тяговых расчетов выделяются **тормозные задачи:**

определение допустимой скорости движения поезда по уклону заданной крутизны при заданной длине тормозного пути и известной оснащённости поезда тормозными средствами;

определение длины тормозного пути при заданной начальной скорости и крутизне уклона и известной оснащённости поезда тормозными средствами;

определение необходимых тормозных средств поезда при заданных начальной скорости, крутизне уклона и длине тормозного пути.

Первые две задачи называют задачами первого рода, третью задачу называют задачей второго рода. Наиболее часто приходится решать первую задачу по ограничению скоростей движения поездов на крутых спусках. Вторую задачу решают чаще всего при проверке эффективности действия тормозного оборудования поезда. Третью задачу решают при разработке новых конструкций подвижного состава, например поездов для скоростных пассажирских перевозок.

Первую задачу в курсовом проекте решают графическим методом.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРУТИЗНЫ РАСЧЕТНОГО ПОДЪЕМА НА РАСЧЕТНУЮ МАССУ СОСТАВА

Для выполнения тяговых расчетов необходимо выбрать на заданном участке расчетный подъем и определить массу состава. Масса состава в значительной степени зависит от крутизны расчетного подъема и определяется по формуле

$$Q = \frac{F_{\text{кр}} - (w'_o + i_p)Pg}{(w''_o - i_p)g};$$

где Q — расчетная масса состава, т;

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

P — масса локомотива, т;

w'_o — основное удельное сопротивление локомотива, Н/кН;

w''_o — основное удельное сопротивление состава, Н/кН;

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

i_p — крутизна расчетного подъема, ‰.

Для построения графической зависимости расчетной массы состава от крутизны расчетного подъема необходимо определить Q для четырех значений i_p :

$$i_{p1} = 0 \div 2\text{‰}; \quad i_{p2} = 3 \div 5\text{‰}; \quad i_{p3} = 6 \div 8\text{‰}; \quad i_{p4} = 10 \div 12\text{‰}.$$

По результатам расчетов построить график $Q = f(i_p)$ и сделать соответствующие выводы.

В расчетах принять: $F_{\text{кр}}$, P — по заданию из курсового проекта; $w'_o = 2,3$ Н/кН; $w''_o = 1,0$ Н/кН.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРУТИЗНЫ СПУСКА НА ДЛИНУ ТОРМОЗНОГО ПУТИ ПОЕЗДА, ОБОРУДОВАННОГО АВТОМАТИЧЕСКИМИ ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ ТОРМОЗАМИ

В лабораторной работе вторую задачу из группы тормозных задач решают численным методом (эта задача может быть решена графическим методом, как и первая задача в курсовом проекте).

Тормозной путь S_T , м, в соответствии с Правилами тяговых расчетов (ПТР) определяют по формуле

$$S_T = S_n + S_\partial, \text{ м},$$

где S_n — подготовительный тормозной путь;

S_∂ — действительный тормозной путь.

Подготовительный тормозной путь зависит от начальной скорости движения поезда в начале торможения V_n (принять $V_n = 90$ км/ч) и времени подготовки тормозов к действию t_n :

$$S_n = 0,278 V_n t_n, \text{ м}.$$

Время t_n (сек) подготовки тормозов к действию зависит от удельной тормозной силы b_T крутизны спуска $i_{\text{сп}}$ и количества осей (колесных пар) в составе. Состав, для которого будет решаться данная тормозная задача, имеет 286 осей.

$$t_n = 10 - 15(i_{\text{сп}})/b_T.$$

В эту формулу величину $i_{\text{сп}}$ подставляют со знаком (-). Тормозной путь определяют для четырех значений $i_{\text{сп}}$: $i_{\text{сп}1} = -6\text{‰}$; $i_{\text{сп}2} = -8\text{‰}$; $i_{\text{сп}3} = -10\text{‰}$; $i_{\text{сп}4} = -12\text{‰}$.

Удельную тормозную силу b_T для скорости V_n (принято $V_n = 90$ км/ч) определяют по формуле

$$b_T = 1000 \varphi_{\text{кр}} \vartheta_p,$$

где $\varphi_{\text{кр}}$ — расчетный коэффициент трения тормозной колодки и поверхности колеса;

ϑ_p — расчетный тормозной коэффициент, кН/кН.

$$\varphi_{кр} = 0,36 \cdot \frac{V+150}{2V+150} = 0,261 \text{ (композиционные тормозные колодки, скорость } V_n = 90 \text{ км/ч).}$$

$$\vartheta = \sigma k_p n / Qg = \frac{0,96 \cdot 41,5 \cdot 286}{6100 \cdot 9,81} = 0,187 \text{ кН/кН,}$$

здесь σ — доля тормозных колесных пар в составе (принято 0,96);

k_p — расчетное нажатие композиционных тормозных колодок одной колесной пары, 41,5 кН/ось;

Q — масса состава, т;

n — количество осей в составе.

Тогда для скорости $V_n = 90$ км/ч

$$b_T = 1000 \cdot 0,261 \cdot 0,187 = 48,81 \text{ Н/кН.}$$

Для четырех значений $i_{сп}$ получаем четыре значения подготовительного тормозного пути $S_{п1}, S_{п2}, S_{п3}, S_{п4}$. После чего необходимо определить четыре значения действительного тормозного пути, а затем построить график зависимости длины полного тормозного пути от крутизны спуска.

Действительный тормозной путь S_{∂} определяют по формуле

$$S_{\partial} = \frac{4,17(V_k^2 - V_n^2)}{i_{сп} - (w_{ок} + b_T)_{сп}},$$

где $w_{ок}$ — основное удельное сопротивление поезда при движении локомотива без тяги;

V_n, V_k — интервал скорости для которого определяется пройденный путь. В соответствии с ПТР приемлемая точность расчетов соответствует интервалу 10 км/ч.

Таким образом, действительный тормозной путь будет складываться из тормозных путей, проходимых поездом при снижении скорости от 90 до 80 км/ч, от 80 до 70 км/ч от

10 до 0 км/ч. Силы $w_{ок}$ и b_T рассчитывают для средней скорости интервала и направлены в сторону, противоположную движению поезда, поэтому в формуле они включены со знаком (-). Дополнительное сопротивление от спуска направлено в сторону движения поезда и в формуле имеет знак (+).

Числовые значения суммы $(w_{ок} + b_T)_{сп}$ для соответствующих скоростных интервалов определены в соответствии с ПТР и приведены в таблице*.

Результаты расчета удельных равнодействующих сил поезда и длин тормозных путей в пределах скоростных интервалов

Скоростной интервал, км/ч	Удельная равнодействующая сила поезда $w_{ок} + b_T$, Н/кН	Действительный тормозной путь в скоростном интервале			
		$i_{сп1} = -6\text{‰}$	$i_{сп2} = -8\text{‰}$	$i_{сп3} = -10\text{‰}$	$i_{сп4} = -12\text{‰}$
90–80	51, 65				
80–70	52, 53				
70–60	53, 43				
60–50	54, 55				
50–40	56, 25				
40–30	57, 79				
30–20	60, 11				
20–10	62, 81				
10–0	66, 32				
Суммарная длина действительного тормозного пути S_{∂}					
Длина полного тормозного пути $S_T = S_{п} + S_{\partial}$					

По табличным данным необходимо построить график $S_T = f(i_{см})$ и сделать соответствующие выводы.

* Хуторянский Н.М. Решение тормозных задач: Уч. пос. — М.: ВЗИИТ, 1989. — 50 с.

ТЕОРИЯ ЛОКОМОТИВНОЙ
ТЯГИ

Лабораторные работы для студентов V курса

Редактор *В.И. Чучева*
Компьютерная верстка *О.А. Денисова*

Тип. зак.	Изд. зак. 283	Тираж 400 экз.
Подписано в печать 06.10.07	Гарнитура Times	Офсет
Усл. печ. л. 0,75		Формат 60×90 _{1/16}

Издательский центр РГОТУПСа,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати РГОТУПСа,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2