Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института, т. XXXIII, вып. I, 1956 г.

ОБ ОПТИМАЛЬНОМ СООТНОШЕНИИ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ РУДНИЧНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

А. М. Факторович

Вес поезда в расчетах рудничной электровозной тяги принимается по наименьшему значению, определяемому из условий сцепного веса электровоза, нагревания тяговых двигателей и торможения поезда.

Одно из перечисленных условий в каждом конкретном случае в зависимости от основных технических параметров электровоза и условий транспортирования является ограничивающим и определяет величину состава.

В рассматриваемом случае из основных технических параметров электровоза имеют решающее значение параметры сцепного веса, длительной силы тяги и длительной скорости электровоза. Совершенно очевидно, что рациональное соотношение между величинами этих параметров представляет значительный интерес, так как оно дает возможность при прочих равных условиях допустить большую величину состава.

Как показывают подсчеты, наиболее частым ограничением величины состава является условие торможения.

В практике работы рудничного электровозного транспорта торможение поезда в основном осуществляется тормозными средствами локомотива. Тормозные вагонетки применяются исключительно редко, так как рудничные вагонетки пока не изготавливаются с тормозами автоматического действия и на каждую тормозную вагонетку требуется рабочий. Это резко снижает производительность труда и увеличивает стоимость транспортирования.

На допустимую величину состава поезда, по условиям торможения, в основном влияет скорость движения поезда в начале торможения.

В тяговых расчетах скорость движения поезда в начале торможения принимается равной установившейся скорости движения электровоза, которая в обычных условиях рудничного транспорта равна или несколько больше длительной скорости электровоза и только иногда бывает меньше ее.

В общем случае скорость движения поезда в начале торможения

$$v_т = v_у = k_т v_д, \qquad (1)$$

где $v_у$, $v_д$ — соответственно, установившаяся скорость поезда и длительная скорость электровоза;

$k_т$ — коэффициент пропорциональности.

Как показывает практика расчетов рудничного электровозного транспорта, отдельные типы электровозов, например 14 КР 900, имеют

настолько бо́льшую длительную скорость, что допустимая величина состава по условию торможения в несколько раз меньше, чем по условиям сцепного веса электровоза и нагревания тяговых двигателей. В связи с этим при установлении основных параметров новых типов электровозов величина длительной скорости электровоза должна назначаться с учетом тормозных условий.

Определим максимальное значение длительной скорости электровоза, которое может быть допущено по условию торможения, когда торможение поезда предусматривается собственными средствами локомотива. В этом случае, чем больше длительная скорость электровоза, тем при прочих равных условиях больше установившаяся скорость движения поезда и скорость движения в начале торможения, а следовательно, тем меньше может быть допущен вес поезда по условию торможения.

Таким образом, максимальная длительная скорость электровоза по условию торможения может быть принята такой, при которой вес поезда будет практически минимально допустимым.

По данным эксплуатационной практики, абсолютное значение минимально допустимой величины веса поезда колеблется в широких пределах и в основном зависит от сцепного веса локомотива. В связи с этим минимально допустимая величина прицепного веса поезда может быть принята не менее величины сцепного веса электровоза, так как меньший вес поезда обычно не применяется.

Это положение можно представить на основании формулы, рекомендованной С. А. Волотковским [1],

$$G_c = \frac{1000\psi'' P}{\frac{55 v_т^2}{l_т} - w''} - P \geqslant P, \qquad (2)$$

где G_c — прицепной вес поезда, $т$;

P — сцепной вес электровоза, $т$;

ψ'' — коэффициент сцепления электровоза с рельсами при движении;

w'' — удельное ходовое сопротивление движению вагонетки, $кг/т$;

$l_т$ — путь торможения, $м$;

i — уклон рельсовых путей, $‰$.

В формуле (2) величина $v_т$ при данной характеристике тяговых двигателей постоянного тока последовательного возбуждения и, в частности, при данной величине длительной скорости электровоза зависит при прочих равных условиях от веса поезда и не является независимой переменной. Однако при переменном значении длительной скорости электровоза, как ее следует рассматривать при выборе рациональной величины длительной скорости вновь конструируемых электровозов, требуемая условиями торможения величина $v_т$ при любой величине состава может быть обеспечена выбором соответствующей величины длительной скорости электровоза.

В связи с указанным, формулу (2) следует считать пригодной для решения вопроса о рациональной величине скорости установившегося движения поезда и длительной скорости электровоза.

Решим уравнение (2) относительно $v_т$. После соответствующих преобразований

$$v_т \leqslant \sqrt{\frac{(500\psi'' + w'' - i)\, l_т}{55}} \qquad (3)$$

Заменим в уравнении (3) величину $v_т$ ее значением из выражения (1) и решим уравнение (3) относительно $v_д$. Получим

$$v_д \leqslant \frac{1}{k_т} \sqrt{\frac{(500\psi'' + w'' - i)\, l_т}{55}}. \qquad (4)$$

Подставим в выражение (4) обычно применяемые при проектировании средние значения расчетных величин: $\psi''=0{,}17$, $l_т=40$ *м* и $w''=7$, 6, 5 и 4 *кг/т* соответственно для вагонеток грузоподъемностью $G=1$, 2, 3 и 5 *т*.

Необходимо также установить расчетное значение коэффициента $k_т$, величина которого зависит от степени нагрузки тяговых двигателей: $k_т=1$ при 100-процентной нагрузке тяговых двигателей и увеличивается с уменьшением их нагрузки. В рассматриваемом случае, когда вес состава минимальный (примерно равен сцепному весу электровоза), величина коэффициента $k_т$ имеет максимальное значение и, как показывают подсчеты, находится в пределах 1,5—2.

Результаты подсчетов по формуле (4), сведенные в табл. 1, приводят к следующему выводу: когда торможение поезда осуществляется тормозными средствами электровоза и уклон рельсовых путей равен 3—4‰ — длительная скорость электровоза должна быть не более 3,9—5,4 *м/сек*.

Таблица

Максимальные значения длительной скорости электровоза

G	1000	2000	3000	5000
$k_т$	1,5			
	3			
$v_д$	5,4	5,3	5,3	5,2
	4			
$v_д$	5,3	5,3	5,2	5,2
$k_т$	2			
	3			
$v_д$	4,1	4	4	3,9
	4			
$v_д$	4	4	3,9	3,9

С уменьшением длительной скорости электровоза при прочих равных условиях увеличивается допустимая величина состава по тормозным условиям, но вместе с тем увеличивается и длительность рейса электровоза. В связи с этим возникает вопрос о характере изменения производительности электровоза в рассматриваемом случае. Для решения его найдем выражение производительности электровоза в функции скорости движения поезда в начале торможения. Производительность электровоза в общем виде

$$Q_э=\frac{1800G_c v_у}{k_1 L}=\frac{1800G_c v_т}{k_1 L},\ т/час, \qquad (5)$$

где k_1 — коэффициент, учитывающий время маневров;

L — расстояние транспортирования, *м*.

Подставим в выражение (5) вместо G_c его значение из уравнения (2). Тогда

$$Q_э=\left(\frac{18\cdot 10^5\psi''}{\frac{55v_т^2}{l_т}-w''+i}-1\right)\frac{P}{k_1 L} \qquad (6)$$

Как показывает анализ выражения (6), если ограничивающим фактором величины состава являются тормозные условия, для увеличения производительности электровоза целесообразно уменьшить скорость движения поезда в начале торможения, так как при этом возможно увеличить вес поезда в значительно большей степени, чем уменьшена скорость.

Оптимальное соотношение между основными техническими параметрами электровоза, очевидно, будет такое, при котором будут использованы его параметры на полную техническую возможность. Это положение будет иметь место в том случае, когда вес поезда, определяемый по всем трем указанным выше условиям, получится одинаковым.

Таким образом, для решения задачи оптимального соотношения между основными техническими параметрами электровоза необходимо найти выражение, определяющее вес поезда, который удовлетворял бы в совершенно равной степени всем трем условиям.

Чтобы определить вес поезда, который в равной степени удовлетворял бы условиям сцепного веса электровоза и торможения состава, приравняем выражения величины веса поезда в зависимости от этих двух условий.

$$\frac{1000\psi' P}{w' + i + 110a_0} = \frac{1000\psi'' P}{\frac{55v_т^2}{l_т} - w'' + i}, \qquad (7)$$

где ψ' — коэффициент сцепления электровоза с рельсами при пуске;

w' — удельное пусковое сопротивление движению груженой вагонетки, *кг/т*;

a_0 — пусковое ускорение поезда, *м/сек²*.

Решим уравнение (7) относительно $v_т$ и, имея в виду, что $v_т = k_т v_д$, получим

$$v_д = \frac{1}{k_т}\sqrt{\frac{[\psi''(w' + i + 110a_0) - \psi'(i - w'')]\, l_т}{55\psi'}} \qquad (8)$$

Выражение (8) определяет длительную скорость электровоза, при которой максимальный вес поезда по условию торможения равен максимальному весу поезда по условию сцепного веса электровоза.

Подставим в выражение (8) обычно принимаемые при проектировании средние значения расчетных величин: $\psi' = 0{,}24$, $a_0 = 0{,}05$ *м/сек²*, $k_т = 1$, $w' = 9$, 8, 7 и 6 *кг/т* соответственно для вагонеток грузоподъемностью 1, 2, 3, 4 и 5 *т*; ψ'', $l_т$ и w'' — по предыдущему.

Таблица 2

Длительная скорость электровоза, при которой вес поезда по условиям сцепного веса электровоза равен весу поезда по условию торможения состава

G		2000	3000	5000
	3			
	3,5	3,3	3,1	2,9
	4			
$v_д$	3,4	3,2	3,0	2,8

На основании табл. 2 и формулы (8) можно сделать следующий вывод: если длительная скорость электровоза меньше скорости, определяе-

мой из выражения (8), т. е. меньше 2,8—3,5 *м/сек*, то тормозные условия не будут ограничивающим фактором веса поезда. Если же длительная скорость электровоза будет больше указанных величин, то одним из лимитирующих факторов веса поезда являются тормозные условия.

Чтобы найти величину веса поезда, в равной степени удовлетворяющую условиям торможения состава и нагревания тяговых двигателей электровоза, приравняем выражения веса поезда в зависимости от этих двух условий

$$\frac{1000\psi'' P}{\frac{55v_т^2}{l_т} - w''} = \frac{F_д}{\alpha_м \sqrt{\frac{T}{T+\theta}}\,(w'' - i_р)}, \tag{9}$$

где правая часть равенства — выражение, предложенное С. А. Волотковским [1] для определения величины состава по условию нагревания тяговых двигателей;

$F_д$ — длительная сила тяги электровоза, *кг*;

$\alpha_м$ — коэффициент, учитывающий работу двигателей электровоза во время маневров;

T — продолжительность движения электровоза в течение одного рейса, сек.;

θ — время маневров электровоза за один рейс, сек.;

$i_р$ — уклон равного сопротивления, $^0/_{00}$.

Имея в виду, что $v_т = k_т v_д$ и $T \approx \frac{2L}{0{,}75v_д}$, можно представить уравнение (9) в следующем виде:

$$\frac{1000\psi'' P}{\frac{55k_т^2 v_д^2}{l_т} - w'' + i} = \frac{F_д}{\alpha_м \sqrt{\frac{1}{1+\frac{0{,}75\theta v_д}{2L}}}\,(w'' - i_р)} \tag{10}$$

Решим уравнение (10) относительно величины $\frac{F_д}{1000P}$

$$\frac{F_д}{1000P} = \frac{\psi''\alpha_м \sqrt{\frac{1}{1+\frac{0{,}75\theta v_д}{2L}}}\,(w'' - i_р)}{\frac{55k_т^2 v_д^2}{l_т} - w'' + i}. \tag{11}$$

Аналогично выражению (11), исходя из равенства веса поезда по условиям сцепного веса электровоза и нагревания тяговых двигателей

$$\frac{F_д}{1000P} = \frac{\psi'\alpha_м \sqrt{\frac{1}{1+\frac{0{,}75\theta v_д}{2L}}}\,(w'' - i_р)}{w' + i + 110a_0}. \tag{12}$$

С помощью уравнений (11) и (12) можно найти оптимальное соотношение величин сцепного веса и длительной силы тяги электровоза. Для этого в уравнение (11) или (12) подставим значение величины $v_д$ (согласно выражению (8) или табл. 2), величин ψ', ψ'', w'', i, $l_т$ (по вышеприведенным данным) и остальные величины по их значениям, обеспечивающим нормальную работу электровоза при наиболее трудных условиях транспортирования: $\alpha_м = 1{,}3$, $i_р = 2\ ^0/_{00}$, $\theta = 600$ сек. и $L = 3000 - 5000$ *м*. Результаты подсчетов сведены в табл. 3.

Таблица 3

Зависимость величины $\frac{F_д}{1000P}$ от G, L

G	1000		2000		3000		5000	
	3	4	3	4	3	4	3	4
L	3000	3000	4000	4000	5000	5000	5000	5000
$\frac{F_д}{1000P}$	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05

Сравним найденные значения величин $v_д$ и $\frac{F_д}{1000P}$ с теми же величинами рудничных контактных электровозов постоянного тока, выпускаемых отечественной промышленностью (табл. 4).

Таблица 4

Основные технические параметры рудничных контактных электровозов постоянного тока

Тип электровоза	7КР 600	7КР 900	10КР 600	10КР 900	14КР 900
P	6,5	7	8,3	9,2	14
$v_д$	4,5	4,5	4,5	4,5	5,3
$\frac{F_д}{1000P}$	0,057	0,053	0,045	0,04	0,0465

В результате сопоставления данных табл. 1, 2, 3 с данными табл. 4 можно сделать следующие выводы:

1. Длительная скорость электровозов типов 7КР 600 и 10КР 600 на 30% выше оптимальной. Имея в виду, что расчет производился для наиболее неблагоприятного случая (минимальное значение w''), длительную скорость этих типов электровозов можно считать приемлемой.

2. Длительная скорость электровозов типов 7КР 900 и 10КР 900 на 30—60% выше оптимальной, что следует считать значительным расхождением. Длительная скорость электровоза типа 14КР равна предельно допустимой и на 60—90% выше оптимальной. Это приводит к постоянному ограничению величины состава электровоза тормозными условиями. При этом расчетная величина состава получается настолько малой (10—20 m), что практически не приемлема. Чтобы удовлетворить условию торможения поезда, приходится прибегать к различным средствам понижения скорости установившегося движения и работать на нерациональном режиме. Для более эффективного использования электровозов типов 7КР 900, 10КР 900 и 14КР целесообразно в новых сериях предусмотреть электромагнитные рельсовые тормоза или тормозную систему автоматического действия для вагонеток, или же снизить длительную скорость электровозов.

3. Величина $\frac{F_д}{1000P}$ для всех типов электровозов мало отличается от оптимальной величины, соответствующей случаю транспортирования

вагонетками грузоподъемностью 3 и 5 *т*, и резко отличается от оптимальной величины, соответствующей случаю транспортирования вагонетками грузоподъемностью 1 и 2 *т*. Учитывая, что электровоз типа 14КР 900 в основном применяется для транспортирования вагонеток грузоподъемностью 5 и 3 *т*, существующее соотношение для этого типа электровоза можно считать приемлемым. Для других типов электровозов это соотношение целесообразно повысить.

Литература

1. Волотковский С. А. Рудничная электровозная тяга. Углетехиздат, 1951.