

О ВОПРОСЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ТОРМОЗНОГО ПУТИ НА ВЕЛИЧИНУ СОСТАВА РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

В. А. ТИМОФЕЕВ

(Представлено научным семинаром горномеханического факультета)

Большие задачи, стоящие перед угольной промышленностью в части дальнейшего развития и увеличения добычи шахт, могут быть надлежащим образом решены лишь при проведении полной комплексной механизации и автоматизации всех шахтных производственных процессов.

Одним из наиболее важных производственных процессов внутри шахты является транспортировка полезного ископаемого от погрузочных пунктов участков до околоствольного двора. В настоящее время основным видом транспорта по основным горизонтальным выработкам является электровозный транспорт в силу значительных преимуществ его перед другими видами транспорта. Поэтому повышение эффективности работы подземной электровозной откатки является одной из важнейших задач увеличения производительности шахт в настоящее время.

Помимо количественного роста электровозного парка одним из направлений дальнейшего развития подземной электровозной откатки является внедрение тяжелых типов электровозов, имеющих значительные сцепной вес, мощность тяговых двигателей и скорость длительного режима. Если раньше имели дело лишь с семитонными контактными и аккумуляторными электровозами, то теперь наибольшее распространение получили 10-тонные контактные и 8—8,5-тонные аккумуляторные электровозы и начинают внедряться в горную промышленность 12-тонные аккумуляторные и 14-тонные контактные электровозы, соответственно возросли мощность тяговых двигателей, длительная сила тяги и длительная скорость электровоза. Так, если часовая мощность двух тяговых двигателей 7 или 10-тонного контактного электровоза составляет 41,2 *квт*, длительная сила тяги 370 *кг*, а длительная скорость 16 *км/час* (4,4 *м/сек*), то для 14-тонного контактного электровоза указанные показатели выражаются соответственно цифрами 92 *квт*, 600 *кг*, 19 *км/час* (5,3 *м/сек*). Указанные цифры не являются пределом, и в будущем с ростом производительности шахт следует ожидать дальнейшего увеличения сцепного веса, мощности и других показателей электровозов, что подтверждается практикой американских шахт.

Другим направлением дальнейшего развития подземного электровозного транспорта является увеличение емкости вагонеток, внедре-

ние 3,5 и даже 10-тонных вагонеток взамен однотоновых и частично двухтонных. Это обстоятельство в известной степени имеет отношение к рассматриваемому вопросу, поскольку удельное сопротивление движению большегрузных вагонеток ниже, чем сопротивление движению вагонеток малой емкости, и, следовательно, при всех прочих равных условиях при применении большегрузных вагонеток вес состава поезда получается больше, чем при вагонетках малой емкости. Кроме этого, при этом снижаются внутренние тормозные возможности, внутренние тормозные средства самого состава, так, что при всех прочих равных условиях тормозной путь состава поезда, составленного из большегрузных вагонеток, будет больше, чем состава, составленного из вагонеток малой емкости.

Указанные направления в развитии подземной электровозной откатки наряду с другими позволят значительно повысить производительность подземного электровозного транспорта.

Однако внедрение в подземный транспорт электровозов тяжелого типа, способных водить большегрузные составы и обладающих высокими скоростями длительного режима, превышающими 4 м/сек, значительно осложнило вопрос о торможении таких составов на длине пути, допускаемом Правилами безопасности для угольных шахт, которые состоят в том, что тормозной путь не должен превышать 40 м для грузовых составов и 20 м для составов с людьми.

При применении контактных электровозов легких и среднего веса (например 7-тонных) в отношении торможения возможных составов в ряде случаев дело обстоит достаточно удовлетворительно и имеется достаточно удовлетворительное соответствие между величинами состава для таких электровозов, полученных по расчету, исходя из основных условий, а именно: по сцепному весу электровоза, силе тяги, нагреву тяговых двигателей и допустимой длине тормозного пути.

При применении же контактных электровозов тяжелого типа (10-тонных и в особенности 14-тонных) в подавляющем большинстве случаев составы, выбранные по силе тяги, сцепному весу и условию допустимого нагрева тяговых двигателей для таких электровозов, оказываются по условиям торможения на допустимой длине тормозного пути чрезмерно большими или, иначе говоря, состав, выбранный по лимитирующему из указанных условий, не может быть заторможен на длине пути, допускаемой Правилами безопасности. Таким образом, для таких электровозов при нормальных условиях рудничной откатки (т. е. при уклонах 3—5‰) лимитирующим условием для величины состава поезда будет являться допустимая длина тормозного пути или, иначе говоря, тормозные средства электровоза. При этом разница в величине составов, найденных по условиям торможения и по условиям сцепления, силы тяги или нагрева, может быть значительной. Необходимо отметить, что все вышесказанное имеет отношение лишь к контактным электровозам постоянного тока. Для применяющихся в нашей промышленности акумуляторных и конденсаторных электровозов, поскольку длительная скорость их не превышает 3 м/сек, лимитирующим условием при выборе величины состава будет являться не величина тормозного пути, так как и акумуляторный и конденсаторный электровозы при нормальных условиях всегда смогут затормозить допустимый для них состав на допустимой длине тормозного пути в 40 м. Лимитирующим условием при выборе величины состава для акумуляторных электровозов в большинстве случаев будет являться нагрев тяговых двигателей, для конденсаторных электровозов условия сцепления колес электровоза с рельсами при пуске

груженого состава на преобладающий подъем с минимальным ускорением.

Поясняем вышесказанное примерами.

Принимаем:

уклон путей $i = 3 \text{ ‰}$; вагонетки с роликовыми подшипниками емкостью $q = 3 \text{ т}$; ходовое сопротивление движению груженой вагонетки $w_{гр} = 5 \text{ кг/т}$; ходовое сопротивление движению порожней вагонетки $w_{пор} = 7 \text{ кг/т}$. Пусковое сопротивление движению груженой вагонетки

$$w_{гр}^1 = 7 \text{ кг/т.}$$

Пусковое сопротивление движению порожней вагонетки

$$w_{пор}^1 = 9 \text{ кг/т.}$$

Указанные значения сопротивления движению рекомендуется принимать при расчете приказом № 270 МУП СССР от 31 мая 1952 г.

Для электровоза 10 КР.

а) Максимально допустимый вес груженого поезда, исходя из условий сцепления при пуске груженого состава на преобладающий (средний) подъем

$$P + Q_{гр} = \frac{1000 \psi P}{w_{гр}^1 + i + 110 J} = \frac{1000 \cdot 0,25 \cdot 10}{7 + 3 + 110 \cdot 0,04} = 173 \text{ т,}$$

где $P = 10 \text{ т}$ —вес электровоза;

$Q_{гр}$ —полный вес груженого состава, т;

ψ —коэффициент сцепления при пуске с подсышкой песка, принимаемый равным 0,25;

J —ускорение при пуске, принимаемое равным $0,04 \text{ м/сек.}^2$

б) Максимально допустимый вес груженого поезда, исходя из условий нагревания, т. е. по силе тяги

$$P + Q_{гр} = \frac{F_{дл}}{\alpha \sqrt{\tau} (w_{гр} - i_{р.с})} = \frac{370}{1,15 \sqrt{0,57} (5 - 2)} = 143 \text{ т,}$$

где $F_{дл} = 370 \text{ кг}$ —длительная сила тяги электровоза;

$i_{р.с} = 2 \text{ ‰}$ —уклон равного сопротивления;

α —коэффициент, учитывающий работу электровоза во время маневров, принимаемый равным 1,15;

τ —относительная продолжительность движения, определяемая по формуле

$$\tau = \frac{T_{дв}}{T_{дв} + \Theta},$$

где $T_{дв}$ —продолжительность движения в оба конца в течение одного рейса, мин;

Θ —общая длительность пауз и маневров, мин.

Продолжительность движения $T_{дв}$ определяется из выражения

$$T_{дв} = \frac{2L \cdot 1000}{60 \cdot 0,75 \cdot V_{уст}},$$

где L —среднее расстояние откатки, принимаемое равным 2 км;

$V_{уст} = 4,4 \text{ м/сек}$ (16 км/час)—установившаяся скорость движения, принимаемая равной длительной скорости движения электровоза.

0,75—коэффициент, учитывающий снижение средней ходовой скорости в периоды пуска, остановки, прохода стрелок, закруглений и т. п.

Тогда

$$T_{\text{об}} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1000}{60 \cdot 0,75 \cdot 4,4} = 20 \text{ мин.}$$

Таким образом, при принятой продолжительности пауз и маневров $\Theta = 15$ мин.

$$\tau = \frac{20}{20 + 15} = 0,57.$$

в) Максимально допустимый вес груженого поезда, исходя из условий торможения груженого состава, идущего с установившейся скоростью вниз по преобладающему уклону, на допустимой длине тормозного пути

$$P + Q_{zp} = \frac{1000 \psi P_t}{110 j_t - W_{zp} + i} = \frac{1000 \cdot 0,20 \cdot 10}{110 \cdot 0,24 - 5 + 3} = 82 \text{ т},$$

где ψ —коэффициент сцепления при торможении с подсыпкой песка, принимаем $\psi = 0,20$;

j_t —тормозное замедление (м/сек^2), определяемое из выражения

$$j_t = \frac{V_{\text{уст}}^2}{2 l_{t \cdot \text{доп}}} = \frac{4,4^2}{2 \cdot 40} = 0,24 \text{ м/сек}^2,$$

где $V_{\text{уст}} = 4,4 \text{ м/сек}$ —установившаяся скорость в начале торможения, принимаемая равной длительной скорости движения электровоза;

$l_{t \cdot \text{доп}} = 40 \text{ м}$ — допустимая длина тормозного пути.

Если принять величину состава поезда по условию нагревания, то для такого состава тормозной путь для наиболее тяжелого случая, а именно: торможения груженого состава, движущегося вниз по преобладающему уклону с полной установившейся скоростью до полной остановки, определится следующим образом.

Принимаем коэффициент трения между тормозной колодкой и ободом колеса $\varphi = 0,20$ и коэффициент нажатия тормозных колодок $\delta = 0,85$.

Тогда полная тормозная сила

$$B = 1000 \varphi \delta P = 1000 \cdot 0,2 \cdot 0,85 \cdot 10 = 1700 \text{ кг.}$$

Удельная тормозная сила для груженого состава

$$b = \frac{B}{P + Q_{zp}} = \frac{1700}{143} = 12 \text{ кг/т.}$$

Тормозное замедление

$$j_t = \frac{w_{zp} - i + b}{110} = \frac{5 - 3 + 12}{110} = 0,127 \text{ м/сек}^2.$$

Сила тяги электровоза груженого состава

$$F_{zp} = (P + Q_{zp})(w_{zp} - i) = 143(5 - 3) = 286 \text{ кг.}$$

Установившаяся скорость движения груженого состава, найденная по характеристике тягового двигателя ДК—801—А—1 данного электровоза, составит $V_{уст.гр} = 16,5 \text{ км/час}$ или $4,6 \text{ м/сек.}$ Время торможения

$$t_t = \frac{V_{уст.гр}}{j_t} = \frac{4,6}{0,127} = 36 \text{ сек.}$$

Путь торможения

$$l_t = \frac{V_{уст.гр} t_t}{2} = \frac{4,6 \cdot 36}{2} = 83 \text{ м.}$$

Аналогичные расчеты производим для контактного электровоза 14 КР, аккумуляторного электровоза 12 АРВ и конденсаторного КЭ-2. Полученные результаты сводим в табл. 1.

Таблица 1

Тип электро-воза	Максимально допустимый вес груженого поезда ($P+Q_{гр}$), т			Тормозной путь, м	Примечание тормозной путь определяется для состава, принятого по условию
	по сцеплению	по силе тяги	по торможению		
10 КР	173	143	82	83	силы тяги
14 КР	243	257	77	138	сцепления
12 АРВ	208	142	220	35	силы тяги
КЭ-2	122	432	136	40	сцепления

Состав, возможный по силе тяги электровоза КЭ-2 ($P+Q_{гр} = 432 \text{ т}$), является для этого электровоза чрезмерным по условиям сцепления и торможения. При своем сцепном весе электровоз лишь с большим трудом сможет сдвинуть с места груженный состав даже под уклон, поскольку максимально-возможное ускорение при трогании такого состава под уклон получается ничтожно малым. В самом деле при пуске под уклон груженого состава

$$\begin{aligned}
 P+Q_{гр} &= \frac{1000 \phi P}{w_{гр}^1 - i + 110j}, \text{ откуда} \\
 j &= \frac{1000 \phi P - (P+Q_{гр})(w_{гр}^1 - i)}{100(P+Q_{гр})} = \\
 &= \frac{1000 \cdot 0,25 \cdot 7 - 432(7-3)}{100 \cdot 432} = 0,005 \text{ м/сек}^2,
 \end{aligned}$$

т. е. максимально-возможное ускорение примерно в 100 раз меньше нормально-рекомендуемого ускорения при пуске. Пуск же груженого состава на преобладающий подъем осуществить нельзя, поскольку ускорение получается отрицательным

$$j = \frac{1000 \cdot 0,25 \cdot 7 - 432(7+3)}{100 \cdot 432} \approx -0,05 \text{ м/сек}^2.$$

Определим тормозной путь для такого состава при наиболее тяжелом случае. Полная тормозная сила при коэффициенте нажатия тормозных колодок $\delta = 0.9$

$$B = 1000 \varphi \delta P = 1000 \cdot 0,2 \cdot 0,9 \cdot 7 = 1260 \text{ кг.}$$

Удельная тормозная сила

$$b = \frac{B}{P + Q_{zp}} = \frac{1260}{432} = 2,9 \text{ кг/т.}$$

Тормозное замедление

$$j_t = \frac{w_{zp} - i + b}{110} = \frac{5 - 3 + 2,9}{110} = 0,045 \text{ м/сек}^2.$$

Время торможения

$$t_t = \frac{V_{уст. zp}}{j_t} = \frac{3}{0,045} = 67 \text{ сек.}$$

Путь торможения

$$l_t = \frac{V_{уст. zp} \cdot t_t}{2} = \frac{3 \cdot 67}{2} \approx 100 \text{ м,}$$

что значительно больше 40 м.

Электродвигатели МАК - 61 - 6/12 электровоза КЭ - 2 имеют жесткую характеристику. Даже значительное изменение нагрузки вызывает незначительное изменение скорости движения. Так, при длительном усилии $F_{дл} = 1210 \text{ кг}$ скорость движения $v_{дл} = 10,3 \text{ км/час}$, тогда как при часовом усилии $F_{час} = 1575 \text{ кг}$ скорость движения

$$v_{час} = 10,1 \text{ км/час. Изменение усилия на } \frac{(1575 - 1210) 100}{1210} = 30\% \text{ вы-}$$

$$\text{зывает изменения скорости лишь на } \frac{(10,3 - 10,1) 100}{10,1} = 2\% \text{ . Поэтому}$$

му с достаточной точностью установившуюся скорость движения (скорость начала торможения) можно принимать постоянной, не зависящей от величины состава и не превышающей 3 м/сек (10,8 км/час).

Таким образом, из-за недостаточного сцепного веса электровоза КЭ - 2 (7 т) вес груженого состава по условию сцепления, а также по условию торможения получается таким, что мощность электродвигателей электровоза не может быть использована в полной мере.

В нашем случае определение величины состава для электровоза КЭ - 2 по условию сцепления производилось при условии пуска на преобладающий подъем с ускорением $j = 0,04 \text{ м/сек}^2$.

Для некоторого увеличения веса состава по условию сцепления возможно производить пуск груженого состава на преобладающий подъем с несколько меньшим ускорением. В этом случае при ускорении $j = 0,03 \text{ м/сек}^2$

$$P + Q_{zp} = \frac{1000 \cdot P}{w_{zp}^1 + i + 110j} = \frac{1000 \cdot 0,25 \cdot 7}{7 + 3 + 110 \cdot 0,03} = 131 \text{ т,}$$

при ускорении $j = 0,02 \text{ м/сек}^2$

$$P + Q_{zp} = -\frac{1000 \cdot 0,25 \cdot 7}{7 + 3 + 110 \cdot 0,02} = 143 \text{ т.}$$

Однако полученные составы могут оказаться чрезмерными по условию торможения груженого состава на преобладающем уклоне.

При составе $P + Q_{zp} = 131 \text{ т}$

$$\text{удельная тормозная сила } b = \frac{1260}{131} = 9,6 \text{ кг/т,}$$

$$\text{тормозное замедление } j_t = \frac{5 - 3 + 9,6}{110} = 0,105 \text{ м/сек}^2,$$

$$\text{время торможения } t_t = \frac{3}{0,105} = 28,5 \text{ сек,}$$

$$\text{путь торможения } l_t = \frac{3 \cdot 28,5}{2} = 43 \text{ м.}$$

При составе $P + Q_{zp} = 143 \text{ т}$

$$b = \frac{1260}{143} = 8,8 \text{ кг/т,}$$

$$j_t = \frac{5 - 3 + 8,8}{110} = 0,1 \text{ м/сек}^2,$$

$$t_t = \frac{3}{0,1} = 30 \text{ сек,}$$

$$l_t = \frac{3 \cdot 30}{2} = 45 \text{ м,}$$

т. е. тормозной путь несколько превышает допустимую величину.

Результаты аналогичных расчетов для случаев двухтонных и однотонных вагонеток с роликовыми подшипниками сведены соответственно в табл. 2 и 3. При этом значения удельного сопротивления движению приняты в соответствии с приказом № 270 МУП СССР от 31 мая 1952 года, а именно:

для двухтонных груженных вагонеток $w_{zp} = 6 \text{ кг/т}$, $w_p = 8 \text{ кг/т}$;

для двухтонных порожних $w_{пор} = 8 \text{ кг/т}$, $w'_{пор} = 10 \text{ кг/т}$;

для однотонных груженных $w_{zp} = 7 \text{ кг/т}$, $w'_{zp} = 9 \text{ кг/т}$;

для однотонных порожних $w_{пор} = 9 \text{ кг/т}$, $w'_{пор} = 12 \text{ кг/т}$.

В случае однотонных и двухтонных вагонеток возможная величина состава, полученная по силе тяги электровоза КЭ-2, является для этого электровоза чрезмерной по условиям сцепления и торможения. Поэтому для более полного использования мощности тяговых двигателей электровоза КЭ-2 определение возможной величины состава по сцеплению колес электровоза с рельсами в этих случаях

Таблица 2

Тип электро- воза	Максимально-допустимый вес груженого поезда ($P+Q_{gr}$), т			Тормозной путь, м	Примечание
	по сцепле- нию	по силе тяги	по тормо- жению		тормозной путь оп- ределялся для соста- ва, принятого по ус- ловию
10 КР	162	107	85	59	силы тяги
14 КР	227	194	79	100	силы тяги
12 АРВ	194	108	244	24	силы тяги
КЭ - 2	132	320	150	39	сцепления

Таблица 3

Тип электро- воза	Максимально-допустимый вес груженого поезда ($P+Q_{gr}$), т			Тормозной путь, м	Примечание
	по сцепле- нию	по силе тяги	по тормо- жению		тормозной путь оп- ределялся для соста- ва, принятого по ус- ловию
10 КР	152	85	89	46	силы тяги
14 КР	213	155	81	76	силы тяги
12 АРВ	183	86	270	19	силы тяги
КЭ - 2	123	257	168	35	сцепления

производилось при условии пуска на преобладающий подъем с минимальным ускорением $j = 0,02 \text{ м/сек}^2$.

Таким образом, если для контактных электровозов принять величину состава, отвечающую требованиям допустимой длины тормозного пути, то производственная мощность электровоза будет в значительной степени недоиспользована. Если же принять величину состава, при котором производственная мощность электровоза используется полностью, то в этом случае электровоз собственными тормозными средствами не сможет затормозить такой состав на длине пути, допустимой Правилами безопасности, и чтобы в этом случае удовлетворить последним, потребуется применение каких-либо специальных мер.

Вышеприведенные расчеты производились для некоторых средних условий в предположении уклона в 3‰ и применения при торможении песка с целью увеличения коэффициента сцепления колес электровоза с рельсами.

При увеличении уклона до 4–5‰ и выше, что имеет место часто на шахтах, величина тормозного пути при величине состава, отвечающего производственной мощности электровоза, значительно возрастает.

Кроме того, если осуществлять торможение без применения песка, то благодаря уменьшению коэффициента сцепления длина тормозного пути при всех прочих равных условиях значительно увеличивается. Это обстоятельство накладывает определенные требования на повышение качества конструкции и эффективности действия песоч-

ной системы электровозов, так как с этой точки зрения песочную систему, применяемую на современных рудничных электровозах, нельзя считать вполне удовлетворительной. К тому же при этом возрастает число операций, которое необходимо выполнить машинисту при торможении (выключение контроллера, открывание песочниц, вращение тормозного маховика), что приводит к увеличению времени срабатывания тормозной системы и, как следствие, к увеличению длины тормозного пути. При увеличении уклона выше 3‰ может оказаться, что и аккумуляторные и особенно конденсаторные электровозы не смогут удовлетворить требованиям торможения на допустимой длине тормозного пути.

Следовательно, тормозные системы современных рудничных электровозов, при которых при торможении поезда торможению подвергается только электровоз, с точки зрения обеспечения безопасности движения нельзя считать вполне надежными. Это приводит к необходимости замены этих тормозных систем более совершенными и более надежными.

Без этого дальнейшее повышение веса и скорости движения электровозов при условии обеспечения надлежащей безопасности движения является невозможным. Применение двойной тяги состава двумя электровозами с одним машинистом при существующей ручной механической тормозной системе, когда торможению будет подвергаться только один электровоз, не обеспечивает допустимой длины тормозного пути. Точно также замена существующей ручной механической тормозной системы на более быстродействующую и более легкую и удобную в управлении необходима с точки зрения выполнения маневровых работ, когда требуется особо частое приведение в действие тормозной системы. При этом легкость и удобство управления и быстрота срабатывания тормозной системы приобретает первостепенное значение.

Таким образом, одним из факторов обеспечения полной безопасности движения и высокопроизводительной работы электровозной откатки, удобного и легкого управления электровозами является увеличение тормозных средств всего поезда за счет применения новых более совершенных тормозных систем, отвечающих основным требованиям, предъявляемым к рациональным системам торможения, позволяющим плавно регулировать силу нажатия на колодки и распространить тормозную волну на всю длину состава. Создание и внедрение в промышленность надежной системы торможения позволит значительно увеличить вес состава и скорость движения, повысить безопасность движения и улучшить условия работы машинистов электровозов.

Имеются все основания полагать, что такой системой явится электрическая или пневматическая системы, которые в наибольшей мере отвечают всем указанным требованиям. При этих тормозных системах в состав вводится некоторое количество обычных вагонеток, но оборудованных колодочными тормозами с электрическими или пневматическими приводами, приводимыми в действие централизованно и дистанционно из кабины машиниста одновременно с тормозной системой электровоза.

Определим для вышеуказанных условий минимально-необходимое количество вагонеток, оборудованных тормозной системой, которые нужно ввести в состав с тем, чтобы длина тормозного пути в наиболее тяжелом для торможения случае не превышала допустимую величину.

Электровоз 10 КР. Вагонетки 3-тонные. Тормозное замедление при допустимой длине тормозного пути $l_{t \text{ доп}} = 40 \text{ м}$ и установившейся скорости движения груженого состава $V_{уст.зр}$ должно быть равно

$$j_t = \frac{V_{уст.зр}^2}{2 l_{t \text{ доп}}} = \frac{4,6^2}{2 \cdot 40} = 0,265 \text{ м/сек}^2.$$

Тогда удельная тормозная сила

$$b = 110 j_t - w_{зр} + i = 110 \cdot 0,265 - 5 + 3 = 27 \text{ кг/т},$$

а полная тормозная сила для состава, принятого для этого электровоза при данных условиях по силе тяги

$$B = b (P + Q_{зр}) = 27 \cdot 143 = 3860 \text{ кг}.$$

При этой тормозной силе тормозной вес состава должен быть равен

$$P_t = \frac{B}{1000 \varphi_0} = \frac{3860}{1000 \cdot 0,2 \cdot 0,85} = 23 \text{ т},$$

или тормозной вес, приходящийся на вагонетки

$$P_{t \cdot \text{ваг}} = P_t - P = 23 - 10 = 13 \text{ т}.$$

При этом число вагонеток, оборудованных тормозами

$$n_t = \frac{P_{t \cdot \text{ваг}}}{G_{зр}} = \frac{13}{4,5} = 3,$$

где G —вес груженой вагонетки, т.

Общее число вагонеток в принятом составе

$$n = \frac{143 - P}{G_{зр}} = \frac{143 - 10}{4,5} \approx 30, \text{ т. е. число вагонеток, оборудованных}$$

тормозами, должно составлять примерно 10%, от общего числа вагонеток в составе. Результаты аналогичных расчетов для составов с двух-

Таблица 4

Емкость вагонетки, т	Тормозное замедление j_t , м/сек ²	Удельная тормозная сила b , кг/т	Полная тормозная сила B , кг	Полный тормозной вес состава P_t , т	Тормозной вес, приходящийся на вагонетки $P_{t \cdot \text{ваг}}$, т	Общее число вагонеток в составе, n	Число вагонеток в составе, оборудованном тормозами, n_t	Число вагонеток, оборудованных тормозами в % от общего числа вагонеток	Примечание
3	0,265	27	3860	23	13	30	3	10	состав принят по силе тяги
2	0,253	25	2660	16	6	30	2	7	
1	0,253	23,8	2050	12	2	42	2	5	

тонными и однотонными вагонетками сведены в табл. 4, а для случая электровоза 14 КР в табл. 5.

Таблица 5

Емкость вагонетки, m	Тормозное замедление μ , m/sec^2	Удельная тормозная сила α , kl/m	Полная тормозная сила B , kl	Полный тормозной вес состава P_t , m	Тормозной вес, приходящийся на вагонетку, $P_{\text{ваг}}$, m	Общее число вагонеток в составе, n	Число вагонеток в составе, оборудованных тормозами, n_t	Число вагонеток, оборудованных тормозами в % от общего числа вагонеток	Примечание
3	0,38	40	9720	54	40	51	9	18	состав принят по сцеплению
2	0,364	37	7180	40	26	56	8	15	состав принят по силе тяги
1	0,35	35	5425	30	16	80	9	11	"

Следовательно, достаточно лишь часть общего числа вагонеток в составе оборудовать тормозами. Количество тормозных вагонеток, вводимых в состав, будет зависеть от конкретных условий электровозной откатки на данной шахте, а именно: типа применяемого электровоза, типа вагонетки, величины преобладающего уклона и т. п. Отсюда ясно, что нет надобности весь вагонеточный парк шахты оборудовать тормозной системой. Есть основания полагать, что для рудничной электровозной откатки следует отдать предпочтение тормозной системе с электрическим приводом благодаря ее простоте в эксплуатации по сравнению с пневматической тормозной системой.

При электрической системе тормозная система каждой тормозной вагонетки приводится в действие электромагнитом. Включение и выключение электромагнитов при торможении, регулирование тока, потребляемого электромагнитами, а следовательно, и силы нажатия тормозных колодок на ободы колес вагонеток осуществляется дистанционно и централизованно из кабины машиниста при помощи контроллера.

Для подвода тока к тормозным электромагнитам вдоль состава прокладывается гибкий или бронированный магистральный кабель, составленный из отдельных кусков, присоединенных соответственно к каждой вагонетке. Соединения отдельных кусков кабеля в общую линию при формировании состава осуществляется при помощи штепсельных соединений. Для питания тормозных электромагнитов используется контактный провод, благодаря чему достаточно иметь одножильный кабель с однопроводными штепсельными соединениями.

Что же следует рекомендовать в качестве временной меры при выборе величины состава, отвечающей всем условиям в настоящее время пока рудничный электровозный транспорт еще не имеет надлежащей системы торможения.

Очевидно, если величина состава, найденная по условиям торможения, окажется меньше величины состава, определенной по условиям нагревания тяговых двигателей или условиям сцепления, то следует рекомендовать в таких случаях не уменьшать величину состава, а уменьшать скорость движения электровоза с целью уменьшения

начальной скорости торможения. Так как наиболее тяжелым случаем с точки зрения величины тормозного пути будет торможение груженого состава, идущего вниз по уклону, то следует рекомендовать при движении в грузовом направлении с целью уменьшения начальной скорости торможения либо периодически выключать тяговые двигатели с тем, чтобы скорость движения не достигала установившегося значения (если величина состава, найденная по условиям торможения не столь много меньше величины состава, найденной по условиям нагревания или сцепления), либо переходить на работу с последовательным соединением тяговых двигателей (если величина состава по условиям торможения значительно меньше величины состава по условиям нагревания или сцепления). Указанная мера, приводящая, однако, к снижению возможной производительности электровоза, даст возможность затормозить на допустимой длине пути состав, отвечающий производственной мощности контактного электровоза тяжелого типа, имеющего значительную скорость длительного режима.

С точки зрения снижения возможной производительности электровоза данная мера имеет преимущество перед снижением величины, отвечающей условиям торможения на допустимой длине тормозного пути.

Во-первых, электровоз движется с половинной скоростью лишь одну половину рейса.

Во-вторых, при этом средняя ходовая скорость при движении в грузовом направлении более близка к установившейся скорости, чем при работе с параллельным соединением двигателей. Если при параллельном соединении двигателей средняя ходовая скорость составляет примерно 75 % установившейся скорости, то при работе с последовательным соединением двигателей можно принимать, что средняя ходовая скорость будет составлять примерно 85—90 % установившейся скорости, соответствующей последовательному включению тяговых двигателей.

Таким образом снижение возможной производительности электровоза при этом будет не столь значительным.

Если принять время движения в грузовом направлении при параллельном соединении тяговых двигателей $T_{гр}$ равным времени движения с порожняком $T_{пор}$ и равным времени паузы Θ , т. е. $T_{гр} = T_{пор} = \Theta$, а возможную при этом производительность электровоза за 100 %, то при переходе на работу с последовательным соединением двигателей возможная производительность электровоза снизится примерно на 20 %, оставаясь достаточно высокой. В действительности на шахтах в большинстве случаев время паузы Θ больше времени $T_{гр}$ и $T_{пор}$. При этом условии снижение возможной производительности электровозной откатки будет еще меньше.

При снижении величины состава благодаря возникающему при этом увеличению скорости движения уменьшение тормозного пути происходит более медленно. Чтобы длину тормозного пути снизить до допустимой величины, обычно необходимо уменьшать величину состава, отвечающего производственной мощности электровоза, в несколько раз. Поэтому, несмотря на некоторое увеличение скорости движения, снижение возможной производительности электровозной откатки при этом способе будет значительно больше, чем при первом варианте, которому и следует отдать предпочтение. Кроме того, как показано в работе доцента Бетехтина А. С. „Определение величины состава рудничного электровоза по допустимой длине тормозного пути“, функциональная зависимость длины тормозного пути от величины состава поезда $l_t = f(p + Q)$ имеет минимум, т. е. при ка-

кой-то определенной величине состава поезда тормозной путь будет минимальным. Если при данной величине состава поезда длина тормозного пути превышает допустимое значение, то при уменьшении веса состава тормозной путь будет не уменьшаться, а увеличиваться. Поэтому в целом ряде случаев снижение величины состава поезда вообще не приведет к желаемому результату.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волотковский С. А. Рудничная электровозная тяга, Углетехиздат, 1955.
2. Сборник статей к 70-летию профессора Стрельникова Д. А. Вопросы разработки мощных пластов Кузбасса. Статья доцента Бетехтина А. С. Определение величины состава рудничного электровоза по допустимой длине тормозного пути, Углетехиздат, 1953.