

explosive charge affected by compression elastic wave at given distances from the wave source.

**Findings.** Experimental results for 32 mm packaged emulsion explosives showed dependence of detonation velocity on emulsion explosive density. The density range which produces maximum detonation velocity was determined, as well as the critical density value with which the emulsion explosive lost its capability to steadily receive initiating pulse and detonate from blasting cap with 0.6 g PENT core load. In the course of the work the influence of elastic wave generated by charge firing on deformation and developing of detonation processes in adjacent blast-hole emulsion explosive charges was evaluated. It was determined that the compression elastic wave effect caused mass density variation in emulsion explosive charge due to volume compression deformation and following load removal.

**Originality.** Compression deformation in charge proceeds with gradual increase in emulsion explosive

density. Deformation process caused by elastic wave effect is limited in time to 12 ms in 32 mm emulsion explosive charge. Period of deformation increasing to its maximum has the identical time duration and decreases with removal at more than 0.6 m distance from the wave source. After unloading the phase comes which is followed by gradual recovery of emulsion explosive density and which proceeds in different ways at various distances from the wave source.

**Practical value.** Study results obtained allow defining a problem for developing recommendations on selecting of drilling and blasting optimal parameters when blasting with application of emulsion explosives in mine and pit drifting faces.

**Keywords:** *emulsion explosives, volume deformation of blast-hole charge, detonation characteristics*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.В. Со-  
болевим. Дата надходження рукопису 16.05.12.*

УДК 622.625.28

Н.А. Лубенец, канд. техн. наук, доц.,  
Т.Н. Лубенец

Государственное высшее учебное заведение  
„Национальный горный университет“, г. Днепропетровск,  
Украина, e-mail: Lubenets tatyana@ukr.net

## РЕЖИМ ТОРМОЖЕНИЯ ПОЕЗДА

N.A. Lubenets, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,  
T.N. Lubenets

State Higher Educational Institution “National Mining University”,  
Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: Lubenets tatyana@ukr.net

## TRAIN BRAKING MODE

**Цель.** Установление функциональных зависимостей длины тормозного пути и допустимой скорости движения поезда от параметров его движения в самых разнообразных условиях. Действующие в настоящее время методики не учитывают изменения скорости движения поезда в период так называемого времени подготовки тормозов к действию. Ошибка отчасти обусловлена тем обстоятельством, что толкование распространенного в технике термина „торможение“, заимствованного от слова „tormos“ из греческого языка, связано с уменьшением скорости движения машины при торможении и не отвечает его истинному значению.

**Методика.** Зависимости получены общепризнанными аналитическими методами с использованием законов механики, уравнений движения и учитывают действительные процессы, протекающие в тормозной системе самоходной транспортной машины.

**Результаты.** В настоящей статье обоснованы функциональные зависимости длины тормозного пути и допустимой скорости движения поезда при торможении от параметров его движения. Искомые параметры, отчасти, определяются интенсивностью движения поезда на участке торможения в период так называемого времени подготовки тормозов к действию. Они учитывают скорость поезда в момент начала торможения, время подготовки тормозов к действию, условные ускорения поезда в так называемые периоды подготовки тормозов к действию и приложения тормозной силы, а также нормативный тормозной путь.

**Научная новизна.** Установленные зависимости правильно (адекватно) описывают взаимосвязь между параметрами движения поезда в режиме торможения и увязаны с уравнением его движения. Обоснована также необходимость в приведении действующего в технике толкования термина „торможение“ к его истинному значению, которое связывается не с уменьшением скорости движения машины в период торможения, а с ее замедлением.

**Практическая значимость.** Использование полученных зависимостей в учебных заведениях и на производстве в практике эксплуатационных расчетов поездов и самоходных транспортных машин позволит повысить качество обучения студентов и безопасность движения поездов.

**Ключевые слова:** *поезд, торможение, время подготовки, движение поезда, тормозной путь, скорость, ускорение, замедление*

**Постановка проблемы.** Движение поезда (самоходной транспортной машины с прицепной частью)

характеризуется большим разнообразием: трогание, разгон, ускоренное движение, замедленное движение, установившееся движение, торможение, движение на тормозах, остановка. Эксплуатационные расчеты по-

езда в практике ограничиваются рассмотрением всего лишь трех режимов движения – режима тяги, режима торможения и свободного выбега, которые описывают все многообразие характера движения поезда. Особое место в них принадлежит расчетам поезда в режиме торможения, поскольку от них в значительной степени зависит безопасность движения. Последствиями неправильных эксплуатационных расчетов являются аварии, которые связаны с человеческими жертвами, они влекут за собой большие материальные потери, значительные затраты на восстановление движения и преодоление последствий аварий.

Основной задачей расчета поезда в режиме торможения является определение тормозного пути и допустимой скорости движения поезда, обеспечивающей заданный нормативный тормозной путь в самых экстремальных условиях. Поэтому важно, чтобы используемые при этом решения описывали движение поезда не приближенно, а правильно и в самых разнообразных условиях.

**Анализ исследований.** Однако действующие в настоящее время методики не являются таковыми. Анализ используемых в них решений свидетельствует о том, что они описывают не весь диапазон возможных условий движения поезда (они не описывают режим торможения поезда с ускоренным движением под крутой уклон) и не учитывают изменения скорости движения поезда в период, так называемого, времени подготовки тормозов к действию [1,2,3].

**Нерешенные ранее части проблемы.** Поэтому установление функциональных зависимостей между длиной тормозного пути и допустимой скоростью движения поезда, обеспечивающей заданный тормозной путь, от влияющих на них факторов в самых разнообразных условиях, является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное практическое значение [4].

**Цель статьи.** Целью настоящей статьи является установление функциональных зависимостей длины тормозного пути и допустимой скорости движения поезда, обеспечивающей заданный нормативный тормозной путь, от влияющих на них факторов, отвечающих общепринятым моделям и уравнению его движения в режиме торможения, в самых разнообразных условиях.

**Результаты исследований.** В практике под торможением понимается уменьшение скорости движения самоходной машины (поезда), обусловленное внешним воздействием, а также само это воздействие. При этом кинетическая энергия поезда поглощается трением или преобразуется в электрическую энергию. Для этого в самоходной машине применяется тормоз – механизм или устройство для уменьшения скорости движения или полной остановки. Из этого следует, что в период торможения якобы всегда наблюдается только замедленное движение поезда, а количественная оценка замедления поезда при торможении ныне отождествляется с его отрицательным ускорением, что, по нашему мнению, отчасти обусловлено ошибкой в толковании термина „торможение“.

Принятое толкование терминов „торможение“ и „замедление“, по нашему мнению, не согласуется с общепринятым уравнением движения поезда и не отвечает практике (движение поезда в период торможения на крутом спуске может осуществляться и с ускорением), а также отличается от истинного значения иностранного слова „тормоз“, заимствованного из греческого языка. Поэтому прежде необходимо внести ясность в толкование технического термина „торможение“ и количественно оценить замедление при торможении.

Греческое слово „τομος“ – отверстие для вставки гвоздя, задерживающего вращение колеса (замедляющего движения машины, делающего его более медленным). Другими словами, снижающего интенсивность движения поезда в период торможения в сравнении с движением без торможения при прочих равных условиях. Т. е. за начало отсчета замедления необходимо принимать не состояние покоя, чем руководствуются ныне, а движение без торможения при прочих равных условиях, что отвечает принципу корректного сравнения. Характер движения машины в период торможения определяется не только величиной внешней тормозной силы, а и другими условиями, например, характеристиками трассы, ходовыми характеристиками поезда и его массой, коэффициентом сцепления, скоростью движения, инерцией поезда и др. При этом движение поезда не всегда будет замедленным (с отрицательным ускорением). Иногда, на крутом спуске, при недостаточной тормозной силе поезда, замедляясь, может сохранять ускоренное движение.

Установим количественную оценку замедления при торможении, которая бы разрешила указанные разночтения. Интенсивность движения машины на заданном участке пути в режиме торможения в какой-либо период времени характеризуется зависимостью скорости движения машины от времени, которая определяется скоростью машины в начальный момент времени и ее динамикой (ускорением)

$$V_m = V_0 + at,$$

где  $V_m$  – скорость машины в период торможения;  $V_0$  – скорость машины в момент начала торможения;  $t$  – время;  $a$  – ускорение машины в период торможения.

Ускорение определяется из известного уравнения движения поезда в режиме торможения [1–3]

$$-B = m_n \cdot g \cdot (\omega \pm i + \Delta a),$$

где  $m_n$  – масса поезда;  $w$  – коэффициент сопротивления движению поезда;  $i$  – уклон пути;  $B$  – максимальная тормозная сила поезда;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $\Delta = \frac{\delta}{g}$  – частное от деления параметров  $\delta$

и  $g$  (принимают значения от 0,106 до 0,11);  $\delta$  – коэффициент, учитывающий увеличение инерции поезда от вращающихся масс (от 1,05 до 1,1).

Знак минус перед ускорением  $a$ , для корректного решения задачи, заранее ставить нельзя, поскольку оно может быть как отрицательным, так и положительным на крутом спуске. Откуда

$$a = -\frac{w \pm i + \frac{B}{m_n g}}{\Delta}$$

Тогда интенсивность движения поезда без торможения на этом же участке пути при прочих равных условиях

$$V = V_0 + a_0 t,$$

где,  $a_0$  – виртуальное ускорение поезда на участке торможения без приложения тормозной силы при прочих равных условиях.

Ускорение определяется из известного уравнения движения поезда в режиме „свободный выебег“

$$0 = m_n \cdot g \cdot (\omega \pm i + \Delta a).$$

Знак минус перед ускорением  $a$  и в этом, и других уравнениях также заранее ставить нельзя, поскольку оно также может быть как отрицательным, так и положительным на крутом спуске, о чем упоминалось ранее. Откуда

$$a_0 = -\frac{w \pm i}{\Delta}.$$

Количественная оценка уменьшения интенсивности движения поезда в период торможения (замедление при торможении) составит

$$\begin{aligned} V_m - V &= (V_0 + a t) - (V_0 + a_0 t) = (a - a_0) t = \\ &= -\frac{B}{m_n \cdot g \cdot \Delta} \cdot t. \end{aligned}$$

Следовательно, замедление поезда в период торможения количественно характеризуется не ускорением в период торможения, которое на практике привязано к состоянию покоя, а величиной приращенного ускорения  $(a - a_0)$ , в которой за начало отсчета принято движение поезда без реализации тормозной силы при прочих равных условиях. Т. е. независимо от того, на каком участке пути осуществляется торможение (на горизонтальном участке пути, на подъём или под уклон), как движется при этом поезд (ускоренно или замедленно), замедление всегда будет иметь место и количественно определяется формулой

$$(a - a_0) = -\frac{B}{m_n \cdot g \cdot \Delta}.$$

Поэтому, толкование термина „торможение“ необходимо связывать не с уменьшением скорости движения машины в период торможения, как принято сейчас, а с замедлением машины, т. е. уменьшением скорости машины по сравнению с движением на участке торможения без реализации тормозной силы, что отвечает истинному значению иностранного слова „тормоз“, заимствованного из греческого языка.

Отчасти неправильное толкование термина „торможение“, по нашему мнению, привело к обоснова-

нию приближенных зависимостей для расчета движения поезда в режиме торможения [1–3].

Приводим вывод функциональных зависимостей для расчета режима торможения поезда, которые отвечают общепризнанному уравнению движения поезда в режиме торможения.

Дано:  $m_n$  – масса поезда;  $V_0$  – скорость поезда в момент начала торможения;  $t_n$  – время подготовки тормозов к действию;  $w$  – коэффициент сопротивления движению поезда;  $i$  – уклон пути;  $a_0$  – ускорение поезда после начала торможения;  $a$  – ускорение машины в период приложения тормозной силы;  $B$  – максимальная касательная тормозная сила;  $F_k$  – касательная сила тяги самоходной машины, равна нулю.

Определить тормозной путь  $l_m$  и допустимую скорость движения поезда  $V_{дон}$  для остановки на заданном нормативном тормозном пути  $l_n$ .

На рис. 1 представлен график условного изменения скорости движения ( $V$ ) поезда от времени ( $t$ ) в период торможения с момента начала торможения до остановки поезда.

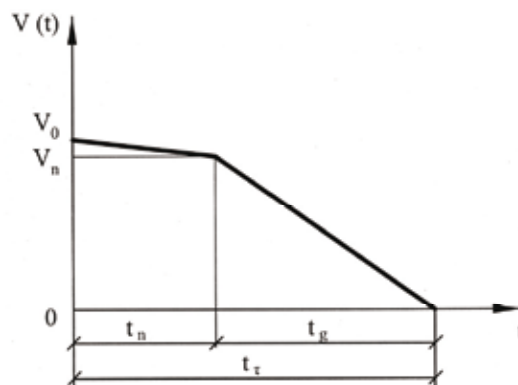


Рис. 1. График условного изменения скорости движения ( $V$ ) поезда от времени ( $t$ ) в период торможения:  $t_m$  – время торможения;  $t_n$  – время подготовки тормозов к действию;  $t_г$  – действительное время торможения;  $V_0$  – скорость поезда в момент начала торможения;  $V_n$  – скорость поезда в момент приложения тормозной силы  $B$

Следует иметь в виду, что, согласно В.М. Казаринову и др., при определении времени подготовки тормозов к действию условно заменяют медленный реальный процесс нарастания давления воздуха в тормозном цилиндре мгновенным скачком до максимальной расчетной величины. Следовательно, предполагается, что в течение времени подготовки тормозов к действию тормоз не работает и поезд движется без силы тяги ( $F$ ) и тормозной силы ( $B$ ). По истечении этого времени тормоза как бы мгновенно срабатывают и поезд проходит оставшуюся часть тормозного пути при полной силе нажатия тормозных колодок.

Такая эквивалентная замена реального процесса нарастания давления воздуха в тормозном цилиндре условным процессом возможна при равенстве тормозных путей, которые проходит поезд при реальном

и условном (виртуальном) наполнении тормозных цилиндров.

Очевидно, что время подготовки тормозов к действию возрастает с увеличением длины поезда, вагоны которого оборудованы тормозами. Так, например, согласно Казаринову В.М. и др., для грузовых составов длиной более 200 осей при автоматических тормозах без ускорителей экстренного торможения получим

$$t_n = 10 - \frac{15 \cdot i}{b},$$

где  $b$  – удельная тормозная сила,  $кз/м$ ;  $i$  – приведенное значение уклона с учетом сопротивления в кривой, ‰ (для спуска принимается со знаком минус).

По данным НГУ для шахтных электровозов, в которых тормозами оборудованы только колесные пары локомотива, карьерного железнодорожного и автомобильного транспорта с пневматическим приводом тормозов время подготовки ( $t_n$ ) принимается, соответственно, 3,4 сек; 7 сек и 1,5–2,5 сек [2].

Зависимость скорости движения поезда от времени в период подготовки тормозов к действию может быть как убывающей, так и возрастающей, что определяется характеристиками трассы и параметрами поезда.

Движение поезда в период подготовки тормозов к действию, до приложения тормозной силы  $B$ , описывается уравнением движения поезда в режиме „свободный выбег“ [1].

Тогда скорость движения поезда в период с момента начала торможения до приложения тормозной силы  $B$  будет описываться уравнением

$$V(t) = V_0 + a_0 t, \quad (0 \leq t \leq t_n),$$

где  $a_0$  – ускорение поезда с момента начала торможения до начала приложения тормозной силы  $B$ ;  $t$  – время;  $V_0$  – скорость поезда в момент начала торможения;  $V(t)$  – скорость движения поезда в заданный момент времени;  $t_n$  – время подготовки тормозов к действию (время с момента начала торможения до начала приложения тормозной силы  $B$ ).

Значение ускорения поезда и его знак определяются из уравнения движения поезда в режиме „свободный выбег“

$$a_0 = -\frac{w \pm i}{\Delta}.$$

Изменение скорости поезда в период действительного времени торможения будет описываться выражением

$$V(t) = V_n + at, \quad (0 \leq t \leq t_d),$$

где  $t_d$  – действительное время торможения.

Ускорение  $a$  определяется из уравнения движения поезда в режиме торможения

$$a = -\frac{w \pm i + \frac{B}{m_n \cdot g}}{\Delta}, \quad (t_n < t < t_m).$$

На границах периода действительного времени торможения поезда справедливо следующее

$$V_m = V_n + at_d = 0; \quad V_n = V_0 + a_0 t_n,$$

где  $V_m$  – скорость поезда в момент остановки;  $V_n$  – скорость поезда в момент приложения тормозной силы.

Отсюда действительное время торможения поезда составит

$$t_d = \frac{V_m - V_n}{a} = \frac{0 - V_n}{a} = -\frac{V_n}{a} = -\frac{V_0 + a_0 \cdot t_n}{a}.$$

Указанное уравнение имеет решение только при  $a < 0$ . При  $a > 0$  остановки поезда не будет.

Тогда тормозной путь составит

$$l_m = l_n + l_d,$$

где  $l_m$  – тормозной путь;  $l_d$  – действительный тормозной путь;  $l_n$  – путь, пройденный с момента начала торможения  $t_0$  до начала приложения тормозной силы  $t_n$ .

$$\text{Но} \quad l_n = V_0 \cdot t_n + \frac{a_0 \cdot t_n^2}{2},$$

$$\text{а } l_d = \frac{1}{2} \cdot V_n \cdot t_d = -\frac{V_n^2}{2 \cdot a} = -\frac{(V_0 + a_0 \cdot t_n)^2}{2 \cdot a}, \quad (l_d > 0).$$

Следовательно

$$l_m = V_0 \cdot t_n + \frac{a_0 \cdot t_n^2}{2} - \frac{(V_0 + a_0 \cdot t_n)^2}{2 \cdot a}, \quad (l_m > l_n).$$

Отсюда искомая допустимая скорость движения поезда до момента начала торможения ( $V_{дон}$ ), обеспечивающая заданный нормативный тормозной путь, равна

$$V_{дон} = (a - a_0) \cdot t_n + \sqrt{(a - a_0)^2 \cdot t_n^2 - 2 \cdot a \cdot l_n + a_0 \cdot t_n^2 \cdot (a - a_0)},$$

где  $l_n$  – нормируемый тормозной путь.

Если же поезд в период после начала торможения двигался по трассе под уклон с постоянной скоростью, то

$$V_{дон} = a \cdot t_n + \sqrt{a^2 \cdot t_n^2 - 2 \cdot a \cdot l_n};$$

$$l_m = V_0 \cdot t_n - \frac{V_n^2}{2 \cdot a}.$$

Это произойдет, тогда, когда параметры  $w$  и  $i$  будут равны. Выражения отвечают действующим методикам определения параметров движения поезда при торможении [1–3].

На практике этими формулами допускается пользоваться, если действительный уклон пути незначительный, например, не более чем проектный уклон горизонтальных горных выработок угольных шахт (от 0,003 до 0,005). В этом случае расчетные параметры торможения поезда всегда будут определены с некоторым запасом.



Оценку адекватности результатов прогноза по полученным формулам осуществляли во всем диапазоне условий применения поездов при самых характерных и известных характеристиках его движения под уклон, на подъем и по горизонтальному участку пути. На рис. 2 приведены все возможные графики зависимостей скорости движения поезда при торможении от времени  $V(t)$ .

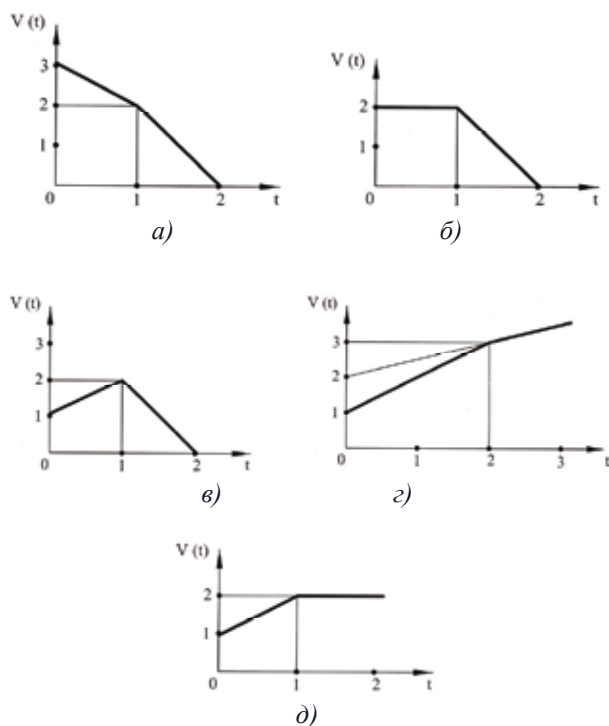


Рис. 2. Графики изменения скорости движения ( $V$ ) поезда от времени ( $t$ ) в период торможения: а) замедленное движение поезда в период подготовки тормозов к действию и замедленное в период торможения; б) установившееся движение поезда в период подготовки тормозов к действию и замедленное в период торможения; в) ускоренное движение поезда в период подготовки тормозов к действию и замедленное в период торможения; г) ускоренное движение поезда в период подготовки тормозов к действию и ускоренное в период торможения; д) ускоренное движение поезда в период подготовки тормозов к действию и установившееся при торможении

Поскольку формальных ограничений на условия применения полученных формул нет, кроме тех, что скорость, тормозной путь и время должны быть положительными и конечными, для упрощения расчетов, исключения ошибок вычисления и наглядности выбраны простейшие числовые значения параметров движения в произвольной системе физических единиц. Результатом моделирования являются действительные значения выражений. Если результаты моделирования отрицательны или встречаются мнимые корни, то задача решения не имеет (нет тормозного пути или допустимой скорости).

В таблице приведены результаты прогноза параметров торможения поезда при различных условиях его движения в соответствии с рис. 2 и истинными параметрами движения.

Таблица

Результаты прогноза параметров торможения поезда при различных условиях его движения

Параметры движения поезда						Параметры торможения	
Рис.2.	$V_{0,}$ м/с	$a_{o,}$ с	$t_n,$ с	$a,$ м/с <sup>2</sup>	$L_n,$ м	$L_{тв}$ м	$V_{доп.}$ м/с
а)	3	-1	1	-2	3,5	3,5	3
б)	2	0	1	-2	3,0	3,0	2
в)	1	1	1	-2	2,5	2,5	1
г)	1	1	2	0,5	нет	нет	нет
д)	1	1	1	0	нет	нет	нет

Моделирование тормозного режима движения поезда в соответствии с полученными выражениями настоящей статьи дали результаты, тождественные истинным показателям во всем диапазоне заданных условий движения. Тормозной путь поезда – площадь, ограниченная зависимостью скорости движения поезда от времени  $V(t)$  до его остановки. Это свидетельствует о правильности, адекватности и функциональном характере полученных зависимостей между параметрами движения поезда и уравнением его движения в режиме торможения.

**Выводы.** Таким образом, полученные в настоящей работе зависимости длины тормозного пути и допустимой скорости движения поезда являются функциональными. Они правильно (адекватно) описывают взаимосвязь между параметрами движения поезда в режиме торможения и увязаны с уравнением движения поезда. Использование полученных зависимостей в учебных заведениях и практике эксплуатационных расчетов поездов и самоходных транспортных машин в режиме торможения повысит качество образования студентов и безопасность движения поездов.

Принятое в настоящее время толкование терминов „торможение“ и „замедление“ поезда не согласуется с общепринятым уравнением движения поезда (движение поезда в период торможения на крутом спуске может осуществляться и с ускорением) и не отвечает истинному значению иностранного слова „tothmos“, заимствованного из греческого языка. Значение слова „торможение“ на самом деле не всегда связано с уменьшением скорости движения машины в период торможения, но всегда связано с уменьшением ускорения при торможении.

**Список литературы / References**

1. Железные дороги. Общий курс. Учебник для вузов / [М.М. Филиппов, М.М. Уздин, Ю.И. Ефименко и др.] под ред. М.М. Уздина. – [4-е изд. перераб. и доп.] – М.: Транспорт, 1991. – 295 с.  
Filippov, M.M., Usdin, M.M. and Efimenko, Yu.I. (1991), *Zheleznye dorogi* [Railroads], Introduction

course. Textbook for high school, 4th edition, Transport, Moscow, Russia.

2. Транспорт на гірничих підприємствах / [Біліченко М.Я., Півняк Г.Г., Ренгевич О.О. та ін.] Авт. доповнень, змін та корегувань М.Я. Біліченко. – [3-е вид.] – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. – 636 с.

Bilichenko, M.Ya., Pivniak, G.G. and Rengevich, O.O. (2005), *Transport na hirnychykh pidpriemstvakh*, [Transport at Mining Enterprises], 3rd edition, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine.

3. Біліченко М.Я. Основи теорії та розрахунки транспортних засобів механізації переміщення вантажів шахт. Навчальний посібник / М.Я. Біліченко – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2002. –102 с.

Bilichenko, M.Ya. (2002), *Osnovy teorii ta rozrakhunky zasobiv mekhanizatsii peremishchennia vantazhiv shakht* [Introduction to the Theory and Calculations of Transport Facilities for Mechanization of Materials Handling in Mines], National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine.

4. Н.А. Лубенець Решение уравнения движения поезда в режиме торможения. / Н.А. Лубенець, Т.Н. Лубенець: Друга наук.-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих учених. [“Наукова весна”], (Дніпропетровськ, 25 березня 2011 р.) // М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Держ. ВНЗ „Національний гірничий університет“. – Дніпропетровськ: Держ. ВНЗ „Національний гірничий університет“, 2011. – С. 42–43.

Lubenets, N.A. and Lubenets, T.N. (2011), “Solution of motion equation of a train in braking mode”, *Proc. of the 2nd Scientific and technical conference of young scientists “Naukova Vesna – 2011”*, National Mining University, Dnipropetrovsk, Mach 25, 2011, pp. 42–43.

**Мета.** Встановлення функціональних залежностей довжини гальмівного шляху й допустимої швидкості руху поїзда від параметрів руху поїзда в самих різноманітних умовах. Діючи в цей час методики не враховують зміни швидкості руху поїзда в період, так званого, часу підготовки гальма до дії. Помилка, зокрема, зумовлена тією обставиною, що тлумачення розповсюдженого в техніці терміну „гальмування“, запозиченого від слова „tormos“ із грецької, пов’язане зі зменшенням швидкості руху машини при гальмуванні й не відповідає його істинному значенню.

**Методика.** Залежності отримані загальновідомими аналітичними методами з використанням законів механіки, рівнянь руху та враховують дійсні процеси, що протікають у гальмівній системі самохідної транспортної машини.

**Результати.** У цій статті обґрунтовуються функціональні залежності довжини гальмівного шляху та допустимої швидкості руху поїзда при гальмуванні від параметрів його руху. Шукані параметри, зокрема, визначаються інтенсивністю руху поїзда на ланці гальмування в період, так званого, часу підготовки гальма до дії. Вони враховують швидкість руху поїзда в момент початку гальмування, час підготовки гальма до дії, умовні прискорення поїзда в, так звані, періоди під-

готовки гальма до дії й прикладення гальмівної сили, а також нормативний гальмівний шлях.

**Наукова новизна.** Встановлені залежності вірно (адекватно) описують взаємозв’язок між параметрами руху поїзда в режимі гальмування й пов’язані з його рівнянням руху.

Обґрунтовано також необхідність у приведенні діючого в техніці тлумачення терміну „гальмування“ до його істинного значення, пов’язаного не зі зменшенням швидкості машини в період гальмування, а з її уповільненням.

**Практична значимість.** Використання отриманих залежностей у навчальних закладах і практиці експлуатаційних розрахунків поїздів та самохідних транспортних машин дозволить підвищити якість навчання студентів і безпеку руху поїздів.

**Ключові слова:** поїзд, гальмування, час підготовки, рух поїзда, гальмівний шлях, швидкість, прискорення, уповільнення

**Purpose.** To establish functional dependence of braking distance and allowable speed of a train move on its movement parameters in various conditions. Currently existing methods do not take into account the changes in the speed of the train during the time of preparation to the action of the brakes. This imperfection is caused by the wrong interpretation of the term ‘tormozheniye’, which is considered as a decrease of the speed during braking action which, in fact, is incorrect.

**Methodology.** The dependencies have been obtained by means of generally accepted analytical methods with application of laws and equations of motion and take into account the real processes occurring in the brake system.

**Findings.** The functional dependences of braking distance and allowable speed of a train move on its movement parameters have been substantiated. The considered parameters are partially determined by the intensity of the train movement at the stopping segment during preparation of the brakes to the action. They take into account movement speed in the moment when braking starts, time of preparation of brakes, conventional acceleration during the preparation time and time of application of braking force, and standard braking length.

**Originality.** The suggested dependences describe correctly the relationships between the parameters of the train movement during braking and are linked with the equation of motion. Authors have substantiated the need to bring the current interpretation of the term ‘tormozheniye’, which is derived from the Greek word ‘tormos’, to its true meaning, which is not associated with the decrease in the speed of the machine during braking but with its deceleration.

**Practical value.** Use of the obtained dependences in training courses and in train operating calculations for braking mode control can improve the quality of education and the safety of trains exploitation.

**Keywords:** train, braking, preparation time, movement of train, stopping distance, velocity, acceleration, deceleration

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.В. Процівим. Дата надходження рукопису 06.03.12.