

УДК 629.332

**М. П. КОРОВАШКИН**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ АВТОПОЕЗДА МАЗ

Произведен анализ целесообразности применения электрического управляющего сигнала в пневматической тормозной системе автопоезда МАЗ, состоящего из тягача МАЗ-6501а8 и прицепа МАЗ-856102, для повышения эффективности торможения.

**математическая зависимость, электромагнитный клапан, тормозная камера, пневматическая тормозная система, управляющий сигнал**

### ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Основным недостатком пневматических тормозных систем современных автопоездов является их высокая инерционность. Имея значительные габаритные размеры и массу, данные транспортные средства способны развивать скорость около 85 км/ч (автопоезд МАЗ в составе тягача МАЗ-6501а8 и прицепа МАЗ-856102), что в совокупности с относительно низкой эффективностью тормозной системы представляет потенциальную опасность для участников дорожного движения.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время известны аналитические зависимости, позволяющие с достаточной точностью моделировать процесс торможения АТС. Так, в работе [1] приведена математическая модель торможения прицепного автопоезда, выражающая зависимость замедления транспортного средства от удельных тормозных сил на каждой его оси.

На автомобильном транспорте с пневматическим приводом тормозной системы величина удельных тормозных сил зависит от давления в тормозных камерах, которые, как известно, имеют переменный объем, изменяемый за счет хода мембраны. Однако, учитывая тот факт, что объем пневматической тормозной системы во много раз превышает максимальный объем тормозной камеры, при расчетах можно сделать допущение и принять ее объем постоянным. Это позволит описать динамику нарастания давления в тормозных камерах с помощью математической модели, приведенной в работе [2], которая имеет вид

$$\begin{cases} \frac{dp_k}{dt} = \frac{1}{V_k} \left( k \cdot R \left( T_m \cdot G_m + \frac{dT_m}{dt} \int_0^t G_m dt \right) - \frac{R^2}{c_v} \cdot T_m \cdot \frac{d(\ln p_m)}{dt} \cdot \int_0^t G_m dt - k \cdot p_k \cdot \frac{dV_k}{dt} \right); \\ G_m = \rho_m \cdot \varphi_k \cdot \sqrt{\frac{2k}{k-1} \cdot \frac{1}{RT_m} \left[ \left( \frac{p_k}{p_m} \right)^{\frac{2p_k}{p_k+p_0(k-1)}} - \left( \frac{p_k}{p_m} \right)^{\frac{2p_k+p_0(k-1)}{p_k+p_0[k-1]}} \right]}. \end{cases} \quad (1)$$

где  $p_k$  – давление внутри тормозной камеры, Па;  
 $V_k$  – объем тормозной камеры, м<sup>3</sup>;  
 $k$  – коэффициент адиабаты;  
 $R$  – газовая постоянная, Дж/(кг·К);  
 $T_m$  – температура сжатого воздуха, поступающего из магистрали, К;  
 $G_m$  – расход воздуха на входе в тормозную камеру, кг/с;

© М. П. Коровашкин, 2015

- $c_v$  – изохорная удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К);  
 $p_m$  – давление в магистрали вблизи впускного отверстия тормозной камеры, Па;  
 $\rho_m$  – плотность сжатого воздуха, поступающего из магистрали кг/м<sup>3</sup>;  
 $p_0$  – давление торможения, Па.

Кроме того, известна зависимость времени наполнения трубок пневмосистем от их длины, приведенная в [3, 4], согласно которой трубка диаметром 10 мм и длиной 15 м, что соответствует управляющей магистрали автопоезда МАЗ (от тормозного крана до ускорительных клапанов задней тележки прицепа), наполняется более 2 с. Следовательно, при необходимости экстренного торможения в течение этого времени будет невозможно обеспечить максимальное значение тормозных сил на колесах данного АТС.

Помимо инерционности, пневматические системы автопоездов, согласно [5], склонны к асинхронности торможения (начало торможения прицепа не совпадает с началом торможения тягача), что приводит к увеличению тормозного пути.

### ЦЕЛИ

Как известно, добиться улучшения тормозных качеств АТС с пневматической тормозной системой можно путем применения электромагнитных клапанов (вместо ускорительных), что позволяет заменить пневматический управляющий сигнал электрическим. Однако любая модернизация влечет за собой экономические затраты, а следовательно, проводится лишь при наличии подтвержденного расчетами, существенного положительного эффекта. Целью настоящей работы является определение целесообразности применения электрического управляющего сигнала в пневматической тормозной системе автопоезда МАЗ для повышения ее эффективности.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

На основании формул, приведенных в [1, 6, 7], получена зависимость замедления АТС от приводных сил на тормозных колодках, справедливая для автопоезда МАЗ и аналогичных по типу тормозной системы и конструкции тормозных механизмов.

$$\frac{dp_k}{dt} = -r_o \cdot \mu \cdot h \cdot \left( \frac{1 + \mu}{(1 - \mu) \cdot (k_1 \cdot a - \mu \cdot r_o)} + \frac{1}{k \cdot a + \mu \cdot r_o} \right) \cdot \left( \frac{\sum (n_i \cdot F_{Si})}{(G_m + G_n) \cdot r_o} \right), \quad (2)$$

- где  $r_o$  – радиус тормозного барабана, м;  
 $\mu$  – коэффициент трения между накладкой и барабаном;  
 $h$  – высота колодки от оси опоры до точки приложения силы, м;  
 $k_1$  – поправочный коэффициент, равный 0,80...0,95;  
 $a$  – расстояние по вертикали от оси опоры колодки до центра тормозного барабана;  
 $n_i$  – количество колес на  $i$ -том мосту (тележке) автопоезда;  
 $F_{Si}$  – приводная сила на пассивной (самоотжимной) колодке (механизм типа «Simplex»)  $i$ -того моста, Н;  
 $G_m, G_n$  – полная масса тягача и прицепа соответственно, кг;  
 $r_o$  – динамический радиус колеса, м;

В свою очередь, формулу расчета приводной силы на пассивной тормозной колодке от давления в тормозной камере, с учетом типа механизма и зависимостей приведенных в [8, 9, 10], можно записать в виде

$$F_{Si} = \frac{1,96\pi \cdot l_k \cdot (R_m^2 + R_m \cdot r_{ок} + r_{ок}^2) \cdot (p_k - p_{am})}{3d_k \cdot \left( \frac{1 + \mu}{1 - \mu} + 1 \right)}, \quad (3)$$

- где  $l_k$  – длина рычага, соединенного с осью разжимного кулака, м;  
 $R_m$  – радиус мембраны тормозной камеры, м;  
 $r_{ок}$  – радиус опорного диска тормозной камеры, м;  
 $p_{am}$  – атмосферное давление, Па;  
 $d_k$  – диаметр начальной окружности разжимного кулака, м;

Для упрощения расчетов принят ряд допущений. При этом в вычислениях не учитывается изменение активной площади мембраны во время рабочего хода тормозных камер, параметры которых условно приняты одинаковыми для каждой из осей АТС. При расчетах заполнения пневматической магистрали пренебрегаем временем заполнения участков от ускорительных (электромагнитных) клапанов до тормозных камер ввиду незначительной их длины. Скорость в начале торможения принята на уровне максимально допустимой для данного транспортного средства (85 км/ч или 23,61 м/с).

По результатам расчетов построены кривые, отображающие изменение давления ( $p_k$ ) в тормозной камере, замедления ( $j$ ), скорости ( $V$ ) и тормозного пути ( $S$ ) в случае торможения автопоезда МАЗ с существующей пневматической тормозной системой (рис. 1) и с применением электрического управляющего сигнала (рис. 2).

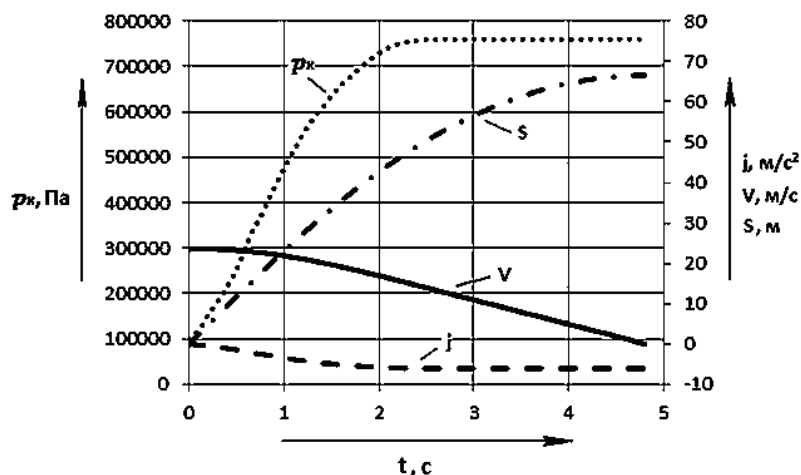


Рисунок 1 – Кривые, характеризующие процесс торможения автопоезда МАЗ с существующей пневматической тормозной системой.

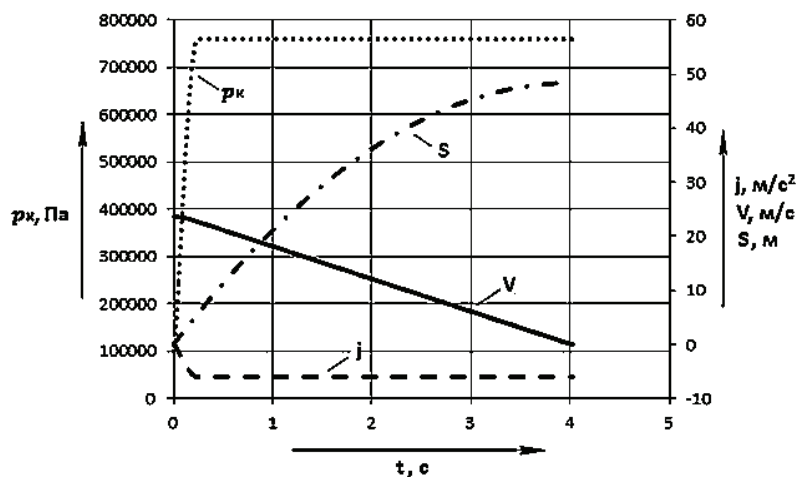


Рисунок 2 – Кривые, характеризующие процесс торможения автопоезда МАЗ с применением электрического управляющего сигнала в пневматической тормозной системе.

Согласно расчетам, время торможения автопоезда с существующей пневматической тормозной системой составляет 4,8 с, а величина тормозного пути – 66,5 м. В случае применения электрического управляющего сигнала время торможения составит 4,03 с (сократилось на 16 %), а величина тормозного пути – 48,3 м (сократилась на 27,4 %).

## ВЫВОДЫ

Полученные результаты подтверждают целесообразность применения электрического управляющего сигнала в пневматической тормозной системе автопоезда МАЗ для повышения ее эффективности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грищук, О. К. Математична модель руху автопоїзда в режимі гальмування [Текст] / О. К. Грищук, П. М. Кравчук // Автошляховик України. – 2008. – № 2. – С. 22–23.
2. Математическая модель динамического процесса наполнения типовых звеньев пневматического привода автотранспортных средств [Текст] / А. Н. Туренко, В. А. Богомолов, В. И. Клименко, А. В. Крамской // Вестник ХНАДУ. – 2003. – № 24. – С. 112–116.
3. Моделювання перехідних процесів у пневматичному приводі з послідовно сполученими ланками [Текст] / А. М. Туренко, В. О. Богомолов, В. А. Клименко, О. В. Крамський // Автошляховик України. – 2006. – № 6. – С. 16–18.
4. Математическое моделирование динамического процесса наполнения типовых звеньев пневматического привода автотранспортных средств [Текст] / А. Н. Туренко, В. А. Богомолов, В. И. Клименко, А. В. Крамской // Научно-виробничий журнал. – 2004. – № 5. – С. 22–25.
5. Шукин, М. М. Конструкции и расчет автомобильных поездов [Текст] / Я. Х. Закин. – Л. : Машиностроение, 1968. – 332 с.
6. Агейкин, Я. С. Теория автомобиля [Текст] : Учебное пособие / Я. С. Агейкин, Н. С. Вольская. – М. : МГИУ, 2008. – 318 с.
7. Беляев, В. М. Проектирование тормозных систем автомобиля [Текст]. В 2-х частях. Часть 1 : Учебно-методическое пособие / В. М. Беляев, В. Г. Иванов, Л. А. Молибшко. – Мн. : Белорусская государственная политехническая академия, 2000. – 47 с.
8. Гришкевич, А. И. Автомобили. Конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть [Текст] / А. И. Гришкевич, Д. М. Ломако, В. П. Автушко. – Мн. : Высшая школа, 1987. – 200 с.
9. Тормозные устройства [Текст] : Справочник / М. П. Александров, А. Г. Лысяков, В. Н. Федосеев, М. В. Новожилов. – М. : Машиностроение, 1985. – 312 с.
10. Гуревич, Л. В. Пневматический тормозной привод автотранспортных средств [Текст] / Л. В. Гуревич, Р. А. Меламуд. – М. : Транспорт, 1988. – 224 с.

Получено 06.04.2015

### М. П. КОРОВАШКІН ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЛЬМУВАННЯ АВТОПОЇЗДА МАЗ Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Проведено аналіз доцільності застосування електричного керуючого сигналу в пневматичній гальмівній системі автопоїзда МАЗ, що складається з тягача МАЗ-6501а8 та причепа МАЗ-856102, для підвищення ефективності гальмування.

**математична залежність, електромагнітний клапан, гальмівна камера, пневматична гальмівна система, керуючий сигнал**

### MAXIM KOROVASHKIN THE INCREASE OF BRAKING EFFICIENCY OF ROAD TRAIN MAZ Donbas National Academy of Civil and Architecture

The analysis of the feasibility of using electrical control signal in the pneumatic brake system of road train MAZ, which consists of the tractor MAZ-6501a8 and the trailer MAZ-856102, for the increase braking efficiency, has been carried out.

**mathematical relationship, solenoid valve, brake chamber, pneumatic brake system, control signal**