

УДК 629.3.017

ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФУНКЦИЙ ПОТЕРЬ В ТОРМОЗНОМ ПРИВОДЕ ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Попов Алексей Иванович, канд. техн. наук, доц.,

МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, a.popov@maditest.ru

Курипка Александр Владимирович, аспирант,

МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, Kuripkas2108@yandex.ru

Аннотация. В работе проведен анализ функций, позволяющих математически описать расход воздуха во время наполнения/опорожнения тормозного привода, а также представлена математическая модель зависимостей, которые позволяют описать работу пневматического (электропневматического) тормозного привода автомобиля. На основании проанализированных зависимостей была создана имитационная модель торможения автомобиля, оборудованного пневматическим (электропневматическим) тормозным приводом (на примере МАЗ – 256200). Проанализированные зависимости и предложенная имитационная модель торможения автомобиля МАЗ – 256200 позволили исследовать влияние использования при проектировании тормозного привода автомобиля разных функций потерь на реализуемое сцепление колеса с дорожной поверхностью.

Ключевые слова: тормозной привод, тормозная система, тормозное управление, торможение транспортного средства, реализуемое сцепление.

INFLUENCE OF THE USE OF DIFFERENT FUNCTIONS OF LOSSES IN THE BRAKE ACTUATOR IN SIMULATION OF THE PROCESS OF BRAKING A VEHICLE

Popov Alexey I., Ph.D., associate professor,

MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, a.popov@maditest.ru

Kuripka Alexander V., postgraduate,

MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, Kuripkas2108@yandex.ru

Abstract. The paper analyzes the functions that make it possible to mathematically describe the air flow during filling / emptying of the brake actuator, and also presents a mathematical model of dependencies that allow describing the operation of the brake actuator of a car. Based on the analyzed dependencies, a simulation model of braking of a car

equipped with an electro-pneumatic brake drive (based on MAZ - 256200) was created. The analyzed dependencies and the proposed braking simulation model for the MAZ-256200 car made it possible to investigate the wobbling of the use of different loss functions when designing a car brake drive for the realized grip of the wheel with the road surface.

Key words: brake drive, brake system, brake control, vehicle braking, and realized clutch.

Введение

Увеличение скоростных возможностей современных автомобилей и повышение числа дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах заставляют исследователей работать над совершенствованием процесса торможения автомобиля в экстренных ситуациях. Достичь этого можно с помощью повышения точности расчета тормозных характеристик автомобиля на стадии его разработки. Известно, что на эффективность процесса торможения автомобиля влияет множество факторов, таких как: качество и тип поверхности дорожного покрытия, сопротивление воздуха, состояние эластичной шины и давление воздуха в ней, а также тип и параметры тормозного привода. Существенную роль играет сцепление колеса с опорной поверхностью дороги.

Целью работы является исследование влияния использования разных функций потерь в тормозном приводе на сцепление колеса с поверхностью дорожного покрытия, при имитационном моделировании процесса торможения на примере транспортного средства категории М₃.

Из научно-технической литературы [2, 5–7, 9] известно, что процесс мгновенного массового расхода воздуха через местное сопротивление (дроссель) описывается с помощью зависимости (1), которая позволяет описать изменение течения воздуха в звеньях пневматического привода в режиме наполнения, опорожнения и выдержки.

$$G_m = \text{sign}(p_i - p_{\max}) \cdot \frac{\max(p_i; p_{i-1}) \cdot f \cdot \sqrt{k}}{\sqrt{R \cdot T_i}} \cdot \varphi(\sigma) \quad (1)$$

где μ – коэффициент расхода;

f – площадь поперечного сечения канала дросселя, м^2 ;

k – показатель адиабаты ($k = 1.4$);

T – абсолютная температура рабочего тела перед дросселем, К ;

R – газовая постоянная ($R = 287,14$), $\frac{\text{м}^2}{(\text{с}^2 \cdot \text{К})}$;

$\varphi(\sigma)$ – функция расхода давления воздуха при наполнении и опорожнении воздуха тормозного привода.

Для расчета динамики наполнения и опорожнения давления воздуха в тормозном пневмоприводе во время торможения автомобиля используется деление элементов привода на ДЕ-звенья предложенная и описанная в работах [2, 11, 7]. Анализ работ показал, что описание динамики наполнения/опорожнения ДЕ – звена описывается авторами в разных работах описывается по-разному, в работах [10] авторы предлагают описывать процесс расхода давления воздуха при наполнении / опорожнении тормозного привода во время торможения автомобиля по следующей зависимости.

$$\varphi(\sigma) = \mu \cdot \sqrt{\frac{1 - \sigma^2}{2 \cdot k \cdot (\xi - \ln \sigma)}} \quad (2)$$

где ξ – коэффициент гидравлического сопротивления;

σ – безразмерное давление, которое определяется отношением давления p_1 в полости за дросселем и давлением p_0 в резервуаре перед дросселем, $\sigma = \frac{\min(p_i; p_{i-1})}{\max(p_i; p_{i-1})}$;

В работе [10] авторы предлагают подобную зависимость (3), которая, согласно проведенным исследованиям, описывает динамические процессы в тормозном приводе автомобиля более интенсивно относительно зависимости (2).

$$\varphi(\sigma) = \mu \cdot \sqrt{\frac{1 - \sigma^{\frac{2}{k}}}{2 \cdot (k \cdot \xi - \ln \sigma)}} \quad (3)$$

Авторы работы [1, 11] предлагают зависимость (4), которая позволяет более точно описать процесс потерь давления воздуха в тормозном приводе.

$$\varphi(\sigma) = \mu \cdot \begin{cases} \sqrt{\frac{2}{k-1} \cdot \left(\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}} \right)} \text{ в случае } \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} < \sigma < 1; \\ \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \cdot \sqrt{\frac{2}{k+1}} \text{ в случае } 0 < \sigma \leq \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}. \end{cases} \quad (4)$$

Но при этом зависимость (4) более сложна относительно зависимостей (2), (3) в использовании при расчете и имитационном моделировании рабочих процессов тормозного привода автомобиля. В работах [1, 8] авторы предлагают описывать расход давления воздуха во время математического моделирования рабочих процессов пневматического тормозного привода по зависимости (5), анализ которой проведенный автором работе [7] показал, что зависимость (5) позволяет описать динамический процесс наполнения/опорожнения тормозного привода быстрее в сравнении зависимостей (2) и (3), но медленнее в сравнении с использованием зависимости (4).

$$\varphi(\sigma) = \mu \cdot 0,654 \cdot \frac{1 - \sigma}{1,13 - \sigma}. \quad (5)$$

Для дальнейшего проведения исследования влияния использования различных зависимостей, позволяющих описать влияние расхода воздуха на сцепление колеса с опорной поверхностью дороги. На основе анализа работ [3, 4] в которых была предложена математическая модель процесса торможения автомобиля, нами была выбрана структурная блок-схема (рис 1)

пневматического/электропневматического привода, позволяющая описать процесс торможения автомобиля.

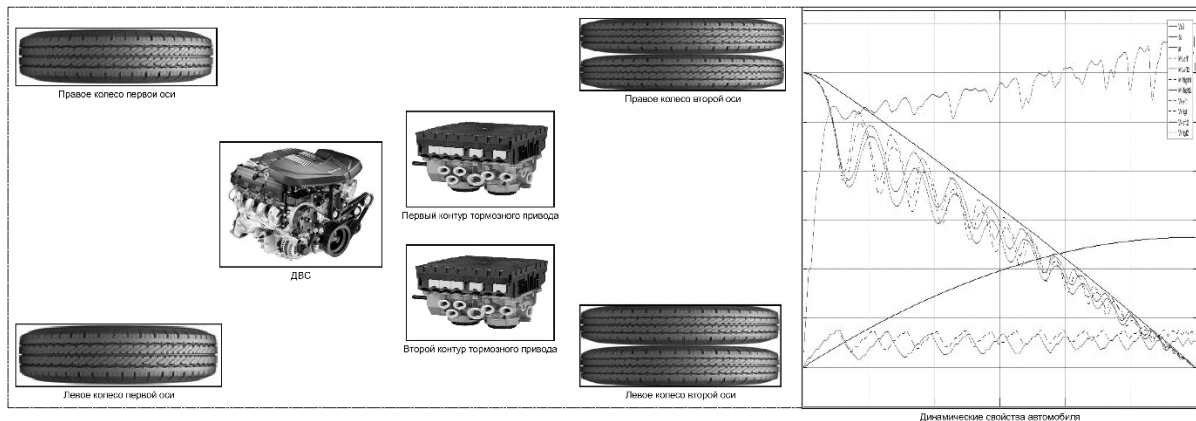


Рис. 1. Структурная блок-схема имитационной модели процесса торможения автомобиля

Для создания имитационной модели электропневматического тормозного привода автомобиля была использована модель деления компонентов тормозного привода на ДЕ-звенья предложенная в работах [4, 7, 11], на основании которой была создана блок-схема переднего и заднего контура электропневматического тормозного привода с учетом изменения характера течения воздуха в ДЕ-звене .

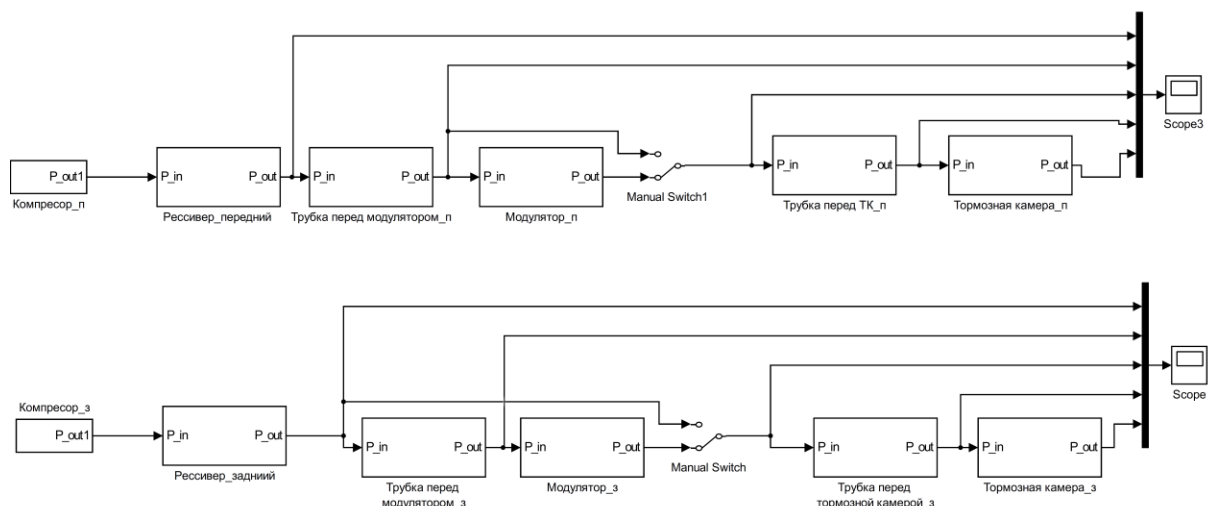


Рис. 2. Имитационная блок-схема переднего тормозного контура а) и заднего тормозного контура б) электропневматического тормозного привода

Данная модель позволяет учитывать потерю сжатого воздуха при заполнении новой ДЕ-цепи, путем реализации виртуальных блоков памяти «From» и «Goto», которые позволяют считывать и передавать данные между блоками. Рассматривая блок «тормозная камера» (рис. 2), который является последним в ДЕ-цепи тормозного привода, при определении dp/dt надо учитывать потерю сжатого воздуха при изменении давления в ней. Для определения давления воздуха в ДЕ-звеньях тормозного привода в работе была использована зависимость (6) предложенная соавтором в работе [9].

$$\frac{dp_{v1}}{dt} = \text{sign}(p_i - p_{\max}) \frac{G \cdot k \cdot R \cdot T + k \cdot p_i \cdot \frac{dV_i}{dt}}{V_i} \quad (6)$$

где V_i – объём наполняемой емкости, м³.

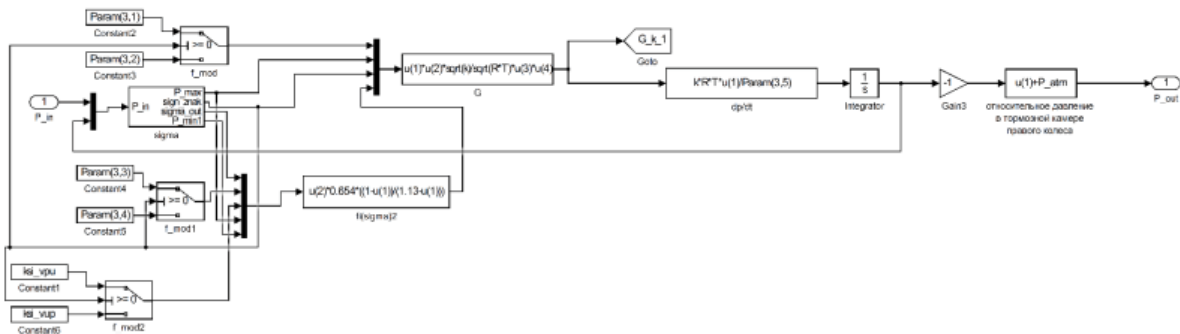


Рис. 3. Структурная блок-схема модели «тормозная камера»

Имитационная модель проходной трубки тормозного привода имеет вид представленный на рисунке 4, с помощью которого можно описать течение воздуха как в прямом, так и в обратном направлении.

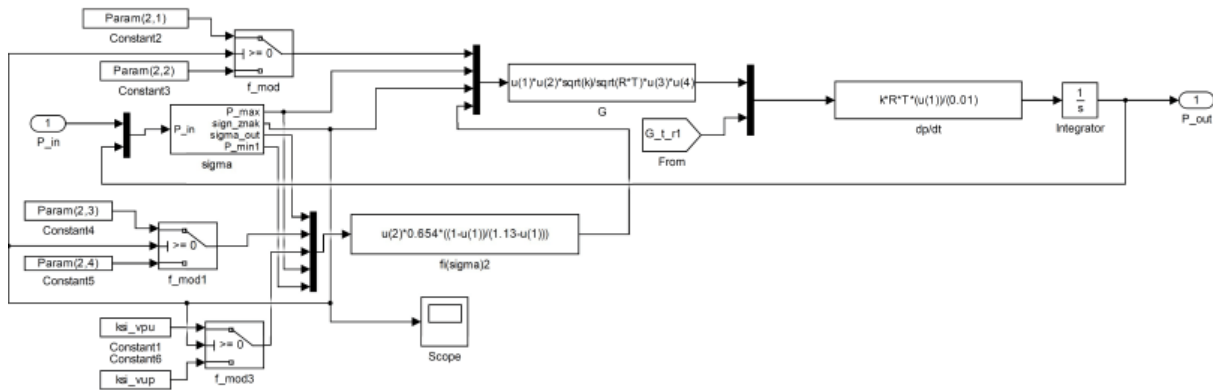


Рис. 4. Блок-схема реализации проходной ДЕ-цепи привода «трубка»

Для описания работы электропневматического тормозного привода также была создана имитационная модель модулятора с прямым перетеканием воздуха (рис. 5), который работает в трехфазовом режиме – наполнение / выдержка / выпуск. Сигналы для работы данного модулятора поступают в закодированном виде, где значение «+1» – режим наполнения, «0» – выдержка и «-1» – выпуск.

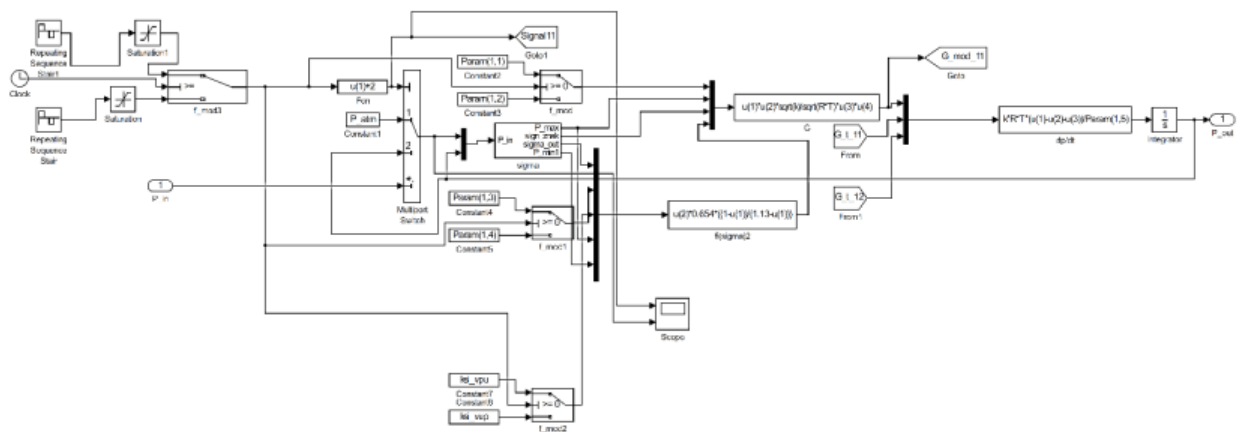


Рис. 5. Блок-схема модулятора с прямым перетеканием воздуха

Пример реализации имитационной модели работы верхней и нижней секции тормозного крана представлены на рисунке 6.

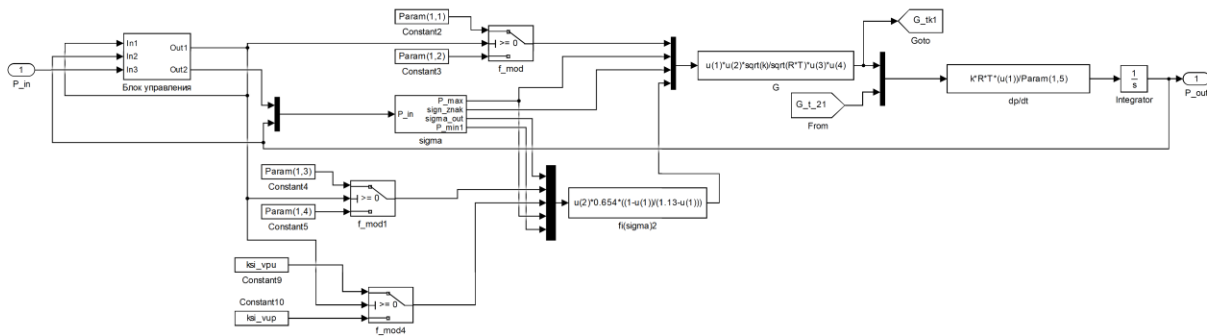


Рис. 6. Блок схема ресивера переднего и заднего контура тормозного привода автомобиля

Управляющие сигналы, которые поступают от блока управления к модуляторам при нажатии водителем «электронной» педали тормоза смоделированы с помощью блоков «*Repeating Sequence Stair*», а подача сигнала осуществляется с помощью блока «*Signal*».

В результате моделирования с использованием функций изменения давления воздуха при наполнении тормозного привода во время торможения и созданной имитационной модели тормозного привода транспортного средства МАЗ–256200 были получены кривые реализуемого сцепления эластичной шины с опорной поверхностью в условиях торможения автомобиля на сухом асфальтовом покрытии с начальной скорости 16 м/с. Значения реализуемого сцепления колес автомобиля были получены при имитации торможения автомобиля в условиях торможения на грани сцепных свойств колес автомобиля (рис. 7). Рассматривалось торможение автомобиля, оборудованного модуляторами электропневматического привода, позволяющими осуществлять регулирование тормозных сил (рис. 8).

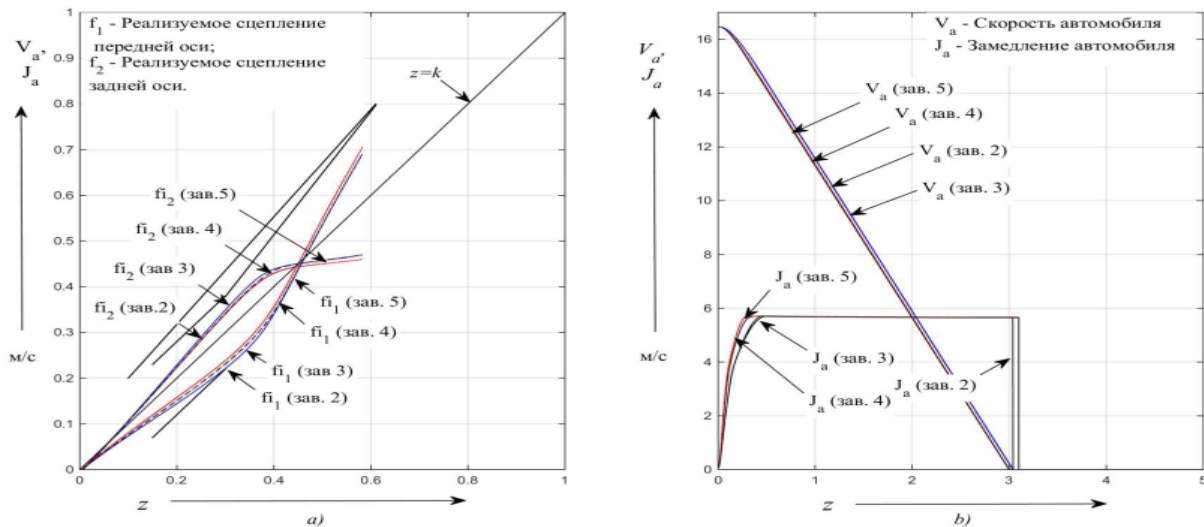


Рис. 7. а) Кривые реализуемого сцепления МАЗ–256200 при торможении в груженом состоянии на пределе сцепных свойств колес; б) динамические параметры МАЗ–256200 при торможении в груженом состоянии на пределе сцепных свойств колес

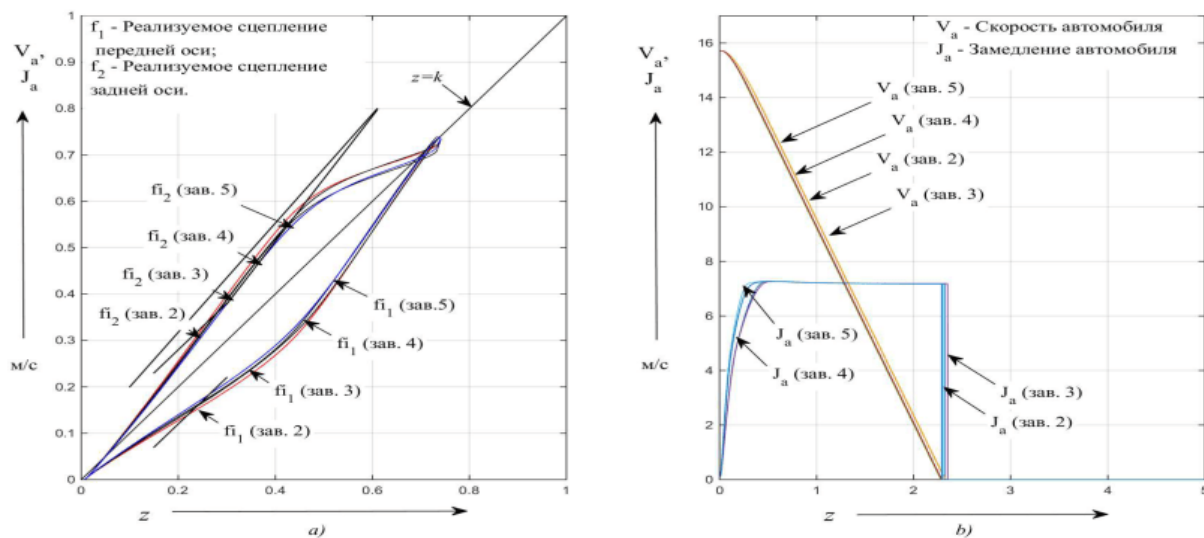


Рис. 8. а) Кривые реализуемого сцепления МАЗ–256200 при торможении в снаряженном состоянии на пределе сцепных свойств колес; б) динамические параметры МАЗ–256200 при торможении в снаряженном состоянии на пределе сцепных свойств его колес

На основе проведенных расчетов по разработанной имитационной модели процесса торможения автомобиля с электропневматическим тормозным приводом были построены кривые реализуемого сцепления автомобиля в груженом состоянии (рис. 9) и в снаряженном состоянии (рис.10).

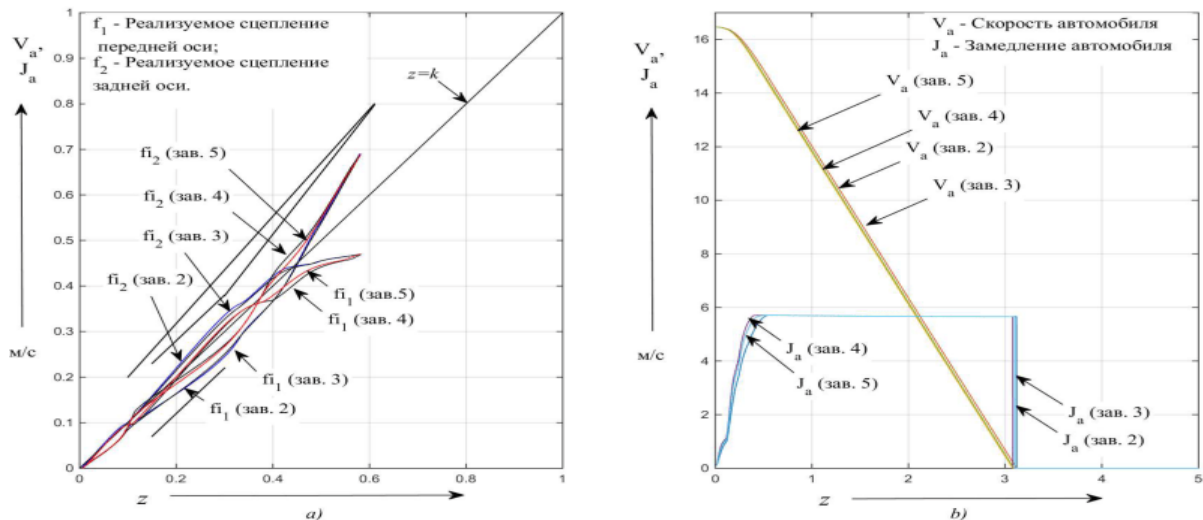


Рис. 9. а) Кривые реализуемого сцепления МАЗ–256200 при торможении в груженом состоянии с электронными модуляторами регулирования тормозных сил; б) динамические параметры МАЗ–256200 при торможении в груженом состоянии на пределе сцепных свойств колес

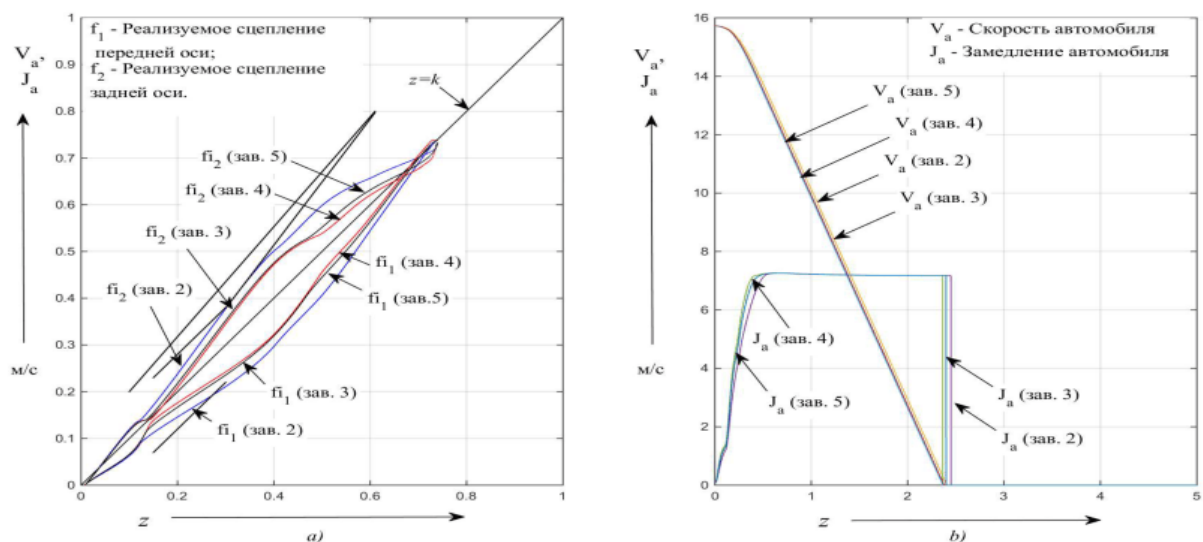


Рис. 10. а) Кривые реализуемого сцепления МАЗ–256200 при торможении в снаряженном состоянии с электронными модуляторами регулирования тормозных сил; б) динамические параметры МАЗ–256200 при торможении в снаряженном состоянии на пределе сцепных свойств колес

Заключение

В проведенной работе представлен анализ различных зависимостей, позволяющих математически описать расход воздуха во время работы тормозного привода в режиме наполнения/опорожнения. Разработана имитационная модель работы электропневматического тормозного

привода, позволяющая исследовать процесс реализации сцепления колес автомобиля с дорожной поверхностью, используя различные функции расхода. Результаты расчета используются при моделировании рабочего процесса торможения автомобиля.

Список литературы

1. Автушко, В.П. Исследование динамики пневматических элементов тормозного привода автомобилей / В.П. Автушко, Н.Ф. Метлюк. // Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. – 1976. – № 3. – С. 5-12.
2. Герц, Е. Динамика пневматических систем машин / Е. Герц. – 1985.
3. Леонтьев, Д.М. Імітаційне моделювання динаміки руху колісного транспортного засобу під час гальмування / Д.М. Леонтьєв, О.В. Куріпка // Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції «Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців». – 2021. – С. 38-40.
4. Дон, Є.Ю. Удосконалення динамічних властивостей електропневматичного гальмового керування колісного транспортного засобу: Дис. ... канд. техн. наук / Дон Э.Ю. – 2020.
5. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – Рипол Классик, 2013.
6. Курбатов, А.В. Расчет динамических характеристик тормозных кранов: Дис. ... канд. техн. наук / Курбатов А.В.
7. Леонтьев, Д.М. Теоретичні основи гальмування багатовісних транспортних засобів з електропневматичною гальмовою системою: Дис. ... д-ра техн. наук / Леонтьєв Д.М. – 2021.
8. Метлюк, Н.Ф. Автоматическое регулирование тормозных сил автомобиля Н.Ф. Метлюк // Автомобильная промышленность. – 1970. – № 7. – С. 7-9.
9. Рижих, Л.О. Щодо питання моделювання електропневматичного гальмового приводу / Л.О. Рижих, Д.М. Леонтьєв, О.В. Куріпка // Тезиси докладов. – 2020.
10. Туренко, А.Н. Математическое моделирование динамического процесса наполнения типовых звеньев пневматического привода автотранспортных средств / А.Н. Туренко [и др.] // Автошляховик України. – 2004. – № 5. – С. 22.
11. Туренко, А.Н. Реализация интеллектуальных функций в электронно-пневматическом тормозном управлении транспортных средств: монография / А.Н. Туренко, В.И. Клименко, В.А. Богомолов, Л.А. Рыжих, Д.Н. Леонтьев [и др.]. – Харьков: ХНАДУ, 2015. – 455 с.

References

1. Avtushko V.P., Metlyuk N.F. *Pnevmatika i gidravlika. Privody i sistemy upravleniya*, 1976, no. 3, pp. 5–12.
2. Gerc E. *Dinamika pnevmaticheskikh sistem mashin* (Dynamics of pneumatic systems of machines), 1985.
3. Leontiev D.M., Kuripka O.V. *Naukovi pratsi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Novitni tekhnologii v avtomobilebuduvanni, transporti ta pry pidhotovtsi fakhivtsiv»*, 2021, pp. 38–40.
4. Don Ye.Yu. *Udoskonalennia dynamichnykh vlastyvostei elektropnevmatychnoho halmovoho keruvannia kolisnoho transportnoho zasobu* (Improvement of dynamic properties of electropneumatic brake control of a wheeled vehicle), PhD thesis, 2020.
5. Idel'chik I. E. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam* (Handbook of hydraulic Resistances), Ripol Klassik, 2013.
6. Kurbatov A.V. *Raschet dinamicheskikh harakteristik tormoznykh kranov* (Calculation of dynamic characteristics of brake cranes), PhD thesis.
7. Leontiev D.M. *Teoretychni osnovy halmuvannia bahatovisnykh transportnykh zasobiv z elektropnevmatychnoiu halmovoiu systemoiu* (Theoretical foundations of braking of multi-axle vehicles with electropneumatic braking system), Doctor's thesis, 2021.
8. Metlyuk N. F. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 1970, no. 7, pp. 7- 9.
9. Ryzhykh L.O., Leontiev D.M., Kuripka O.V. *Shchodo pytannia modeliuvannia elektropnevmatychnoho halmovoho pryvodu* (On the issue of modeling an electropneumatic brake drive), 2020.
10. Turenko A.N. Et al. *Avtoshlyahovik Ukraini*, 2004, no. 5, pp. 22.
11. Turenko A.N., Klimenko V.I, Bogomolov V.A., Ryzhih L.A., Leont'ev D.N. Et al. *Realizaciya intellektual'nykh funkciy v elektronno-pnevmaticheskomy tormoznom upravlenii transportnykh sredstv* (Implementation of intelligent functions in electronic-pneumatic braking control of vehicles), Har'kov, HNADU, 2015.

Рецензент: Арман Ду, канд. техн. доц., МАДИ