



УДК 621.825+62-592.1  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.4.112

**УМЕНЬШЕНИЕ РЕЗОНАНСА  
РЕЛАКСАЦИОННЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ  
КОЛЕСНЫХ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ  
ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

*Д.Г. Мясищев, д-р техн. наук, проф.  
А.С. Вашуткин, канд. техн. наук, доц.  
А.С. Лоренц, асп.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;  
e-mail: d.myasishchev@narfu.ru, a.vashutkin@narfu.ru, a.lorents@narfu.ru

Статья посвящена анализу потенциального увеличения относительной скорости деформации упругого элемента в расчетной динамической системе фрикционной пары «колодка (лента)–контртело» автомобильного тормоза при начале и завершении торможения, а значит, и соответствующих компонентов пары трения реального тормоза для уменьшения автоколебаний за счет подачи сжатого воздуха на фрикционные поверхности в процессе торможения. Перед нами стояли следующие задачи – теоретически качественно проанализировать как положительные физические явления исследуемого процесса торможения колеса автомобиля скажутся на протекании автоколебаний и их резонансных последствий. Для этого предложено при торможении за период вхождения фрикционной пары в полный контакт, вплоть до полной остановки колеса, использовать технический и теоретический подходы, связанные с подачей сжатого воздуха на фрикционные поверхности тормозного механизма. В процессе подачи сжатого воздуха в переменный зазор между фрикционными поверхностями при торможении колеса, в том числе и в ходе кинематического трения, следует ожидать, что за счет скоростного воздушного потока количество продуктов износа в микроуглублениях шероховатостей поверхностей будет меньше, чем без продувки. Кроме того, реально ожидаема интенсификация охлаждения фрикционных поверхностей. В итоге нежелательные процессы намазывания и вулканизации материала накладок будут протекать менее активно, и упругопластические свойства накладок колесного автомобильного тормоза будут иметь более длительный срок работы по сравнению с существующими конструкциями. Это приведет к уменьшению автоколебаний в тормозных механизмах, которые при возможных кратковременных резонансных явлениях служат источником шумов колесных автомобильных тормозов и снижению повышенного износа фрикционного материала накладок, а также к уменьшению времени срабатывания накладок. В качестве примера приведена и математически смоделирована идеализированная схема фрикционной пары автомобильного колодочного тормоза, отражены положительные эффекты, получаемые после внедрения контура пода-

чи сжатого воздуха в текущий зазор фрикционной пары в процессе ее смыкания и разъединения при срабатывании автомобильного тормоза.

*Ключевые слова:* лесовозный автомобиль, тормозной механизм, уменьшение, автоколебания.

Известно, что «...работа тормоза и фрикционной муфты в некоторых случаях сопровождается характерными шумами и колебаниями узла или всей машины. Обычно это наблюдается к концу торможения или разгона, когда относительная скорость скольжения\* ... невелика» [2, с. 90].

Цель работы – проведение качественного анализа возможного увеличения относительной скорости деформации упругого элемента в расчетной динамической системе фрикционной пары «фрикционная колодка–барабан» [2, с. 93, рис. 55] автомобильного тормоза в начале и при завершении торможения для уменьшения автоколебаний путем подачи сжатого воздуха на поверхности трения в процессе торможения.

Возникающие автоколебания в тормозных механизмах, как было указано выше, являются, при возможных кратковременных резонансных явлениях, источником шумов колесных автомобильных тормозов. Но при этом данные релаксационные автоколебания могут быть причиной повышенного износа фрикционного материала накладок. Следует отметить и увеличение времени срабатывания тормоза. При этом возрастают дополнительные перемещения трущихся элементов механизма – относительная скорость скольжения колодок становится больше относительной скорости между ведущей (барабан) и ведомой (колодка) частями тормоза.

Рассмотрим возможность уменьшения отрицательных последствий автоколебаний за счет подачи сжатого воздуха в зазор между поверхностями фрикционной пары колодочного тормоза грузового автомобиля в процессе торможения.

Подача сжатого воздуха в зону фрикционного контакта в колодочном тормозе колеса грузового автомобиля экспериментально и теоретически [3, 4, 7–11] показала, что при этом имеет место увеличение значения тормозной силы на колесе, что было выбрано в качестве показателя эффективности исследованного процесса. Была обоснована и реализована методика оптимизации параметров пневматической системы подачи воздуха на фрикционные поверхности колесного тормоза с использованием теории планирования многофакторного эксперимента.

Как показал анализ полученных результатов и данных исследований многочисленных специалистов в изучаемой области, качественными объяснениями полученного положительного эффекта являются: улучшение охлажде-

---

\* Относительная скорость деформации упругого элемента динамической системы фрикционной пары «фрикционная колодка–барабан».

ния поверхностей трения; интенсивное удаление продуктов износа фрикционных поверхностей тормоза при выборе зазора в системе «поверхность барабана–поверхность накладки»; интенсификация осушения фрикционных поверхностей тормоза от воды, масла и др.

Перед нами стояла задача – попытаться качественно проанализировать как отмеченные положительные физические явления рассматриваемого процесса торможения колеса автомобиля скажутся на протекании автоколебаний и их резонансных проявлениях.

Проблемами фрикционных автоколебаний занимались многие исследователи. Например, М.П. Александрова [1] доказала, что переход от статического трения (трения покоя) к трению кинематическому (трению скольжения) происходит скачкообразно. При контакте двух тел, скользящих относительно друг друга, происходят скачки, являющиеся результатом периодически возникающих и исчезающих упругих напряжений в зоне контакта фрикционных поверхностей. Это и есть релаксационные автоколебания, которые вызывают звуковые явления, вибрацию и др. негативные последствия.

Известная теория А.Ю. Ишлинского–И.В. Крагельского, подтвержденная экспериментально, указывает на то, что причина скачков при рассмотрении упругой системы состоит в различии коэффициентов трения покоя и трения скольжения. Это дает возможность приблизительно определить параметры процесса автоколебаний, используя идеализированную характеристику трения в данном процессе рис. 1 [2, с. 92, рис. 54, б].

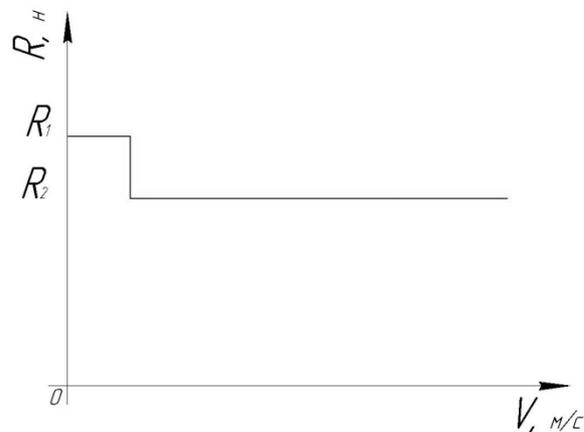


Рис. 1. Характеристика трения:  $R_1$  – максимальная сила трения покоя;  $R_2$  – приближенная (усредненная) сила трения скольжения;  $V$  – скорость относительного скольжения (скорость деформации идеализированного упругого элемента в зоне фрикционного контакта системы «накладка–барабан»)

Авторы работ [5, 6] причину появления релаксационных фрикционных автоколебаний в колесных тормозных механизмах в моменты начала и конца торможения объясняют результатом постепенного намазывания (термин авторов [5, 6]) материала фрикционных поверхностей в процессе использования тормоза. Возникающие при этом автоколебания появляются не сразу, а только после некоторого времени эксплуатации фрикционных накладок. Этот срок характерен для каждого фрикционного материала.

С нашей точки зрения для накладок до и в процессе торможения гипотетическую схему взаимодействия колодки и барабана можно представить, как показано на рис. 2.

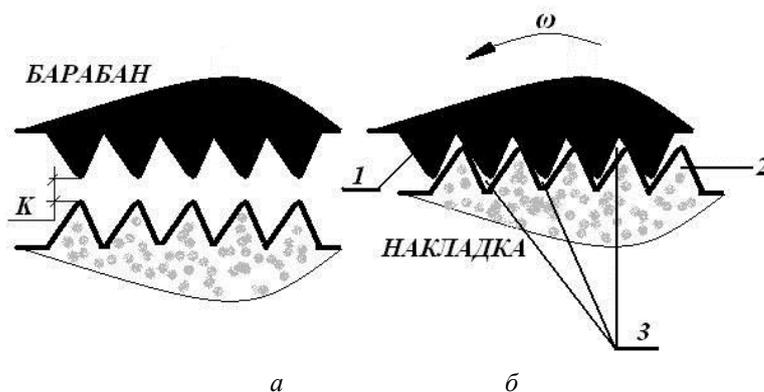


Рис. 2. Идеализированная схема фрикционной пары автомобильного колодочного тормоза: *а* – трение покоя; *б* – кинематическое трение

На схеме треугольными выступами идеализированно изображены принятые абсолютно жесткими шероховатости 1 металлического (чугунного) барабана и деформируемые шероховатости 2 материала фрикционной накладки; 3 – некоторое текущее во времени эксплуатации по объему пространство. Последнее в зависимости от срока эксплуатации тормоза может быть в разной степени заполнено продуктами износа фрикционной пары. На рис. 2, *а* представлена ситуация, когда механизм колеса расторможен (трение покоя) и между вершинами выступов 1 и 2 имеется зазор *К*. Рис. 2, *б* соответствует ситуации кинематического трения в фрикционной паре.

В работе [2] для оценки величины сжатия идеализированного упругого элемента в зоне фрикционного контакта системы «накладка–барабан» предложено следующее выражение:

$$\Delta l = \frac{2(R_1 - R_2)}{C}, \quad (1)$$

где  $\Delta l$  – искомая оценка, м;

$R_1$  и  $R_2$  – параметры (см. рис. 1), Н;

$C$  – жесткость идеализированного упругого элемента в зоне фрикционного контакта, Н/м.

Как показано в [2], при малых значениях скорости  $V$  время ( $t_1$ , с) относительного движения колодки при автоколебаниях определяется как

$$t_1 = \frac{\pi}{p}, \quad (2)$$

где  $p$  – циклическая частота в исследуемой упругой системе,  $\text{с}^{-1}$ ,

$$p = \sqrt{\frac{C}{m}}; \quad (3)$$

$m$  – масса фрикционной колодки, кг.

Параметр  $p$  в процессе эксплуатации существующих на автомобилях колодочных колесных тормозов увеличивается из-за намазывания продуктов износа (в общем случае позиция 3 на рис. 2, б) и действия высоких температур (вулканизация), что приводит к увеличению параметра  $C$  (1). Значит, следует предполагать, что величина  $t_1$  будет иметь тенденцию к уменьшению при прочих равных условиях.

Продолжительность состояния относительного покоя колодки:

$$t_2 = \frac{\Delta l}{V} = \frac{2(R_1 - R_2)}{CV}. \quad (4)$$

С учетом (2) и (4) период релаксационных колебаний (возмущающей силы для системы тормозного механизма) оценивается как

$$T_0 = t_1 + t_2. \quad (5)$$

Рассматривая конкретное состояние фрикционной пары ( $t_1 = \text{const}$ ) установлено [2, с. 95], что «... в процессе разгона, торможения или реверсирования скорость  $V$  всегда убывает и, следовательно, период автоколебаний непрерывно возрастает».

При этом период собственных колебаний системы (суппорт, оси и тело тормозных колодок, элементы креплений и др.) тормозного механизма

$$T = \frac{2\pi}{p_1}, \quad (6)$$

где  $p_1$  – циклическая частота собственных колебаний системы тормозного механизма,  $\text{с}^{-1}$ .

Данный динамический показатель целесообразно считать практически постоянным.

Там же [2] отмечается, что если в момент начала или окончания действия тормозного механизма период, определяемый относительной скоростью  $V$ , больше периода собственных колебаний всей системы ( $T_0 > T$ ), то возникновение резонанса практически невозможно. Если  $T_0 < T$ , то всегда имеются предпосылки для резонанса, так как по мере уменьшения  $V$  будет возрастать  $T_0$ , и через некоторое время  $T_0 = T$ , т. е. кратковременный резонанс внутри некоторой резонансной зоны, расположенной около резонансной скорости  $V_p$ , которая может быть оценена как

$$V_p = \frac{2(R_1 - R_2)}{\pi r t}. \quad (7)$$

Из данного качественного анализа можно сделать заключение: для снижения автоколебаний колесного барабанного автомобильного тормоза и вытекающих из этого отрицательных последствий в течение всего времени использования данной фрикционной пары требуется обеспечить, чтобы  $T_0 > T$ . Для этого предлагается при торможении в течение времени вхождения фрикционной пары в полный контакт и вплоть до полной остановки колеса использовать технический и теоретический подходы, которые указаны в работах [3, 4, 7–11].

Из работ [5, 6] следует, что малоработавшие фрикционные накладки практически не подвержены релаксационным автоколебаниям. Это наблюдается тогда, когда накладки обладают достаточно значимыми упругопластическими свойствами (значение параметра  $C$  относительно мало). Это достоинство в ходе эксплуатации постепенно теряется в результате намазывания и вулканизации продуктов износа накладок ( $C$  увеличивается, так как «...через некоторое время работы фрикционный материал накладок получает дополнительную вулканизацию под действием высоких температур ... и становится более жестким» [2, с. 98]).

В процессе подачи сжатого воздуха в переменный зазор между фрикционными поверхностями при торможении колеса, в том числе и в ходе кинематического трения, количество продуктов износа в микроуглублениях  $З$  (рис. 2, б) шероховатостей поверхностей за счет скоростного воздушного потока следует ожидать меньше, чем без продувки. Так же реально ожидать интенсификацию охлаждения фрикционных поверхностей. В итоге отмеченные выше нежелательные процессы намазывания и вулканизации материала накладок протекают менее активно, а упругопластические свойства накладок колесного автомобильного тормоза должны сохраняться более длительный срок работы по сравнению с существующими конструкциями. Это должно обеспечиваться увеличением времени эксплуатации тормоза, когда  $T_0 > T$ .

Следовательно, можно предположить, что по аналогии с колодочными конструкциями эти предложения справедливы и для дисковых колодочных автомобильных тормозов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров М.П. Тормозные устройства в машиностроении. М.: Машиностроение, 1965. 676 с.
2. Борисов С.М. Фрикционные муфты и тормоза строительных и дорожных машин. М.: Машиностроение, 1973. 167 с.
3. Ваиуткин А.С., Ульяновский И.Е., Мясичев Д.Г. Теоретическое исследование влияния факторов на работу тормозного механизма при подаче сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном // Изв. Самарского НЦ РАН. 2011. С. 946–949.

4. Заявка на изобретение. Способ подачи сжатого воздуха на фрикционные поверхности тормозного механизма и устройство для его осуществления / Мясичев Д.Г., Вашуткин А.С., Швецов А.М.; заявитель САФУ имени М.В. Ломоносова. № 2012147970/11; заявл. 12.11.12; опубл. 20.05.14.

5. *Костерин Ю.И.* Механические колебания при сухом трении. М.: Изд-во АН СССР, 1969. 76 с.

6. *Крагельский И.В.* Трение и износ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1968. 480 с.

7. *Мясичев Д.Г., Вашуткин А.С.* Экспериментальное исследование функционирования барабанных тормозных механизмов автолесовозов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы междунар. науч.-техн. конф., 7 – 9 дек. 2010 г. Вологда: ВГТУ, 2010. С. 166–169.

8. *Мясичев Д.Г., Вашуткин А.С.* Организация и планирование экспериментального исследования подвода сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном в процессе торможения // Лесн. журн. 2013. №1. С. 70–77. (Изв. высш. учеб. заведений).

9. *Мясичев Д.Г., Вашуткин А.С.* Результаты экспериментального исследования процесса подвода сжатого воздуха между фрикционными поверхностями тормозного механизма // Лесн. журн. 2013. № 4. С. 40–46. (Изв. высш. учеб. заведений).

10. *Мясичев Д.Г., Вашуткин А.С., Швецов А.М.* Математическое моделирование пневматической системы «источник воздуха–зазор колесного тормоза лесовозного автомобиля–атмосфера» в процессе торможения // Мир науки. 2014. №12. С. 58–61.

11. *Мясичев Д.Г., Вашуткин А.С., Швецов А.М.* Оптимизация параметров и характеристик колесного тормоза лесотранспортной машины с целью максимизации тормозной силы // Лесн. журн. 2014. № 6. С. 82–87. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 04.03.16

UDC 621.825+62-592.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.4.112

#### **Reduction of Relaxation Oscillation Resonance of Wheel Brake Devices of Lumber Trucks**

*D.G. Myasishchev, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

*A.S. Vashutkin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

*A.S. Lorents, Postgraduate Student*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: d.myasishchev@narfu.ru, a.vashutkin@narfu.ru, a.lorents@narfu.ru

This article analyzes the potential increase of the relative speed of deformation of the elastic member in the calculating and dynamic system of a friction pair of “brake shoe (band) – counterface” of the automotive brake at the beginning and the end of braking, and therefore the corresponding components of a friction pair of a real brake to reduce the self-oscillations due to the compressed air supply on the friction surfaces during braking. The problem of the research is the theoretical attempt to analyze qualitatively the influence of the positive physical phenomena of the investigated braking process of a vehicle wheel on the self-

oscillations and their resonant consequences. We offer to use the technical and theoretical approaches related to the compressed air supply on the brake friction surface in the process of braking during the period of the friction pair entering in full contact, up to a complete stop of a wheel. Due to the high speed of airflow we should expect the fewer amounts of wear products in the micropits of surface roughness in the process of compressed air supplying during wheel braking and the kinematic friction into the variable clearance between the friction surfaces than without scavenging. In addition, the expected intensification of cooling of the friction surfaces is real. As a result, the undesirable smearing and vulcanization processes of the facing material are less active; and the elastic properties of the wheeled brake facing have a longer life, compared with the existing designs. This fact reduces the self-oscillations in the brake devices, which in case of possible short-term resonance phenomena are a source of noise of the wheeled automobile brakes and a reduction of increased wear of the friction facing material, as well as to a decrease of the response time of facing. As an example, the idealized diagram of a friction pair of a drum brake is mathematically modeled; the positive effects obtained after the introduction of the compressed air supply circuit in the current clearance of the friction pair in the process of closing and separation at the automobile braking action are reflected.

*Keywords:* lumber truck, brake device, reduction, self-oscillation.

#### REFERENCES

1. Aleksandrov M.P. *Tormoznye ustroystva v mashinostroenii* [Braking Devices in Mechanical Engineering]. Moscow, 1965. 676 p.
2. Borisov S.M. *Friktsionnye mufty i tormoza stroitel'nykh i dorozhnykh mashin* [Friction Clutches and Brakes of Building and Road Machines]. Moscow, 1973. 167 p.
3. Vashutkin A.S., Ul'yanovskiy I.E., Myasishchev D.G. Teoreticheskoe issledovanie vliyaniya faktorov na rabotu tormoznogo mekhanizma pri podache szhatogo vozdukha mezhdru tormoznymi kolodkami i tormoznym barabanom [A Theoretical Study of the Influence of Factors on the Brake Device at Pressure Air Supply Between the Brake Shoes and the Brake Drum]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2011, pp. 946–949.
4. Myasishchev D.G., Vashutkin A.S., Shvetsov A.M. *Sposob podachi szhatogo vozdukha na friktsionnye poverkhnosti tormoznogo mekhanizma i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Pressure Air Supply Method on the Friction Surface of the Brake Device and a Device for Its Implementation]. Application for an Invention, no. 2012147970/11, 2012.
5. Kosterin Yu.I. *Mekhanicheskie kolebaniya pri sukhom trenii* [Mechanical Vibrations at Dry Friction]. Moscow, 1969. 76 p.
6. Kragel'skiy I.V. *Trenie i iznos* [Friction and Wear]. Moscow, 1968. 480 p.
7. Myasishchev D.G., Vashutkin A.S. Eksperimental'noe issledovanie funktsionirovaniya barabannykh tormoznykh mekhanizmov avtolesovozov [Experimental Study of the Drum Brake Device Operation of Lumber Trucks]. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy mezhdunar. nauch.- tekhn. konf., 7–9 dek. 2010 g.* [Actual Problems of the Forestry Complex: Proc. Int. Sci. Eng. Conf., 7–9 December, 2010]. Vologda, 2010, pp. 166–169.

8. Myasishchev D.G., Vashutkin A.S. Organizatsiya i planirovanie eksperimental'nogo issledovaniya podvoda szhatogo vozdukha mezhdu tormoznymi kolodkami i tormoznym barabanom v protsesse tormozheniya [Organization and Planning of the Experimental Study of Compressed Air Supply between the Brake Shoes and Brake Drum During Braking]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 1, pp. 70–77.

9. Myasishchev D.G., Vashutkin A.S. Rezul'taty eksperimental'nogo issledovaniya protsessa podvoda szhatogo vozdukha mezhdu friktsionnymi poverkhnostyami tormoznogo mekhanizma [The Results of an Experimental Study of Compressed Air Supply between the Drum Brake Friction Surfaces]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 4, pp. 40–46.

10. Myasishchev D.G., Vashutkin A.S., Shvetsov A.M. Matematicheskoe modelirovanie pnevmaticheskoy sistemy “istochnik vozdukha – zazor kolesnogo tormoza lesovoznogo avtomobilya – atmosfera” v protsesse tormozheniya [Mathematical Modeling of the Pneumatic System of “Air Source – Wheel Brake Clearance of a Lumber Truck – Atmosphere” During Braking]. *Mir nauki*, 2014, no. 12, pp. 58–61.

11. Myasishchev D.G., Vashutkin A.S., Shvetsov A.M. Optimizatsiya parametrov i kharakteristik kolesnogo tormoza lesotransportnoy mashiny s tsel'yu maksimizatsii tormoznoy sily [Parameter Optimization of the Wheel Brake of a Timber Car with the Objective of Braking Force Maximization]. *Lesnoy zhurnal*, 2014, no. 6, pp. 82–87.

Received on March 04, 2016