ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-42

DEFINITION OF SPECIFIC ELECTRIC RESISTANCE OF SHEAR FRICTION LININGS OF THE BRAKE PADS RELATIVE TO THE METAL PLATE (CASE)

I.A. Uspensky¹, I.A. Yukhin¹, N.V. Limarenko²,
D.A. Vorobyev¹, O. V. Filyushin¹

¹Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev»

²Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Don State Technical University», Rostov-on-Don

Received 21.04.2020

Submitted 14.08.2020

Abstract

Introduction. The safety of operation of any technical system is the main factor determining its effective interaction with the surrounding objects. In particular, the performance of brake systems of motor vehicles is a key factor ensuring road safety, as well as the safety of products transported by them. Accordingly, health assessment of the brake gear with the ability to predict its operational life is an important task. As shown by the analysis of sources, the study and formalization of the process of wear of brake pads of low-tonnage cars of the GAZ-A21 R32 (NEXT) type, there is not enough work devoted to the study of the dependence of the resistivity level on the wear of the brake pad, and this is relevant for science and technology. The purpose of this study is to select approximating functions that adequately describe the experimental dependences of changes in the resistance value of the conductor of the measuring circuit depending on the wear of the brake pad, as well as to offer a circuit design solution for automating the measurement of its current value. **Object.** The object of research is a prototype of disc brake pads with a wear indicator of the friction lining for GAZ-A21 R32 (NEXT) cars. Preliminary experimental studies were conducted on the described layout. The formalization of the brake pad wear process in this study is presented by considering it from an electrical point of view as a measuring circuit characterized by response time, as well as minimizing its systematic errors, which is achieved by introducing it into a consistent mode, in which the total resistance of the oscillating load R_H is matched with the resistance of the power source. The article presents the main analytical dependencies that characterize the behavior of the electrical parameters of the measuring circuit from a physical point of view. However, it is not possible to adequately formalize the process of brake pad wear using analytical models, so to increase the accuracy and reliability of the interpretation of experimental data, the use of statistical modeling, in particular, function approximation, is described. **Results and Conclusions.** In the result of the study established that the approximating function is a first-order polynomial adequately according to the Fisher criterion, characterizes the dependence of the resistance measuring circuit of the car from wear and tear brake pads at a significance level of $\alpha = 0.05$, the correlation coefficient is $r = 0.99$; to prove the dependence of wear of the brake pads of the car GAZ-A21R32 (NEXT) from the resistance measuring circuit; the possibility of using a circuit-based measuring solution in the form of a Grutzmacher bridge when the proposed measuring circuit needs to be automated is substantiated.

Key words: *braking process, the light-duty vehicles, the sensor status of the brake system, the friction wear resistance of the braking system.*

Citation. Uspensky I.A., Yukhin I.A., Limarenko N.V., Vorobyev D.A., Filyushin O.V. *Definition of specific electric resistance of shear friction linings of the brake pads relative to the metal plate (case)*Volga Agro-University Comp. 2020. 3 (59). 395-405 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-42.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 629.11.02

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГА ФРИКЦИОННОЙ НАКЛАДКИ ТОРМОЗНОЙ КОЛОДКИ ОТНОСИТЕЛЬНО МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ (КОРПУСА)

И. А. Успенский¹, доктор технических наук, профессор

И. А. Юхин¹, доктор технических наук, доцент

Н. В. Лимаренко², кандидат технических наук, доцент

Д. А. Воробьев¹, аспирант

О. В. Филюшин¹, магистрант

¹ФГБОУ ВО Рязанский агротехнологический университет
имени П. А. Костычева

²ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

Дата поступления в редакцию 21.04.2020

Дата принятия к печати 14.08.2020

Актуальность. Безопасность эксплуатации любой технической системы является основным фактором, определяющим её эффективное взаимодействие с окружающими её объектами. В частности, эффективность работы тормозных систем автотранспортной техники является ключевым фактором, обеспечивающим безопасность дорожного движения, а также сохранность перевозимой ими продукции. Соответственно, оценка технического состояния тормозной системы с возможностью прогнозирования её эксплуатационного ресурса является важной задачей. Как показал анализ источников, исследованию и формализации процесса износа тормозных колодок малотоннажных автомобилей типа ГАЗ-А21 R32 (NEXT) посвящено недостаточное количество работ, на основании этого можно сделать вывод, что исследование зависимости величины сопротивления от износа тормозной колодки является актуальным для науки и техники. Целью настоящего исследования является подбор аппроксимирующих функций, адекватно описывающих экспериментальные зависимости изменения величины сопротивления проводника измерительного контура в зависимости от износа тормозной колодки, а также предложение схемотехнического решения автоматизации измерений его текущего значения.

Объект. В качестве объекта исследования выбран прототип дисковых тормозных колодок с индикатором износа фрикционной накладки для автомобилей ГАЗ-А21 R32 (NEXT). На описанном макете проведены предварительные экспериментальные исследования. Формализация процесса износа тормозной колодки в данном исследовании представлена путём рассмотрения его с электрической точки зрения как измерительного контура, характеризуемого временем отклика, а также минимизацией его систематических погрешностей, что достигается путём введения его в согласованный режим, при котором происходит согласование общего сопротивления, характеризующего нагрузку колебательного R_H с сопротивлением источника питания. В статье приведены основные аналитические зависимости, характеризующие поведение электрических параметров измерительного контура с физической точки зрения. Однако установлено, что адекватно формализовать процесс износа тормозной колодки с помощью моделей аналитической природы не представляется возможным, поэтому для повышения точности и достоверности при интерпретации экспериментальных данных описано использование метода статистического моделирования, в частности аппроксимации функции. **Результаты и выводы.** В результате проведённого исследования установлено, что аппроксимирующая функция в виде полинома первого порядка адекватна по критерию Фишера, характеризует зависимость сопротивления проводника измерительного контура автомобиля от износа тормозной колодки при уровне значимости $\alpha = 0,05$, коэффициент корреляции при этом составляет $r = 0,99$; доказана зависимость износа тормозной колодки автомобиля ГАЗ-А21R32 (NEXT) от сопротивления проводника измерительного контура; обоснована возможность применения схемотехнического измерительного решения в виде моста Грютцмахера при необходимости автоматизации предлагаемого измерительного контура.

Ключевые слова: процесс торможения малотоннажных автомобилей, датчик

состояния тормозной системы, износ трением, сопротивление тормозной системы.

Цитирование. Успенский И. А., Юхин И. А., Лимаренко Н. В., Воробьев Д. А. Определение удельного электрического сопротивления сдвигу фрикционной накладки тормозной колодки относительно металлической пластины (корпуса). *Известия НВАУК*. 2020. 3(59). 395-405. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-42.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Безопасность движения транспортных средств является важным фактором её долговечной эксплуатации. Существенным элементом, позволяющим это реализовать, является тормозная система. Под эффективным функционированием тормозной системы понимается обеспечение своевременных изменений скоростей движения с соблюдением предъявляемых условий: дистанцирования, остановки, стоянки и т. п. [7, 19, 20].

Процесс эксплуатации транспортных средств связан с непрерывным изменением свойств его элементов, что объясняется протеканием физико-механических и триботехнических процессов.

Исследование и формализация процессов, протекающих при физико-механическом и триботехническом износе тормозных колодок, является важной задачей народного хозяйства, оказывающей влияние на эффективную эксплуатацию всего комплекса наземных транспортно-технологических систем [4, 6, 12, 16, 19].

Поскольку на данный процесс оказывает влияние большое количество факторов, построить единую формализованную с математической и физической точки зрения модель затруднительно. Соответственно, актуальной задачей является создание статистических моделей, адекватно описывающих износ тормозных колодок в зависимости от вида транспортных средств и интерполирующих математически частные экспериментальные исследования внутри области их применения [4-6, 8, 13-16].

Цель исследования – подбор аппроксимирующих функций, адекватно описывающих экспериментальные зависимости изменения величины сопротивления проводника измерительного контура в зависимости от износа тормозной колодки, а также предложение схемотехнического решения автоматизации измерений его текущего значения.

Материалы и методы. В основе работы тормозной системы автомобиля лежит сила трения, воздействие которой на тормозной диск приводит к образованию сил, действующих на тормозные колодки и диск. Тормозная колодка состоит из корпуса и накладки, выполненной из фрикционного материала, формованного на металлической пластине, с помощью клея [2, 4-6, 8, 11, 13-15]. На рисунке 1 представлена графическая модель тормозной колодки.

В качестве объекта исследования выбран прототип дисковых тормозных колодок с индикатором износа фрикционной накладки для автомобилей ГАЗ-А21 R32 (NEXT). Схема и конструктивное исполнение элемента тормозной системы, сигнализации об износе фрикционной накладки поясняется на рисунке 2, где введены следующие обозначения: 1 – тормозной диск, 2 – тормозная колодка, 3 – датчик износа, выполненный наборным в форме шайб с кольцевыми зубцами конической формы типа «ёрш», 4, 5 – диэлектрические слои, 6, 7, 8 – ферромагнитные слои, 9, 10, 11 –

изолированные провода, 12, 13, 14 – сигнальные индикаторы, 15 – аккумулятор.

Рисунок 1 – Тормозная колодка: 1 – фрикционный материал; 2 – клей; 3 – металлическая пластина

Figure 1 – Brake pad: 1 – Friction material; 2 – Glue; 3 – Metal plate

Устройство состоит из тормозного диска 1, контактирующего (при торможении) с тормозной колодкой 2, в теле которой жестко закреплен датчик износа 3, прослоенный в поперечном направлении путем чередования диэлектрического 4, 5 и ферромагнитных слоев 6, 7, 8, при этом каждый из ферромагнитных слоев 6, 7, 8 соединен изолированными проводами 9, 10, 11 с одним концом сигнального индикатора 12, 13, 14, соответственно, другой конец которых подсоединен к «плюсу» аккумулятора 15. Токпроводящие сердечники изолированных проводов 9, 10, 11 соединены с соответствующими им ферромагнитными слоями 6, 7, 8, например посредством припоя ПОС-61. Индикаторы 12, 13, 14 располагаются в зоне непосредственной видимости водителя транспортного средства. Характеристики тормозных колодок представлены в таблице 1.

Рисунок 2 – Схема встроенного датчика износа тормозной колодки:
1 – тормозной диск; 2 – тормозная колодка; 3 – датчик износа, выполненный наборным в форме шайб с кольцевыми зубцами конической формы типа «ёрш»;
4, 5 – диэлектрические слои; 6, 7, 8 – ферромагнитные слои; 9, 10, 11 – изолированные провода;
12, 13, 14 – сигнальные индикаторы; 15 – аккумулятор

Figure 2 – Diagram of the built-in brake pad wear sensor:
1 – Brake disc; 2 – Brake pad; 3 – Wear sensor, made in the form of a set of washers with conical ring

teeth of the "ruff" type; 4, 5 – Dielectric layers; 6, 7, 8 – Ferromagnetic layers; 9, 10, 11 – Insulated wires; 12, 13, 14 – Signal indicators; 15 – Battery

Таблица 1 – Характеристика тормозной колодки ГАЗ-A21R32(NEXT)

Table 1 – Characteristics of the brake pad GAZ-A21R32(NEXT)

№ п/п	Измеряемый параметр / Measured parameter	ГАЗ-A21 R32 (NEXT)
1	Длина / Length	150 мм / mm
2	Ширина / Width	50 мм / mm
3	Толщина / Thickness	12 мм / mm

Методика определения параметров электрического состояния измерительного контура датчика износа тормозной колодки. С электрической точки зрения эффективность функционирования любого измерительного контура характеризуется временем отклика, а также минимизацией его систематических погрешностей. Обеспечить это условие можно путём введения измерительного контура в согласованный режим, при котором происходит согласование общего сопротивления, характеризующего нагрузку колебательного R_H с сопротивлением источника питания:

$$R_H = R_{BH} + R_{PP},$$

где R_{BH} – внутреннее сопротивление измерительного контура, Ом; R_{PP} – сопротивление проводника датчика, Ом.

Преимуществом данного режима измерительного контура является обеспечение наиболее рациональных параметров электрического состояния измерительного контура. Под электрическим состоянием будем понимать следующие параметры: силу тока и напряжение в цепи измерительного контура, а также полезную мощность.

Сила тока в цепи измерительного контура определяется следующим соотношением:

$$I_{\text{согл}} = \frac{I_{K3}}{2},$$

где I_{K3} – сила тока в цепи измерительного контура в режиме короткого замыкания, А.

Напряжение в цепи измерительного контура при согласовании сопротивлений источника и измерительного контура определяется:

$$U_{\text{согл}} = \frac{E}{2} = \frac{U_{\text{тик}}}{2},$$

где $U_{\text{тик}}$ – напряжение в цепи колебательного контура при тарировке измерительного канала, В.

Зная силу тока и напряжение измерительного контура, определим его полезную мощность, которая в данном режиме должна быть максимальной:

$$P_H = P_{H\max} = \frac{U_{\text{тик}}^2}{4(R_{BH} + R_{PP})}.$$

Общеизвестно, что величина сопротивления проводника измерительного контура прямо пропорциональна произведению удельного сопротивления материала на его длину и обратно пропорциональна площади его сечения. При этом проводник измерительного контура обладает реактивными частотозависимыми составляющими, проявляемыми в виде паразитных ёмкостей и индуктивностей. Взаимосвязь данных составляющих определяется по закону Ома:

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{\frac{A_{\text{стор}}}{q}}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC})^2}},$$

где E – электродвижущая сила, созданная в цепи измерительного контура, В; Z – полное сопротивление измерительного контура, Ом; $A_{\text{стор}}$ – работа сторонних сил, необходимая для перемещения электрического заряда, Дж; q – минимально допустимая величина электрического заряда, подвергаемая перемещению в измерительном контуре при согласованном режиме, Кл; R – омическое сопротивление измерительного контура, Ом; f – циклическая частота колебаний электрического тока в цепи измерительного контура, Гц; L – индуктивность измерительного контура, Гн; C – ёмкость измерительного контура, Ф.

Проявление индуктивной составляющей измерительного контура можно оценить с помощью следующего соотношения:

$$I_L = \frac{U}{Z_L} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + 2\pi fL^2}}.$$

Проявление ёмкостной составляющей измерительного контура можно оценить с помощью следующего соотношения:

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{U}{\sqrt{R^2 - \frac{1}{2\pi fC}^2}}.$$

Резистивные свойства омической части измерительного контура можно представить как:

$$I_H = \frac{U}{R_H}.$$

Как показал анализ информационных источников [1, 2, 12, 16, 17], эффективность работы измерительных систем подобного класса для прогнозирования их технического состояния и упрощения его представления, информативным является рассмотрение индуктивности и ёмкости измерительного контура как пренебрежимо малых величин. Соответственно, в дальнейшем будем рассматривать только влияние активной части измерительного контура, обладающей резистивными свойствами. Формализовать данный подход возможно при помощи статистических моделей, а также закономерности, являющейся следствием из закона Ома для участка цепи:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}, \text{ Ом}, \quad (1)$$

где ρ – удельное сопротивление материала проводника, Ом·м; l – длина проводника, м; A – площадь сечения проводника, м².

Учитывая исключение индуктивной и ёмкостной составляющих измерительного контура, при необходимости автоматизации измерений с последующим преобразованием сигнала из аналоговой формы в цифровую можно осуществить с использованием мостовых измерительных схем. Наиболее приемлемым вариантом является использование моста Грютцмахера, схема которого представлена на рисунке 3.

Преимуществом данного решения является возможность применения в измерительных контурах ёмкости и индуктивности, величины которых нелинейно зависят от рабочего тока и способны оказывать влияние на параметры его электрического состояния. Применение схемотехнического решения в виде моста Грютцмахера позволяет минимизировать влияние паразитных индуктивностей и ёмкостей на максимизацию величины полезной мощности измерительного контура.

Рисунок 3 – Пример схемотехнического решения моста Грютцмахера при автоматизации измерительного контура датчика износа тормозной колодки

Figure 3 – Example of a schematic solution of the Grutsmacher bridge when automating the measuring circuit of the brake pad wear sensor

Результаты и обсуждение. Поскольку адекватно формализовать процесс износа тормозной колодки с помощью моделей аналитической природы не представляется возможным, то для повышения точности и достоверности при интерпретации экспериментальных данных используем метод статистического моделирования, в частности аппроксимации функции, применение которого описано в работах [3, 9, 10, 18].

В ходе проведённых исследований получено полиномиальное уравнение первого порядка, позволяющее определить сопротивление проводника измерительного контура в зависимости от уровня износа тормозных колодок ГА3-A21R32(NEXT):

$$y = -0,452x + 5,4237, \text{ мОм.} \quad (2)$$

Графическая интерпретация модели (2) представлена на рисунке 4.

Рисунок 4 – Зависимость сопротивления проводника измерительного контура от износа тормозной колодки ГАЗ-А21R32(NEXT)

Figure 4 – Dependence of the resistance of the measuring circuit conductor on the wear of the brake pad GAZ-A21R32(NEXT)

Выводы. Проанализировав найденную зависимость, описанную моделью (2), и её графическое представление (рисунок 4), можно сделать следующие выводы:

- линейный полином (2) адекватно по критерию Фишера характеризует зависимость сопротивления проводника измерительного контура автомобиля от износа тормозной колодки при уровне значимости $\alpha = 0,05$, коэффициент корреляции при этом составляет $r = 0,99$;
- с увеличением износа тормозной колодки автомобиля ГАЗ-А21R32 (NEXT) сопротивление проводника измерительного контура падает;
- обоснована возможность применения схмотехнического измерительного решения в виде моста Грютцмахера при необходимости автоматизации предлагаемого измерительного контура износа тормозной колодки.

Библиографический список

1. Автоматизация эталонных приборов для линейных измерений / С. С. Степанов [и др.] // Мир измерений. 2019. № 2. С. 10-12.
2. Влияние разницы скорости износа передних и задних тормозных колодок автомобиля на допустимую величину отклонения коэффициента сцепления передних и задних колёс / И. А. Ерасов [и др.] // Фундаментальные исследования. 2015. № 9-3. С. 450-454.
3. Войтенко В. А. Исследование силового взаимодействия в дисковом тормозе с плавающей тормозной колодкой // Бюллетень транспортной информации. 2018. № 10 (280). С. 15-19.
4. Журавлёв В. Ф. О “парадоксе” тормозной колодки // Доклады Академии наук. 2017. Т. 474. № 3. С. 301-302. DOI: 10.7868/S0869565217150075.
5. Зайцева М. М., Напханюк А. В. Диагностика неисправности по внешнему виду тормозных колодок автомобиля // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1 (48). С. 52.
6. Иванова Т. Б., Ермакова Н. Н., Караваев Ю. Л. Экспериментальное исследование динамики тормозной колодки // Доклады Академии наук. 2016. Т. 471. № 4. С. 421-424. DOI: 10.7868/S0869565216340089.
7. Инновационное устройство для контроля изнашивания тормозных накладок автомобилей сельскохозяйственного назначения / Е. А. Родионова, И. А. Успенский, И. А. Юхин, В. А. Волченкова // Техника и оборудование для села. 2019. № 7 (265). С. 30-34. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-7-30-34.
8. Интерактивная диагностика мобильной техники в сельском хозяйстве / В. В. Акимов

[и др.] // Международный научный журнал. 2017. № 2. С. 131-132.

9. Кривошея Ю. В. Математическая модель динамического процесса в системе "Тормозной диск - вращающаяся тормозная колодка" // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2018. № 2 (45). С. 52-62.

10. Лимаренко Н. В., Жаров В. П. Влияние температуры на параметры работы индуктора, используемого при обеззараживании материалов // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2016. № 1. С. 88-91.

11. Меликсетян Г. Н. Технология изготовления тормозных колодок из фрикционных композитов бастенит-9 // Вестник Национального политехнического университета Армении. Металлургия, материаловедение, недропользование. 2017. № 2. С. 49-57.

12. Мероприятия по повышению эксплуатационных показателей автотракторной техники при внутрихозяйственных перевозках в АПК / А. В. Бортник, И. А. Успенский, И. А. Юхин, В. А. Волченкова // Техника и оборудование для села. 2019. № 9 (267). С. 33-36. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-9-33-36

13. Перельгина А. А., Буркова Т. А., Чекулин А. А. Устройства для повышения эффективности диагностирования тормозных систем автомобилей на площадочных тормозных стендах // Научный альманах. 2017. № 5-3 (31). С. 107-108. DOI: 10.17117/na.2017.05.03.107.

14. Перспективные методы диагностирования систем мобильной техники в сельском хозяйстве / В. В. Акимов [и др.] // Международный научный журнал. 2017. № 2. С. 100-105.

15. Повышение надежности техники в сельском хозяйстве на основе применения систем непрерывного диагностирования / Р. В. Безносюк [и др.] // Международный научный журнал. 2017. № 2. С. 112-116.

16. Пути дальнейшей модернизации транспортных средств для АПК / Н. В. Бышов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 123. С. 142-168.

17. Разработка исходных концепций метрологического обеспечения измерительных и расчетных операций при автоматизации измерений / С. М. Морозов [и др.] // Аграрный научный журнал. 2019. № 4. С. 87-89. DOI: 10.28983/asj.y2019i4pp87-89.

18. Создание математической модели для оценки энергоёмкости процесса обеззараживания стоков животноводства / Б. Ч. Месхи [и др.] // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. 2017. № 4 (Т. 18). С. 129-135. DOI: 10.23947/1992-5980-2017-17-4-129-135.

19. Яковлев А. В., Коротаев А. А. Повышение надежности тормозных систем грузовых автомобилей, тракторов и разработка устройства для ремонта тормозных колодок // Молодежь и наука. 2016. № 5. С. 87.

20. Ravlyuk V. G. Investigation of features of dual wear of pads in brake system of freight cars // Наука та прогрес транспорту. 2019. № 2 (80). С. 111-126. DOI: 10.15802/stp2019/166114.

Conclusions. After analyzing the found dependence described by the model (2) and its graphical representation (figure 4), we can draw the following conclusions:

- the linear polynomial (2) adequately characterizes the dependence of the resistance of the conductor of the measuring circuit of the car on the wear of the brake pad at the significance level $\alpha = 0.05$, the correlation coefficient is $r = 0.99$;

- with increasing wear of the brake pad of the GAZ-A21R32 (NEXT) vehicle, the resistance of the measuring circuit conductor decreases;

- the possibility of using a circuit-based measuring solution in the form of a Grutmacher bridge when it is necessary to automate the proposed measuring circuit for brake pad wear is justified.

Reference

1. Automation of reference devices for linear measurements / S. S. Stepanov, A. V. Petrov, S. B. Tarasov, S. N. Stepanov // The world of dimensions. 2019. No. 2. Pp. 10-12.

2. Influence of the difference in the wear rate of the front and rear brake pads of the car on the

permissible deviation of the coefficient of adhesion of the front and rear wheels / I. A. Erasov, Yu. I. Molev, A. D. Strizhak, D. N. Proshin // Fundamental study. 2015. No. 9-3. Pp. 450-454.

3. Voitenko V. A. Investigation of force interaction in a disc brake with a floating brake pad // Bulletin of transport information. 2018. No. 10 (280). Pp. 15-19.

4. Zhuravlev V. F. About the "paradox" of the brake pad // Reports of the Academy of Sciences. 2017. Vol. 474. No. 3. Pp. 301-302. DOI: 10.7868/S0869565217150075.

5. Zaitseva M. M., Napkhanyuk A. V. Diagnostics of malfunction in the appearance of brake pads of the car // Don's engineering Bulletin. 2018. No. 1 (48). P. 52.

6. Ivanova T. B., Yerdakova N. N., Karavaev Yu. L. Experimental study of the dynamics of the brake pad // Reports of the Academy of Sciences. 2016. Vol. 471. No. 4. Pp. 421-424. DOI: 10.7868/S0869565216340089.

7. Innovative device for monitoring the wear of brake linings of agricultural vehicles / E. A. Rodionova, I. A. Uspenskiy, I. A. Yukhin, V. A. Volchenkova // Machinery and equipment for the village. 2019. No. 7 (265). Pp. 30-34. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-7-30-34.

8. Interactive diagnostics of mobile equipment in agriculture / V. V. Akimov, N. V. Byshov, S. N. Borychev, M. Yu. Kostenko, G. K. Rembalovich, R. V. Beznosyuk // International scientific journal. 2017. No. 2. Pp. 131-132.

9. Krivosheya Yu. V. Mathematical model of dynamic process in the system "Brake disc-rotating brake pad" // Bulletin of the Siberian state University of railway transport. 2018. No. 2 (45). Pp. 52-62.

10. Limarenko N. V., Zharov V. P. Influence of temperature on the parameters of the inductor used in the disinfection of materials // University News. Food technology. 2016. No. 1. Pp. 88-91.

11. Meliksetyan G. N. Technology of manufacturing brake pads from friction composites bastenit-9 // Bulletin of the National Polytechnic University of Armenia. Metallurgy, materials science, and subsurface use. 2017. No. 2. Pp. 49-57.

12. Measures to improve the performance of automotive equipment in on-farm transport in the agro-industrial complex / A. V. Bortnik, I. A. Uspenskiy, I. A. Yukhin, V. A. Volchenkova // Machinery and equipment for the village. 2019. No. 9 (267). Pp. 33-36. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-9-33-36.

13. Perelygina A. A., Burkova T. A., Chekulin A. A. Devices for improving the efficiency of diagnostics of car brake systems on platform brake stands // Scientific almanac. 2017. No. 5-3 (31). Pp. 107-108. DOI: 10.17117/na.2017.05.03.107.

14. Perspective methods of diagnostics of mobile equipment systems in agriculture / V. V. Akimov, V. V. Fokin, R. V. Beznosyuk, G. K. Rembalovich, M. Yu. Kostenko, A. V. Starunsky // International scientific journal. 2017. No. 2. Pp. 100-105.

15. Improving the reliability of equipment in agriculture based on the use of continuous diagnostics systems / R. V. Beznosyuk, V. V. Fokin, N. V. Byshov, S. N. Borychev, G. K. Rembalovich, M. Yu. Kostenko // International scientific journal. 2017. No. 2. P. 112-116.

16. Ways of further modernization of vehicles for the agro-industrial complex / N. V. Byshov, S. N. Borychev, I. A. Uspenskiy, I. A. Yukhin, D. S. Ryabchikov, S. N. Kulik // Polythematic network electronic scientific journal of Kuban state agrarian University. 2016. No. 123. Pp. 142-168.

17. Development of initial concepts of metrological support of measurement and calculation operations in the automation of measurements / S. M. Morozov, K. A. Kuzmin, L. I. Kochetkova, E. V. Balmashnova // Agricultural scientific journal. 2019. No. 4. Pp. 87-89. DOI: 10.28983/asj.y2019i4pp87-89.

18. Creating a mathematical model for assessing the energy intensity of the process of disinfection of animal waste / B. Ch. Meskhi, N. V. Limarenko, V. P. Zharov, B. G. Shapoval // Bulletin of the don state technical University. 2017. No. 4 (Vol. 18). Pp. 129-135. DOI: 10.23947/1992-5980-2017-17-4-129-135.

19. Yakovlev A. V., Korotaev A. A. Improving the reliability of brake systems for trucks, tractors and developing devices for repairing brake pads // Youth and science. 2016. No. 5. P. 87.

20. Ravlyuk V. G. Investigation of features of dual wear of pads in brake system of freight cars // Science that progressed. 2019. No. 2 (80). Pp. 111-126. DOI: 10.15802/stp2019/166114.

Authors Information

Uspensky Ivan Alekseevich, Head of the Department of Technical Operation of Transport of the Federal state budgetary educational institution of higher education Ryazan state agrotechnological University. P. A. Kostycheva (390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), doctor of technical Sciences, Professor. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4343-0444> **E-mail:** ivan.uspensckij@yandex.ru

Yukhin Ivan Aleksandrovich, Head of the Department of Automotive Engineering and Heat Power Engineering of the Federal state budgetary educational institution of higher education Ryazan state agrotechnological University. P. A. Kostycheva (390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), doctor of technical Sciences, associate Professor. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3822-0928> **E-mail:** ivan.uspensckij@yandex.ru

Limarenko Nikolay Vladimirovich, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and electronics of the Federal state budgetary educational institution of higher education, Don state technical University (344000, southern Federal district, Rostov region, Rostov-on-don, 1 Gagarin square), candidate of technical Sciences. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3075-2572> **E-mail:** limarenkodstu@yandex.ru

Vorobyov Denis Andreevich, post-graduate student of the Department of technical operation of transport of the Federal state budgetary educational institution of higher education Ryazan state agrotechnological University named after P. A. Kostychev (390044, Ryazan, Kostycheva str., 1) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4620-0427> **E-mail:** worobey1@mail.ru

Filyushin Oleg Vladimirovich, master's student of the 1st year of study in the direction of training 23.04.03 Operation of transport and technological machines and complexes, Ryazan state agrotechnological University named after P. A. Kostychev, Contact information: ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3822-0663> **E-mail:** olegfil93@mail.ru

Информация об авторах

Успенский Иван Алексеевич, заведующий кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева» (390044, г. Рязань, ул. Костычева, д.1), доктор технических наук, профессор.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4343-0444> **E-mail:** ivan.uspensckij@yandex.ru

Юхин Иван Александрович, заведующий кафедрой «Автотракторная техника и теплоэнергетика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева» (390044, г. Рязань, ул. Костычева, д.1), доктор технических наук, доцент.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3822-0928> **E-mail:** ivan.uspensckij@yandex.ru

Лимаренко Николай Владимирович, доцент кафедры «Электротехника и электроника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет» (344000, ЮФО, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3075-2572> **E-mail:** limarenkodstu@yandex.ru

Воробьев Денис Андреевич, аспирант кафедры «Техническая эксплуатация транспорта» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева» (390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4620-0427>

E-mail: worobey1@mail.ru

Филлюшин Олег Владимирович, магистрант 1-го года обучения по направлению подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева» (390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3822-0663> **E-mail:** olegfil93@mail.ru