

ТРАНСПОРТ

Научная статья
УДК 629.33

<https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-5-82>

МЕТОД УГЛУБЛЕННОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГЛАВНОГО ТОРМОЗНОГО ЦИЛИНДРА АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

А. Л. Бородин¹, В. И. Васильев², В. Н. Шабуров³

Курганский государственный университет, Курган, Россия

¹ e-mail: bor.aleksey45@yandex.ru

² e-mail: vviprof@rtural.ru

³ e-mail: shaburov_vn@mail.ru

Аннотация. Применение новых методов поэлементного диагностирования тормозной системы повышает вероятность обнаружения неисправностей, помогает заблаговременно определять неисправные элементы в узлах тормозной системы, чем способствует снижению аварийности на дорогах страны. Разработка метода углубленного диагностирования главного тормозного цилиндра является актуальной задачей.

Ранее в рамках разработки нового способа диагностирования главного тормозного цилиндра гидравлической тормозной системы по динамическим параметрам силы сопротивления нажатию на педаль тормоза был определен комплекс диагностических параметров. Необходимость внедрения метода для практического использования на предприятиях автомобильного транспорта поставило перед авторами задачу определения предельно допустимых значений диагностических параметров по результатам сравнения, с которыми будет делаться заключение о техническом состоянии объекта с последующей постановкой диагноза.

Целью работы является определение предельно допустимых значений диагностических параметров, и разработка алгоритма постановки диагноза.

Предельно допустимые значения диагностических параметров главного тормозного цилиндра определялись на основе статистического метода. Основные положения метода состоят в том, что рассматривалась разовая выборка N значений диагностического параметра у представителей совокупности объектов диагностирования (как исправных, так и неисправных). При этом предполагалось, что величины, соответствующие исправному состоянию, будут подчиняться другой закономерности, чем величины, соответствующие неисправному. Выделив из общей совокупности функцию распределения $f(S)$ значений параметра для исправного состояния объекта, область допустимых значений диагностического параметра в эксплуатации можно ограничить некоторым предельным рассеиванием относительно номинального (эталонного) значения параметра. Для тормозной системы, влияющей на безопасность движения, применялось ограничение с 85% вероятностью. Значения находились для всего комплекса диагностических параметров.

В процессе исследования определены предельно допустимые значения диагностических параметров. Построена диагностическая матрица главного тормозного цилиндра. Разработан алгоритм постановки диагноза. Научная новизна заключается в отличии их реализации в диапазоне служебных торможений, что позволяет максимально реализовать информативную возможность каждого из диагностических параметров.

Ключевые слова: метод углубленного диагностирования, предельно допустимые диагностические параметры, диагностическая матрица, алгоритм постановки диагноза, автомобиль.

Для цитирования: Бородин А. Л., Васильев В. И., Шабуров В. Н. Метод углубленного диагностирования главного тормозного цилиндра автотранспортного средства // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 5. – С. 82–91, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-5-82>.



Original article

METHOD OF IN-DEPTH DIAGNOSTICS OF THE MAIN BRAKE CYLINDER OF A MOTOR VEHICLE

A. L. Borodin¹, V. I. Vasiliev², V. N. Shaburov³

Kurgan State University, Kurgan, Russia

¹ e-mail: bor.aleksey45@yandex.ru

² e-mail: vviprof@rtural.ru

³ e-mail: shaburov_vn@mail.ru

Abstract. *The use of new methods for element-by-element diagnostics of the brake system increases the probability of detecting malfunctions, helps to identify faulty elements in the nodes of the brake system in advance, which helps to reduce accidents on the roads of the country. The development of a method for in-depth diagnosis of the master brake cylinder is an urgent task.*

Earlier, as part of the development of a new method for diagnosing the main brake cylinder of a hydraulic brake system, a set of diagnostic parameters was determined by the dynamic parameters of the resistance force to pressing the brake pedal. The need to introduce the method for practical use at road transport enterprises set the authors the task of determining the maximum permissible values of diagnostic parameters based on the comparison results, with which a conclusion will be made about the technical condition of the object with subsequent diagnosis.

The aim of the work is to determine the maximum allowable values of diagnostic parameters, and to develop an algorithm for making a diagnosis.

The maximum permissible values of the diagnostic parameters of the main brake cylinder were determined on the basis of a statistical method. The main provisions of the method are that a one-time sample of N values of the diagnostic parameter was considered for representatives of the set of diagnostic objects (both serviceable and faulty). At the same time, it was assumed that the values corresponding to the serviceable state would obey a different pattern than the values corresponding to the faulty one. Having singled out the distribution function $f(S)$ of the parameter values for the healthy state of the object from the total population, the range of acceptable values of the diagnostic parameter in operation can be limited by some limiting dispersion relative to the nominal (reference) value of the parameter. For the braking system affecting traffic safety, the restriction was applied with 85% probability. The values were found for the entire range of diagnostic parameters.

In the course of the study, the maximum permissible values of diagnostic parameters were determined. A diagnostic matrix of the main brake cylinder has been built. An algorithm for making a diagnosis has been developed. The scientific novelty lies in the difference in their implementation in the range of service braking, which makes it possible to maximize the informative possibility of each of the diagnostic parameters.

Key words: *method of in-depth diagnostics, maximum permissible diagnostic parameters, diagnostic matrix, diagnostic algorithm, car.*

Cite as: Borodin, A. L., Vasiliev, V. I., Shaburov, V. N. (2023) [Method of in-depth diagnostics of the main brake cylinder of a motor vehicle]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 5, pp. 82–91, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-5-82>.

Введение

Статистика дорожно-транспортных происшествий показывает, что 40–60% всех аварий «по технической неисправности» происходит вследствие отказов тормозной системы [13; 15; 19], причем данные ДТП наиболее опасные, так как в них люди получают наиболее тяжкие телесные повреждения и гибнут. При этом неисправности главного тормозного цилиндра (ГТЦ), связанные с некорректной работой поршней контуров и пружин, составляют 5–10% от общего количества не-

исправностей по гидравлической тормозной системе. Данные неисправности обычно не проявляются на режимах экстренного торможения, а влияют на качество процесса служебного. Существующие методы и средства диагностирования тормозной системы не позволяют определять техническое состояние элементов ГТЦ.

Рассмотрим основные методы диагностирования тормозных систем. При диагностировании технического состояния тормозов с гидравлическим приводом традиционным считают силовой метод¹, по

¹ Шарыпов А. В. Основы теории надежности транспортных систем: Учебное пособие / А. В. Шарыпов, Г. В. Осипов. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2006. – 128 с.

зависимости тормозной силы на каждом из колес от силы давления на педаль тормоза. Эта зависимость, называемая тормозной диаграммой, которая дает достаточно полную характеристику работоспособности тормозного привода.

Исследователь Ю. П. Петин предложил статический метод диагностирования тормозных систем в дорожных условиях, использующий в качестве параметров диагностирования перемещение педали тормоза, приводное усилие и время срабатывания при рабочем ходе тормозной педали². Данный метод выразителен тем, что при управлении автомобилем в реальных дорожных условиях накапливается статистическая информация о перемещении тормозной педали и приводном усилии на различных режимах торможения. По зависимости перемещения тормозной педали от приводного усилия были установлены пределы изменений параметров в допуске, тормозная система которых функционирует в исправном состоянии. Получена эталонная область и остальное пространство разбито на подобласти, при выпадении параметра из допуска в какую-либо подобласть определялась неисправность с достоверностью 91%. Определение неисправности производилось с помощью теории распознавания образов. Предлагается определять неисправности: увеличение зазоров в тормозных механизмах, замасливание накладок, наличие воздуха в системе гидропривода, нарушение герметичности, изменение свободного хода педали тормоза. Данная методика интересна для рассмотрения, но некоторые неисправности тормозного привода уже исправлены конструкторским путем при проектировании, некоторые неактуальны и остальные очевидны. Примеры устаревшего оборудования не дали исследователю достичь более точных результатов.

Также имеется метод обнаружения неисправностей гидравлической тормозной системы [2; 10] посредством расчета потерь давления тормозной жидкости при наличии неисправностей. Тип неисправности определяется методом корреляционного анализа. Кроме того, по данной методике можно определить местонахождение неисправности. Это достигается путем анализа сигналов давления ГТЦ. В исследовании представлены численные результаты данных, записанных на стационарном тестовом стенде тормозной системы, которые иллюстрируют осуществимость предложенных подходов. Для определения неисправности в гидравлической тормозной системе применяется оценка свойств параметров на основе давления тормозной жидкости в колесных тормозных цилиндрах и перемещения педали

тормоза, на основе положения диафрагмы вакуумного усилителя [5; 7; 8; 19]. Данная методика основана на анализе изменения давления в процессе торможения от перемещения штока ГТЦ. Оценка неисправностей производится по изменениям в тормозной диаграмме в зависимости от неисправности.

В работе [18] предлагается применить модель LMS Amesim® для прогнозирования влияния на поведение типичных сбоев в гидравлической тормозной системе. Здесь широко рассмотрено поведение соответствующих систем переменных в нормальных условиях эксплуатации и потенциальных последствий типичных сбоев в производительности системы, продемонстрировано использование вычислительной модели гидравлической тормозной системы, параметризованной в программном обеспечении LMS Amesim® для оценки. Предлагается использовать аппарат для содействия процессу проверки соответствия системы требованиям к эксплуатационным характеристикам и безопасности, такой подход может также применяться при раннем выявлении сбоев и эксплуатационных проблем еще на этапе разработки изделия. Модель разработана для гидравлической тормозной системы самолетов, оборудованной новейшими электронными системами безопасности. Оценка работы системы производится по сравнению выходных графиков давлений в системе с эталонными выходными параметрами. Система самолета оборудована датчиками давления, и автор предлагает смоделировать характерные неисправности в тормозной системе и делать заключение о работоспособности и ресурсе элементов тормозной системы по эксплуатационным характеристикам с приборов самолета.

В статье [9] рассматривается применение метода диагностирования по теории распознавания образов на примере тормозной системы. Применение данной теории Ю. П. Петин рассматривал еще в своей диссертационной работе². Применение теории распознавания образов в диагностировании автомобилей должно быть в тандеме с испытанными методами [7; 11; 12; 14; 16; 17]: визуальным, акустическим, вибрационным, температурным, по давлению, тензометрическим, силовым и т. д.

Приоритетными характеристиками при диагностировании тормозной системы являются перемещение, усилие нажатия на педаль тормоза, давление в тормозной системе, тормозная сила на колесах. В каждом из рассмотренных источников рассматривается часть характеристик работы тормозной системы. В полном объеме они не учитываются.

² Петин Ю. П. Исследование возможности диагностирования тормозных систем автомобилей в дорожных условиях по изменению статистической информации о перемещении тормозной педали и приводном усилии: дис.... канд. техн. наук. – М., 1974. – 157 с.

Основной методикой диагностирования тормозной системы является анализ тормозных диаграмм, по изменению которых от эталонного варианта можно сделать заключение о основных неисправностях тормозного привода. Заключение о работоспособности является общим и не выделяет конкретной неисправности в тормозном приводе.

Научные исследования, связанные с созданием методов и средств углубленного диагностирования ГТЦ, являются актуальными. Причем актуальность разрабатываемого метода диагностирования в современных условиях требуемого импортозамещения значительно возрастает ввиду дефицита новых запасных частей и для автомобилей, находящихся в эксплуатации, очевидно, придется восстанавливать ГТЦ в условиях предприятий автомобильного транспорта, а не заменять его целиком, что делалось ранее.

Необходимость внедрения нового метода диагностирования [2] для практического использования на предприятиях автомобильного транспорта поставило перед авторами задачу автоматической постановки диагноза.

Целью работы является определение предельно-допустимых значений диагностических параметров и разработка алгоритма постановки диагноза.

Материалы и методы

Новый метод³ диагностирования ГТЦ на режимах служебного торможения, на участке срабатывания тормозного привода, построен после подробного анализа всех существующих методов и проведения серии постановочных экспериментов. В процессе синтеза были проверены взаимосвязи между показаниями с датчиков давления и силовыми характеристиками в гидравлическом тормозном приводе.

В основу исследования положено предположение о том, что, во-первых, характер изменения силы сопротивления нажатия на педаль тормоза на участке срабатывания достаточно полно отражает силовую динамику взаимодействия основных элементов гидравлической тормозной системы включая ГТЦ и, следовательно, техническое состояние его критических по надежности деталей, и, во-вторых, степень проявления уровня технического состояния этих деталей при торможении отличается на различных режимах (скорость и сила нажатия на педаль) торможения.

Проведенное на начальном этапе экспериментальное исследование доказало, что наиболее характерны-

ми неисправностями ГТЦ в реальных условиях эксплуатации являются: изменение жесткости пружин ГТЦ первого и второго контура (53% от общего количества неисправностей); износ уплотнительных колец поршней ГТЦ первого и второго контура (32%); увеличение силы трения уплотнительных колец о стенки цилиндра из-за разбухания материала (10%), из которого они изготовлены.

Для определения комплекса диагностических параметров, с помощью которого можно определить характерные неисправности ГТЦ с достаточной достоверностью, было проведено моделирование влияния неисправностей на изменение силовой реакции тормозной педали при различных темпах приведения ее в движение во время торможения. Моделирование проводилось на основе модели, составленной из системы дифференциальных уравнений, описанных ранее в [2; 13; 15]. Дифференциальные уравнения решались с помощью метода Рунге – Кутты 4 порядка.

Входными параметрами модели являлись величины, характеризующие неисправности, выраженные через значения структурных параметров и характеристики режима воздействия на тормозную педаль: сила F_n и скорость перемещения педали тормоза; $X1$ – содержание воздуха в тормозной жидкости; $X2$ и $X3$ – изменение жесткости возвратной пружины первого и второго контура ГТЦ, соответственно; $X4$ и $X5$ – износ уплотнительного кольца высокого давления первого и второго контура ГТЦ; $X6$ и $X7$ – увеличение диаметра (разбухание) уплотнительного кольца высокого давления первого и второго контура ГТЦ.

Выходными параметрами модели являлись значения диагностических параметров $S1-S6$ (рисунок 1). В процессе компьютерного моделирования определялись динамические и силовые характеристики элементов гидравлической тормозной системы, управляющим механизмом которой является двухконтурный тормозной цилиндр с фиксированием плавающего поршня предварительно сжатой пружины.

Моделирование проводилось для нескольких режимов нажатия на педаль тормоза. В исследовании рассматриваются четыре режима: $T1$ – время нажатия на педаль тормоза составляет 0,2 с; $T2$ – 0,7 с; $T3$ – 1,0 с; $T4$ – 1,4 с.

Достоверность результатов, полученных при моделировании, подтверждалась путем экспериментальной

³ Патент № 2751101 С1 Российская Федерация, МПК В60Т 11/16, В60Т 17/22, G01М 17/00. Способ диагностирования главного тормозного цилиндра гидравлической тормозной системы по динамическим параметрам силы сопротивления нажатия на педаль тормоза: № 2020135237: заявл. 26.10.2020; опубл. 08.07.2021 / А. Л. Бородин, В. И. Васильев, В. Е. Овсянников; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курганский государственный университет». – EDN: UKUVDU.

проверки разработанного метода диагностирования [1] в диагностическом подразделении автотранспортного цеха предприятия ООО «Кургантрансколод».

Результаты исследования

Математическое моделирование рабочих процессов [2; 13; 15], протекающих в гидравлическом тормозном приводе, дало возможность определить комплекс диагностических параметров, который был исследован на однозначность и чувствительность к изменениям структурных параметров, характеризующих перечисленные выше неисправности. В этот комплекс были включены следующие диагностические

параметры: $S1$ – время $t1$ от начала нажатия на педаль тормоза до начала движения поршня второго контура ГТЦ; $S2$ – время $t2$ от начала нажатия на педаль тормоза до окончания движения поршня второго контура ГТЦ; $S3$ – время движения поршня второго контура ГТЦ в; $S4$ – усилие $F1$ на педали тормоза в момент начала движения второго поршня ГТЦ; $S5$ – усилие $F2$ на педали тормоза в момент окончания движения второго поршня ГТЦ и $S6$ – разность усилий $F1-F2$ (рисунок 1). При этом моменты начала и окончания движения поршней фиксировались по моментам достижения нормируемой величины импульса силы нажатия на педаль тормоза.

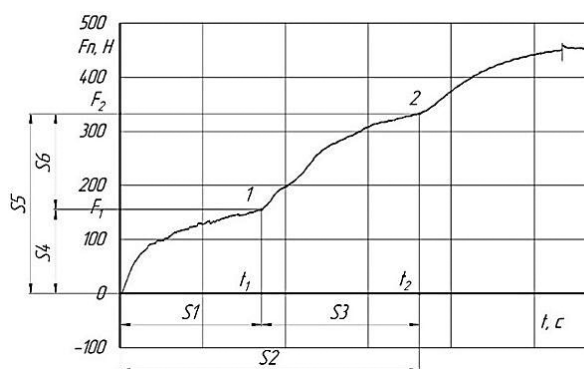


Рисунок 1. Комплекс исследуемых диагностических параметров

Источник: составлено авторами

В ходе дальнейших исследований установлена целесообразность использования тестового режима $T2$, так как результаты диагностирования на этом режиме дублируются режимом $T4$ и диагностического параметра $S1$, который оказался неинформативным на всех тестовых режимах и из дальнейших исследований исключен [15].

Предельно-допустимые значения диагностических параметров ГТЦ определялись на основе статистического метода [3;4;6], учитывающего вероятност-

ные процессы возникновения неисправностей изменения технического состояния, расчеты проводились для всех режимов воздействия на педаль тормоза.

Определённые на основе статистического метода предельно допустимые значения диагностических параметров главного тормозного цилиндра приведены в таблице 1. Особенностью нормирования диагностических параметров разрабатываемого метода является необходимость нормирования параметров отдельно для каждого тестового режима диагностирования.

Таблица 1. Предельно допустимые значения диагностических параметров

Диагностический параметр	Ед. измерения	Предельно допустимое значение диагностического параметра		
		режим T1	режим T3	режим T4
$S2_{\text{дтг}}$	с	0,164	0,73	0,97
$S3_{\text{дтг}}$	с	0,09	0,4	0,54
$S4_{\text{дтг}}$	Н	260	207	183
$S5_{\text{дтг}}$	Н	459	412	376
$S6_{\text{дтг}}$	Н	218	178	175

Источник: составлено авторами

В процессе совместного анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований влияния эксплуатационных неисправностей на диагностические параметры установлено, что по выявлен-

ному комплексу диагностических параметров можно однозначно определить техническое состояние ГТЦ. В таблице 2 приведена разработанная диагностическая матрица ГТЦ.

Таблица 2. Диагностическая матрица главного тормозного цилиндра

Диагноз		Режимы диагностирования по темпу нажатия на тормозную педаль		
		T1	T3	T4
D1	Воздух в системе	$S4_1 > S_{д41}; S6_1 < S_{д61}$	–	–
D2	Увеличение диаметра уплотнительного кольца второго поршня	$S3_1 > S_{д31}; S4_1 = S_{д41}; S5_1 > S_{д51}$	–	–
D3	Снижение жесткости пружины первого поршня	–	$S2_3 > S_{д23}; S4_3 = S_{д43}$	–
D4	Износ уплотнительного кольца первого поршня	–	$S3_3 \gg S_{д33}; S4_3 = S_{д43}; S5_3 > S_{д53}$	$S3_4 \gg S_{д34}; S4_4 = S_{д44}; S5_4 > S_{д54}$
D5	ГТЦ исправен	Все диагностические параметры в норме		
D6	Износ уплотнительного кольца второго поршня	–	–	$S2_4 > S_{д24}; S3_4 = S_{д34}$
D7	Диагноз не установлен, требуется разборка ГТЦ	Имеются отклонения диагностических параметров от нормативных, но нет совпадения по их сочетаниям		

Источник: составлено авторами

Для практического применения метода был разработан алгоритм постановки диагноза главного тормозного цилиндра (рисунок 2).

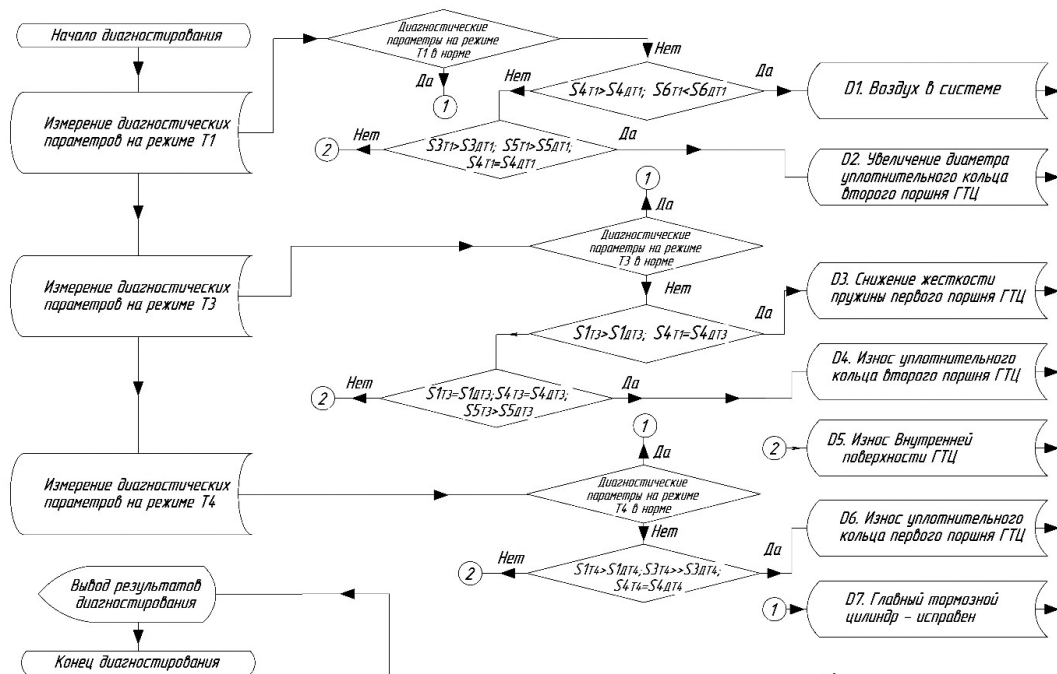


Рисунок 2. Алгоритм постановки диагноза главного тормозного цилиндра

Источник: составлено авторами

Рекомендуется проводить диагностирование главного тормозного цилиндра в совокупности с диагностированием общей тормозной эффективности автомобиля на стенде тормозных качеств, чтобы достоверно установить все возможные неисправности в тормозном приводе.

Заключение

Решена актуальная научно-техническая задача обеспечения эффективности функционирования тормозной системы на основе разработки метода диагностирования главного тормозного цилиндра гидравли-

ческой тормозной системы автомобиля, защищенного патентом РФ 2751101, и позволяющего определять техническое состояние его критических по надежности элементов.

В результате работы определены предельно допустимые значения диагностических параметров. Построена диагностическая матрица главного тормозного цилиндра. Разработан алгоритм постановки диагноза. Научная новизна заключается в отличии их реализации в диапазоне служебных торможений, что позволяет максимально реализовать информативную возможность каждого из диагностических параметров.

Литература

1. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий – 2-е изд., перераб., и доп. – М.: Наука, 1976. – 270 с.
2. Бородин А. Л., Шарыпов А. В. Определение оптимального комплекта диагностических параметров в рамках нового метода диагностирования гидравлической тормозной системы // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: материалы III национальной научно-практической конференции, Омск, 23–24 апреля 2020 года. – г. Омск, Изд-во «СибАДИ», 2020. – С. 117–123. – EDN: BZCCGA.
3. Васильев В. И., Шарыпов А. В., Осипов Г. В. Обеспечение безопасности автотранспортных средств на режимах торможения при попутном следовании: монография. – Курган: Изд-во Курганского государственного университета, 2006. – 220 с.
4. Васильев В. И., Овсянников В. Е. Совершенствование метода диагностирования тормозной системы транспорта сельскохозяйственного назначения // Вестник Курганской ГСХА. – 2015. – № 4 (16). – С. 22–24. – EDN: VBCNIX.
5. Виртуальный тренажер для моделирования процессов функционирования тормозной системы автомобиля / Н. С. Захаров [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6. – С. 245–248. – EDN: PLRQKZ.
6. Доронкин В. Г., Петин Ю. П., Колачева Н. В. Диагностика автомобилей и теория распознавания образов // Вестник НГИЭИ. – 2016. – № 4 (59). – С. 87–93. – EDN: VYUQSZ.
7. Калета В. Н., Калета И. А., Туманова Н. Н. Современное оборудование для диагностирования тормозной системы автомобиля и пути его совершенствования // Транспорт. Экономика. Социальная сфера. (Актуальные проблемы и их решения): сборник статей III Международной научно-практической конференции. Пензенский государственный университет, Политехнический институт. – Пенза, 2016. – С. 41–45. – EDN: WINTIZ.
8. Карпиевич Ю. Д. Микропроцессорная система бортового диагностирования степени износа тормозных накладок // Наука и техника. – 2006. – № 1. – С. 45–48. – EDN: SAGQGX.
9. Кобозев С. В., Баженов Ю. В. Выявление зависимости показателя давления в тормозной системе от величины износа уплотнительных манжет как способ диагностирования ресурсного состояния ГТЦ автомобиля // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2021. – № 2 (56). – С. 20–24. – EDN: PLOOPF.
10. Курганов В. М., Грязнов М. В. Управление надежностью транспортных систем и процессов автомобильных перевозок: монография. – Магнитогорск: Магнитогорский дом печати, 2013. – 318 с.
11. Метлюк Н. Ф., Автушенко В. П. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей. – М.: Машиностроение, 1980. – 231 с.
12. Мирошников Л. В., Болдин А. П., Пал В. И. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях. – М.: Транспорт, 1977. – 263 с.
13. Разработка метода диагностирования гидравлических тормозных систем автотранспортных средств на режимах служебного торможения / А. Л. Бородин [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. – 2015. – № 4(16). – С. 29–32. – EDN: VBCNKR.
14. Современные тенденции развития бортовых интеллектуальных транспортных систем: монография/ Пегин П. А. [и др.]. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – 198 с.
15. Borodin A. L., Vasiliev V. I., Maltseva G. I. (2021) Mathematical diagnostic model of brake master cylinder

of hydraulic brake system of automobile, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1061 (1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1061/1/012011>.

16. Durali L. A new self-contained electro-hydraulic brake system: Doctor Philosophy in Mechanical Engineering – Waterloo, Ontario, Canada, 2015. – 115. https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/9686/Durali_Laaleh.pdf.

17. Indira V., Vasanthakumar R., Jegadeeshwaran R., Sugumaran V. (2015) Determination of minimum sample size for fault diagnosis of automobile hydraulic brake system using power analysis, Engineering Science and Technology, an International Journal. Vol. 18, Is. 1, pp. 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2014.09.007>.

18. Neto M. M., Gôes L. C. (2017). Use of LMS Amesim® Model to Predict Behavior Impacts of Typical Failures in an Aircraft Hydraulic Brake System, The 15th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP'17, June 7–9, 2017, Linköping, Sweden, pp. 29–43, <http://dx.doi.org/10.3384/ecp1714429>.

19. Straky H., Muenchhof M., Isermann R. (2003) Model-based fault detection and diagnosis for hydraulic braking systems, IFAC Proceedings Volumes, Vol. 36. Is. 5, pp. 307–312, [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)36509-6](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)36509-6).

References

1. Adler, Yu. P. (1976) *Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy* [Experiment planning in the search for optimal conditions]. 2nd ed., Re-rev. M.: Science, 270 p.

2. Borodin, A. L., Sharypov, A. V. (2020) [Determining the optimal set of diagnostic parameters in the framework of a new method for diagnosing a hydraulic brake system]. *Obrazovaniye. Transport. Innovatsii. Stroitel'stvo: materialy III natsional'noy nauchno-prakticheskaya konferentsii* [Education. Transport. Innovation. Construction: Materials of the III National Scientific and Practical Conference]. Omsk, SibADI Publishing House, pp. 117–123. (In Eng.).

3. Vasiliev, V. I., Sharypov, A. V., Osipov, G. V. (2006) *Obespecheniye bezopasnosti avtotransportnykh sredstv na rezhimakh tormozheniya pri poputnom sledovanii* [Ensuring the safety of motor vehicles in the modes of braking in passing following]. Kurgan: Publishing House of the Kurgan State University, 220 p.

4. Vasiliev, V. I., Ovsyannikov, V. E. (2015) [Improving the method of diagnosing the brake system of agricultural transport]. *Vestnik Kurganskoy GSKHA* [Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy]. Vol. 4 (16), pp. 22–24. (In Russ.).

5. Zakharov, N. S. (2012) [Virtual simulator for modeling the processes of functioning of the brake system of a car]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzh'ya* [Scientific and technical bulletin of the Volga region]. Vol. 6, pp. 245–248. (In Russ.).

6. Doronkin, V. G., Petin, Yu. P., Kolacheva, N. V. (2016) [Car Diagnostics and Pattern Recognition Theory]. *Vestnik NGIEI* [Bulletin of NGIEI]. Vol. 4 (59), pp. 87–93. (In Russ.).

7. Kaleda, V. N., Kaleda, I. A., Tumanova, N. N. (2016) [Modern equipment for diagnosing the brake system of a car and ways to improve it]. *Transport. Ekonomika. Sotsial'naya sfera. (Aktual'nyye problemy i ikh resheniya): sbornik statey III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Transport. Economy. Social sphere. (Actual problems and their solutions): collection of articles of the III International Scientific and Practical Conference]. Penza State University, Polytechnic Institute. Penza, pp. 41–45. (In Eng.).

8. Karpievich, Yu. D. (2006) [Microprocessor system for on-board diagnostics of the degree of wear of brake pads]. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technology]. Vol. 1, pp. 45–48. (In Russ.).

9. Kobozev, S. V., Bazhenov, Yu. V. (2021) [Revealing the dependence of the pressure indicator in the brake system on the amount of wear of the sealing cuffs as a way to diagnose the resource state of the gas turbine engine of a car]. *Tekhniko-tekhnologicheskkiye problemy servisa* [Technical and technological problems of service]. Vol. 2 (56), pp. 20–24. (In Russ.).

10. Kurganov, V. M., Gryaznov, M. V. (2013) *Upravleniye nadezhnost'yu transportnykh sistem i protsessov avtomobil'nykh perevozok* [Reliability management of transport systems and processes of automobile transportation]. Magnitogorsk: Magnitogorsk Press House, 318 p.

11. Metlyuk, N. F. (1980) *Dinamika pnevmaticheskikh i gidravlicheskikh privodov avtomobiley* [Dynamics of pneumatic and hydraulic drives of cars]. M.: Mashine building, 231 p.

12. Miroshnikov, L. V., Boldin, A. P., Pal, V. I. (1977) *Diagnostirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobiley na avtotransportnykh predpriyatiyakh* [Diagnostics of the technical condition of vehicles at motor transport enterprises]. M.: Transport, 263 p.

13. Borodin, A. L. (2015) [Development of a method for diagnosing hydraulic brake systems of vehicles in service braking modes]. *Vestnik Kurganskoy GSKHA* [Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy]. Vol. 4 (16), pp. 29–32. (In Eng.).

14. Pegin, P. A. (2019) *Sovremennyye tendentsii razvitiya bortovykh intellektual'nykh transportnykh system* [Modern trends in the development of onboard intelligent transport systems]. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 198 p.

15. Borodin, A. L., Vasiliev, V. I., Maltseva, G. I. (2021) Mathematical diagnostic model of brake master cylinder of hydraulic brake system of automobile. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1061 (1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1061/1/012011> (In Eng.).

16. Durali, L. (2015) A new self-contained electro-hydraulic brake system : Doctor Philosophy in Mechanical Engineering. *Waterloo, Ontario, Canada*, pp. 115. https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/9686/Durali_Laaleh.pdf (In Eng.).

17. Indira, V., Vasanthakumar, R., Jegadeeshwaran, R., Sugumaran, V. (2015) Determination of minimum sample size for fault diagnosis of automobile hydraulic brake system using power analysis. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. Vol. 18, Is. 1, pp. 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2014.09.007>. (In Eng.).

18. Neto, M. M., Góes, L. C. (2017) Use of LMS Amesim® Model to Predict Behavior Impacts of Typical Failures in an Aircraft Hydraulic Brake System. *The 15th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP'17*, June 7–9, Linköping, Sweden, pp. 29–43, <http://dx.doi.org/10.3384/ecp1714429>. (In Eng.).

19. Straky, H., Muenchhof, M., Isermann, R. (2003) Model-based fault detection and diagnosis for hydraulic braking systems, *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 36. Is. 5, pp. 307–312, [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)36509-6](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)36509-6) (In Eng.).

Информация об авторах:

Алексей Леонидович Бородин, старший преподаватель кафедры автомобилей и автомобильного транспорта, Курганский государственный университет, Курган, Россия

ORCID ID: 0000-0003-2265-6142, **Scopus Author ID:** 57222125450

e-mail: bor.aleksey45@yandex.ru

Валерий Иванович Васильев, доктор технических наук, профессор кафедры автомобилей и автомобильного транспорта, Курганский государственный университет, Курган, Россия

ORCID ID: 0000-0002-1130-2181

e-mail: vviprof@rtural.ru

Виктор Николаевич Шабуров, доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой автомобилей и автомобильного транспорта, Курганский государственный университет, Курган, Россия

ORCID ID: 0000-0001-7490-3200

e-mail: shaburov_vn@mail.ru

Вклад соавторов:

Бородин А. Л. – формулировка направления, проблемы, темы исследования; обзор результатов предшествующих исследований; разработка и проведение теоретических, экспериментальных исследований, выбор методологии и методов исследований (70%).

Васильев В. И. – проверка теоретических предположений, анализ задач и результатов исследования, редактирование, формирование выводов; рецензирование результатов, общее руководство исследованиями (20%).

Шабуров В. Н. – обзор результатов предшествующих исследований; проверка статистических исследований (10%).

Статья поступила в редакцию: 29.03.2023; принята в печать: 11.09.2023.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Aleksey Leonidovich Borodin, Senior Lecturer of the Department of Automobiles and Road Transport, Kurgan State University, Kurgan, Russia

ORCID ID: 0000-0003-2265-6142, **Scopus Author ID:** 57222125450

e-mail: bor.aleksey45@yandex.ru

Valeriy Ivanovich Vasiliev, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automobiles and Road Transport, Kurgan State University, Kurgan, Russia

ORCID ID: 0000-0002-1130-2181

e-mail: vviprof@rtural.ru

Viktor Nikolaevich Shaburov, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Automobiles and Road Transport, Kurgan State University, Kurgan, Russia

ORCID ID: 0000-0001-7490-3200

e-mail: shaburov_vn@mail.ru

Contribution of the authors:

Borodin A. L. – formulation of the direction, problems, research topics; review of the results of previous studies, development and conduct of theoretical and experimental studies, selection of methodology and research methods (70%).

Vasiliev V. I. – verification of theoretical assumptions, analysis of tasks and research results, editing, drawing conclusions, review of results, general management of research (20%).

Shaburov V. N. – review of the results of previous studies, verification of statistical studies (10%).

The paper was submitted: 29.03.2023.

Accepted for publication: 11.09.2023.

The authors have read and approved the final manuscript.