

УДК 629.017

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТОРМОЗНЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ НА ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

**И. К. Шаша**

Доктор технических наук, доцент, полковник милиции\*  
Контактный тел.: (057) 704-24-66, 097-943-65-64  
E-mail: igor\_shasha@mail.ru

**Е. И. Гаркавцев**

Капитан милиции\*  
\*Харьковский национальный университет внутренних  
дел  
пр-т 50-летия СССР, 27, г. Харьков  
Контактный тел.: 095-588-50-82

**Г. И. Фесенко**

Старший преподаватель  
Украинская инженерно-педагогическая академия  
ул. Университетская, 16, г. Харьков  
Контактный тел.: 067-135-63-87

**И. В. Цебряк**

Подполковник  
Академия внутренних войск МВД Украины  
пл. Восстания, 3, г. Харьков, Украина  
Контактный тел.: 098-420-00-73

*Статтю присвячено актуальній темі зниження кількості дорожньо-транспортних пригод, наслідком яких є втрата стійкості транспортних машин. Розроблено методику дослідження гальмівних якостей легкового автомобіля з приводом не передні колеса на роликовому стенді мобільної діагностичної станції*

*Ключові слова: дорожньо-транспортна пригода, транспортна машина, стійкість, фрикційні пари, мобільна діагностична станція*

*Статья посвящена актуальной теме снижения количества дорожно-транспортных происшествий, причиной которых является потеря устойчивости транспортных машин. Разработана методика исследования тормозных свойств переднеприводного легкового автомобиля на роликовом стенде передвижной диагностической станции*

*Ключевые слова: дорожно-транспортные происшествия, транспортная машина, устойчивость, фрикционные пары, передвижная диагностическая станция*

*The article is devoted to the current problem concerning traffic accidents' decrease, the reason of which is loss of durability by vehicles. Research method of front wheel drive vehicle's brake characteristics on a rolling test bench of a movable diagnostic station is elaborated*

*Key words: traffic accidents, vehicle, durability, frictional pairs, movable diagnostic station*

## 1. Введение

Стабильность тормозных свойств в течение всего периода эксплуатации одна из важнейших составляющих активной безопасности транспортных машин. Существенное влияние на нее оказывает длительность и частота торможений, вызывающих нагрев поверхностей трения тормозных механизмов. Поэтому при комплектации диагностических станций необходимым комплексом контрольно-измерительной аппаратуры необходимо учитывать обеспечение точного воспроизведения режимов торможения автомобиля в различных условиях эксплуатации.

## 2. Анализ исследований и публикаций

Значительное количество исследований посвящено проблеме устойчивости автомобилей в режиме торможения [1, 2].

Под устойчивостью автомобиля подразумевается совокупность качеств автомобиля, обеспечивающих движение в требуемом направлении без бокового скольжения или опрокидывания. Учеными введено понятие заноса первого и второго рода. Занос первого рода – скользят в поперечном направлении только задние колеса, а занос второго рода – скользят передние и задние колеса.

### 3. Цель и постановка задачи

Целью статьи является исследование тормозных свойств переднеприводного легкового автомобиля на роликовом стенде.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- провести сравнительный анализ фрикционной теплостойкости тормозных колодок, представленных на рынке запчастей Украины и используемых на переднеприводных легковых автомобилях семейства ВАЗ;
- исследовать динамику изменения распределения тормозных сил автомобиля при различном сочетании фрикционных пар передних и задних тормозных механизмов;
- определить характер влияния изменения температурных характеристик фрикционных пар на параметры распределения тормозных сил.

### 4. Методика экспериментального исследования тормозных свойств переднеприводного легкового автомобиля на инерционном роликовом стенде

Для определения эффективности тормозной системы переднеприводного легкового автомобиля автором было проведено экспериментальное исследование на передвижной диагностической станции ПДС-Л, созданной на кафедре технической эксплуатации и сервиса автомобилей Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (ХАДИ) (рис. 1). Станция по своим компоновочным и конструктивным характеристикам предназначена для обслуживания легковых автомобилей и микроавтобусов.



Рис. 1. Передвижная диагностическая станция ПДС-Л в рабочем положении

ПДС-Л полностью автономна и состоит из специально оборудованного автомобиля-тягача, прицепа с комплектом средств диагностирования и разборной эстакады. В салоне тягача находится централизованный пульт управления и комплект приборов, необходимых для углубленного диагностирования автомобиля. Основное диагностическое оборудование находится на прицепе. К нему относится комбинированный стенд с беговыми барабанами для оценки

тормозных и мощностных свойств автомобилей, приборов для проверки фар, газоанализатор, расходомер топлива и т.д.

Роликовые тормозные стенды позволяют получать требуемую точность результатов. При каждом повторении испытания они способны обеспечить условия (прежде всего скорость вращения колес), абсолютно одинаковые с предыдущими, что обеспечивается точным заданием начальной скорости торможения внешним приводом. Кроме того, при испытании на роликовых тормозных стендах, когда усилие передается извне, от тормозного стенда, физическая картина торможения не нарушается. Тормозная система должна поглощать поступающую извне энергию, идентичную кинетической энергии движущегося автомобиля.

При испытаниях использовался автомобиль ВАЗ-2108 стандартной комплектации в технически исправном состоянии. Перед проведением эксперимента тормозные механизмы и фрикционные пары были приведены в соответствие требованиям стандартов [3, 4]. Агрегаты трансмиссии и ходовой части автомобиля перед началом испытаний прогреты. Шины чистые и сухие, износ рисунка протектора – 5%. Автомобиль испытывался в снаряженном состоянии с водителем, оператором и средством измерения.

При проведении испытаний тормозов поочередно проводилась замена тормозных колодок, сначала на передней оси (накладки дискового тормоза), затем на задней оси (накладки барабанного тормоза).

Для проведения эксперимента были использованы тормозные колодки различных фирм-изготовителей, представленные на рынке Украины. Для дисковых тормозов передней оси использовались следующие тормозные колодки:

- DAFMI (Украина, Днепропетровск); - Ка-2 (Россия, Тольятти); - DBB (Украина, Днепропетровск); - BEST (Украина, Днепропетровск); - VALEO (Франция); - FERODO (Англия); - SCT (Германия); Fomar Roulunds (Польша).

Для барабанных тормозов задней оси использовались следующие тормозные колодки:

- НАЧАЛО (Россия, Набережные Челны); - ВА-ЗИНТЕРСЕРВИС (Россия, Тольятти); - TRW (Италия); - ЗАЗ (Украина).

Все тормозные колодки имели официальное подтверждение о использовании безасбестовой технологии производства.

В табл. 1 приведены полученные сочетания и кодировка этих сочетаний, облегчающая представление полученных результатов.

Основной задачей проведения эксперимента на роликовом стенде является моделирование условий испытания типа I для определения эффективности рабочей тормозной системы автомобиля ВАЗ-2108 при циклических служебных торможениях и распределения тормозных сил между осями.

Основные этапы испытания типа I:

- предварительный (этап разогрева тормозных механизмов);
- основной (определение остаточной эффективности рабочей тормозной системы).

Условия проведения первого этапа экспериментальных исследований:

- скорость начала торможения ( $V_1$ , км/ч) – 80%  $V_{max} < 120$  км/ч;
- скорость окончания торможения ( $V_2$ , км/ч) – 1/2  $V_1$ ;
- продолжительность одного цикла торможения (разгон+торможение) 45 с;
- количество циклов – 15.

**Таблица 1**

Тормозные колодки различных фирм-производителей, используемые при проведении тормозных испытаний легкового автомобиля ВАЗ-2108 на диагностической станции ПДС-Л и условное кодирование их сочетаний

		Тормозные колодки дисковых тормозов								
		DAFMI	Ka-2	DBB	BEST	VALEO	FERODO	SCT	FR	
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Тормозные колодки барабанных тормозов	НАЧАЛО	1	1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	7-1	8-1
	ВАЗИНТЕР-СЕРВИС	2	1-2	2-2	3-2	4-2	5-2	6-2	7-2	8-2
	TRW	3	1-3	2-3	3-3	4-3	5-3	6-3	7-3	8-3
	ЗАЗ	4	1-4	2-4	3-4	4-4	5-4	6-4	7-4	8-4

Для обеспечения необходимых условий проведения эксперимента на стенде необходимые скоростные режимы были предварительно рассчитаны по специальному методу для имитации теплового режима работы тормозов при указанных испытаниях. Суть предлагаемого метода заключается в полной имитации теплового и силового режимов торможения путем частичного воспроизведения скоростного режима. При этом температура поверхности трения и удельная нагрузка влияют на коэффициент трения значительно, чем скорость скольжения.

Скорость начала и конца торможения определяется по формуле:

$$V_c = V_d \sqrt[3]{\frac{m_d \cdot F_{пед.д}}{m_c \cdot F_{пед.с}}}, \tag{1}$$

где  $V$  – скорость начала торможения, м/с;  $m$  – приведенная масса, кг;  $F_{пед.}$  – приводное усилие (усилие нажатия на тормозную педаль), Н; "с" и "д" - индексы стеновых и дорожных испытаний.

Для проведения эксперимента скорости начала и конца торможения для передней и задней осей рассчитывались по формулам:

- для передней оси

$$V_0^n = V_d \sqrt[3]{\frac{\beta \cdot M_c}{m_{ст} + 2m_k}}, \tag{2}$$

- для задней оси

$$V_0^z = V_d \sqrt[3]{\frac{(1-\beta) \cdot M_c}{m_{ст} + 2m_k}}. \tag{3}$$

Исходя из этого, условия проведения предварительного этапа испытаний типа I автомобиля ВАЗ-2108 в снаряженном состоянии включали серию из 15 последовательных торможений. Начальная скорость торможения для колес передней оси составляла 32 м/с, и торможение проводилось до конечной скорости, равной 16 м/с. Для задней оси автомобиля начальная скорость была равна 24 м/с и торможение происходило до 12 м/с.

В процессе испытаний регистрировались следующие параметры:

- температура роторов тормозных механизмов;
- давление, создаваемое в тормозном приводе каждого колеса;
- время торможения;
- число торможений;
- показатель замедления.

Перед выполнением испытаний тормозные механизмы автомобиля оборудовались хромель-копелевыми термопарами, установленными во фрикционных накладках переднего и заднего тормозных механизмов. Это позволило постоянно фиксировать температуры нагрева поверхностей трения тормозных механизмов. В начале и конце исследований проводилась контрольная проверка всех датчиков.

Работоспособность тормозных механизмов в процессе нагрева оценивалась субъективно по увеличению хода тормозной педали и появлению вибраций. После испытаний проводился осмотр тормозных механизмов. В процессе осмотра устанавливалось состояние пар трения, уплотнений и смазки в ступицах колес.

### 5. Выбор комплекса контрольно-измерительной аппаратуры

Исходя из поставленной задачи экспериментально-го исследования был разработан специальный измерительный комплекс, состоящий из следующих основных элементов:

- блок питания;
- персональный компьютер со встроенным аналого-цифровым преобразователем (АЦП);
- датчики регистрации температуры (скользящие хромель-копелевые термопары);
- датчики регистрации давления в тормозной системе;
- датчик включения и выключения тормозной системы;
- контрольно-измерительная аппаратура диагностического комплекса ПДС-Л.

Программное обеспечение при проведении эксперимента осуществлялось с помощью пакета «Power Graph», предназначенного для записи, визуализации, обработки и хранения аналоговых сигналов, регистрируемых с помощью АЦП. Программа осуществляла блочную запись результатов аналого-цифрового преобразования.

Для питания датчиков температуры и давления были разработаны и изготовлены два усилителя и блок питания к ним. В качестве блока питания. Создающего напряжение 12 В использовалась аккумуляторная батарея.

Для регистрации давления использовались датчики давления ДД-250, диапазон измеряемого давления находится в интервале от 0,1 до 25 МПа, погрешность измерения не более  $\pm 2\%$ .

Для регистрации изменения температуры на поверхности трения дисковых тормозных механизмов использовались две термопары на каждом механизме, одна термопара перед входом диска в контакт с тормозной накладкой, другая – после выхода. Эта схема позволила отслеживать рост температуры за один контакт точек поверхностей диска и фрикционной накладки.

ЭДС термопары подавалась через специальный усилитель непосредственно на АЦП. Параллельно осуществлялся периодический оперативный контроль температуры с помощью цифрового пирометра.

Сопоставление результатов замера температур, выполненных двумя способами в пяти повторяющихся элементах показало, что при учете «собственной» температуры трения скользящей термопары, величина суммарной погрешности составляет 2,5% в диапазоне 50...350<sup>0</sup>С.

Градуировка термопар производилась в печи с контрольным ртутным термометром с ценой деления 0,5<sup>0</sup>С и измерительной шкалой до 500<sup>0</sup>С. При градуировке термо-ЭДС термопар замерялась милливольтметром UNI-T M 838 с точностью до 0,01 мВ.

## 6. Обработка полученных результатов

В измерительной системе роликового стенда ПДС-Л изменение времени торможения от скорости торможения называют «показателем замедления». Показатель замедления (ПЗ) характеризует состояние тормозных механизмов. Он представляет собой время падения скорости от 25 до 6 км/ч (участок стабильного замедления).

Условие исправного состояния тормозной системы:

$$ПЗ_i^ф \leq ПЗ_i^н, \tag{4}$$

где  $ПЗ_i^ф$  - измеренное значение показателя замедления, с;  $ПЗ_i^н$  - нормативное значение показателя замедления, с.

В процессе экспериментальных исследований контролировалось изменение ПЗ от температуры в фрикционном контакте тормозного механизма.

Значение установившегося замедления при торможении автомобиля на стенде определялось по формуле:

$$j_i^с = 5,833 / ПЗ_i. \tag{5}$$

Расчетное значение коэффициента распределения тормозных сил для автомобиля ВАЗ-2108  $\beta_{мо} = 0,66$ . При выборе сочетания фрикционных пар передних и задних тормозов необходимо стремиться обеспечивать значение коэффициента распределения тормозных механизмов на переднюю ось  $\beta_{мд}$ , равное расчетному значению  $\beta_{мо}$ , при циклических служебных торможениях.

Коэффициент  $\beta_{мд}$  при стендовых испытаниях определялся по формуле:

$$\beta_{мд} = \frac{1}{1 + \frac{1/ПЗ_{зл} + 1/ПЗ_{зп}}{1/ПЗ_{пл} + 1/ПЗ_{пп}}}, \tag{6}$$

где  $ПЗ_{зл}$  - показатель замедления заднего левого колеса, с;  $ПЗ_{зп}$  - показатель замедления заднего правого колеса, с;  $ПЗ_{пл}$  - показатель замедления переднего левого колеса, с;  $ПЗ_{пп}$  - показатель замедления переднего правого колеса, с.

По результатам проведенных исследований можно констатировать, что:

1. На температурных кривых всех фрикционных материалов можно выделить два участка. На первом участке происходит прогрев фрикционных пар тормозных механизмов и начало рассеивания тепла. На втором участке устанавливается динамическое тепловое равновесие, при котором энергия, выделяемая на поверхности трения, равна энергии, рассеиваемой в окружающую среду.

2. Максимальная температура, зафиксированная в процессе экспериментальных исследований, для дискового тормозного механизма составляла 350<sup>0</sup>С, а для барабанных составила 185<sup>0</sup>С.

После обработки результатов можно определить действительное распределение тормозных сил при различном сочетании передних и задних фрикционных пар.

В табл. 2 приведены значения показателей замедления (ПЗ, с) всех колес автомобиля для восьми циклов испытаний типа I.

Таблица 2

Показатели замедления передних и задних колес автомобиля ВАЗ-2108

	1 т	2 т	3 т	4 т	5 т	6 т	7 т	8 т
Дисковые (передние) тормозные колодки								
FERODO								
ПЗ лев	0,45	0,47	0,46	0,46	0,48	0,50	0,53	0,55
ПЗ прав	0,44	0,46	0,46	0,47	0,48	0,51	0,52	0,54
SCT								
ПЗ лев	0,47	0,49	0,52	0,54	0,57	0,58	0,60	0,61
ПЗ прав	0,45	0,48	0,50	0,55	0,56	0,60	0,61	0,62
VALEO								
ПЗ лев	0,50	0,51	0,53	0,54	0,56	0,56	0,58	0,59
ПЗ прав	0,49	0,51	0,52	0,53	0,55	0,55	0,56	0,59
Барабанные (задние) тормозные колодки								
НАЧАЛО								
ПЗ лев	0,98	0,99	1,01	1,00	1,02	1,04	1,03	1,05
ПЗ прав	0,99	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,02	1,03
ЗА3								
ПЗ лев	0,90	0,95	0,93	0,93	0,96	0,95	1,00	0,97
ПЗ прав	0,92	0,94	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,99
TRW								
ПЗ лев	0,89	0,92	0,94	0,96	0,95	0,97	1,00	1,02
ПЗ прав	0,90	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,99	1,01

## 7. Оценка погрешности экспериментальных исследований

Погрешность измерения возникает вследствие воздействия многих факторов, сопутствующих измерению. Аналитический подход при изучении погрешности состоит в разделении ее на составляющие, каждая из которых обусловлена определенным фактором.

Значение погрешностей применяемых измерительных приборов и датчиков были таковы:

- датчик давления ДД  $250 \pm 2\%$ ;

- показатели, регистрируемые на диагностической станции ПДС-Л 2%;

Суммарная погрешность регистрации температуры трения скользящей термпары в диапазоне  $50...350^{\circ}\text{C}$   $\pm 3,5\%$ .

Итоговые суммарные относительные погрешности  $\delta$  определялись в соответствии с законом сложения случайных ошибок:

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}, \quad (7)$$

где  $\delta_i$  – относительная погрешность  $i$ -го источника;  $n$  – число источников погрешности.

В результате расчета по этой методике получена относительная погрешность регистрируемых параметров для стендового исследования – 4,2%.

## Выводы

В результате проведенного экспериментального исследования определена динамика изменения полученного замедления каждого колеса передней и задней осей при циклических торможениях. Разработанная методика исследований позволяет определить динамику изменения коэффициента распре-

деления тормозных сил между осями при различных сочетаниях фрикционных пар передних и задних тормозных механизмов. Диапазон колебания коэффициента  $\beta_{\text{мд}}$  оказался достаточно большим от 0,579 до 0,691 в зависимости от сочетания фрикционных пар на осях.

На основании полученных экспериментальных данных можно проводить моделирование по коэффициенту устойчивости, а именно по изменению распределения тормозных сил легкового автомобиля при служебных торможениях и разных коэффициентах сцепления колес с дорогой.

Диагностические станции могут эффективно использоваться при осуществлении выбора оптимального сочетания передних и задних фрикционных пар в процессе проведения сертификационных испытаний тормозных колодок.

## Литература

1. Литвинов А.С. Некоторые вопросы динамики неустановившегося поворота автомобиля / А.С. Литвинов, Ю.М. Немцов, В.С. Волков // Автомобильная промышленность. – 1978. - №3. – С. 20-22.
2. Подригало М.А. Устойчивость колесных машин при торможении / М.А. Подригало, В.П. Волков, В.И. Кирчатый. – Харьков: Изд-во ХГАДТУ, 1999. – 93 с.
3. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження легкових автомобілів стосовно гальмування: ДСТУ UN/TCT R13-H-00:2004. – Введено на зміну ДСТУ UN/ECE R13-H-00:2002. [Чинний від 2006-04-01] – К.: Вид-во Держспоживстандарту України, 2007. – 50 с. – (Національний стандарт України).
4. Единые образные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении торможения. Правила ЕЭК ООН № 13. Изд-во ООН, 1973. – 74 с.