

УДК 625.8.033.373

**Калёнова Екатерина Валерьевна**

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»  
Россия, Москва<sup>1</sup>  
Доцент кафедры «Строительство и эксплуатация дорог»  
Кандидат технических наук  
E-Mail: [Katerina.kalenova@gmail.com](mailto:Katerina.kalenova@gmail.com)

**Лугов Сергей Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»  
Россия, Москва  
Доцент кафедры «Строительство и эксплуатация дорог»  
Кандидат технических наук  
E-Mail: [lugov-madi@rambler.ru](mailto:lugov-madi@rambler.ru)

## **Методика и результаты измерений износа асфальтобетонных покрытий на колёсном стенде**

**Аннотация:** В статье представлена методика измерения колеи износа на универсальном колёсном стенде «Карусель», разработанным в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете и превосходящем по своим техническим характеристикам все отечественные и зарубежные аналоги, позволяющем проводить широкий спектр исследований по различным тематикам, в том числе связанным с исследованиями взаимодействия автомобильных шин с дорожным покрытием. Разработанная авторами методика сравнительной оценки износа покрытия для колёсного стенда позволяет определить износ покрытия под действием шипованных и нешипованных шин автомобиля. Авторами дано подробное описание принципа работы стенда, представлено измерительное оборудование для определения величины износа, предложен порядок проведения исследований и обработки полученных результатов измерений. Предложенная методика была апробирована на стенде «Карусель» в рамках научно-исследовательской работы по грантам Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. Полученные авторами данные по износу покрытий шипованными и нешипованными шинами были сопоставлены с ранее проведенными исследованиями других авторов проведенных на дорогах общего пользования. Это позволило сделать предварительные выводы о позиционировании щебёночно-мастичного асфальтобетона как колееустойчивого материала. Авторами поставлены задачи дальнейших исследований износа покрытий с помощью колёсного стенда «Карусель».

**Ключевые слова:** Износ; дорожное покрытие; колееобразование; прогнозирование; износ от шин с шипами; методика; измерительная рейка; промерник; шины с шипами; колёсный стенд.

Идентификационный номер статьи в журнале 34TVN214

---

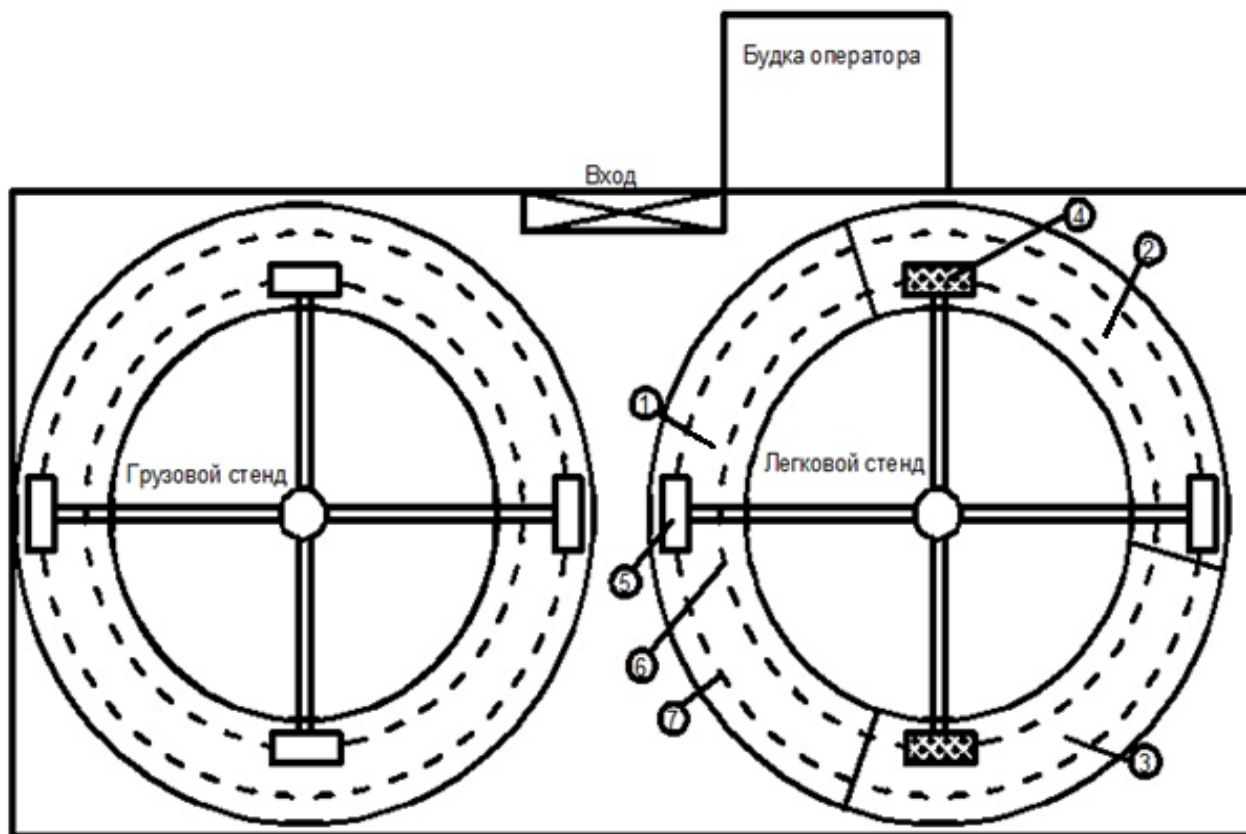
<sup>1</sup> 125319, Россия, Москва, Ленинградский проспект, д. 64

Изучение процессов, вызывающих колеобразование, в настоящее время достаточно актуально. Один из наиболее весомых вкладов в общую глубину колеи вносит износ (истирание) покрытия. Разработка методов прогнозирования износа асфальтобетонных покрытий требует проведения достаточно большого объема экспериментальных исследований с использованием колесных стендов, имитирующих проходы автомобилей по полосам наката автомобильной дороги. Проведение экспериментальных исследований на подобных стендах достаточно удобно, в частности, для прямого сопоставления степени износа покрытий от шипованной и нешипованной резины.

В тоже время следует отметить, что измерение глубины колеи (равно, как и величины износа покрытия в данном случае), не всегда удобно производить по существующей ныне методике [1], разработанной применительно к обследованиям автомобильных дорог общего пользования. Поэтому в рамках проведения научно-исследовательской работы по грантам Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) авторами были предложены несколько отличные методика [2] и оборудование для проведения измерений износа асфальтобетонных покрытий на колесных стендах. Данная методика была апробирована на колесном стенде КУИДМ-2 «Карусель», расположенном на полигоне МАДИ в районе поселка «Черная грязь» Московской области.

Колесный стенд для испытания дорожных покрытий КУИДМ-2 «Карусель» смонтированный на полигоне МАДИ [3-6] не имеет аналогов в России позволяет производить ряд научных исследования по различным тематикам в том числе исследования износа дорожных покрытий [7].

Стенд представляет собой установку, состоящую из двух кольцевых треков диаметром  $30 \pm 2$  м для грузовой и легковой нагрузки с шириной полосы движения 3,75 м. В данной статье речь пойдет о работе легкового стенда, используемого в предлагаемой методике для определения величины износа покрытия. Стенд «Карусель» даёт возможность вести параллельные измерения на различных типах покрытий и дорожных одежд. На момент проведения измерений (весна-осень 2013 г.) дорожка легкового стенда была представлена тремя типами покрытия из щебёночно-мастичного асфальтобетона (рис.1). Конструктивно установка стенда представлена двумя балками, пересекающимися в центре под прямым углом. На концах балок смонтированы колёсные пары ведущие и ведомые, перемещающиеся по внутренней и внешней полосам наката соответственно. При апробации методики по сравнительной оценке величины износа покрытия от шипованных и нешипованных шин на разные колесные пары были установлены разные типы шин: с шипами и без шипов. Так, по внутренней полосе наката перемещалась колёсная пара с шипованными шинами, по внешней – с нешипованными шинами, при этом параметры шипованных и нешипованных шин на момент проведения измерений были следующие: R15 205/65. Нагрузка на колесо составляла 580 кг, скорость движения колес до 140 км/ч.



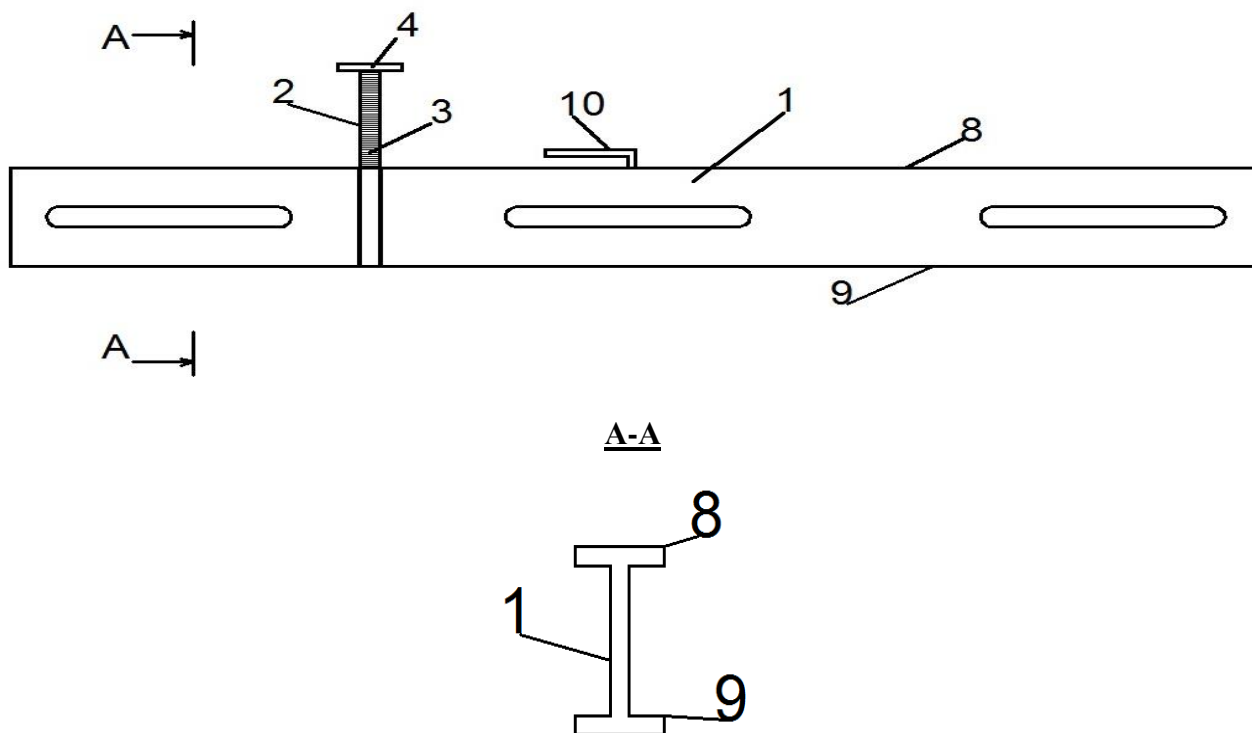
*Рис. 1. План-схема стэнда «Карусель»*

На схеме: 1 – покрытие из *щебёночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА)* на битуме, прошедшем механо-химическую активацию (битум на ПБВ с обработкой); 2 - покрытие из ЩМА с добавкой «Унирем»; 3 – покрытие из ЩМА с добавкой серы; 4 – колесо с шипованной шиной; 5 – колесо с нешипованной шиной; 6 - внутренняя полоса наката; 7 – внешняя полоса наката.

#### **Оборудование для проведения измерений.**

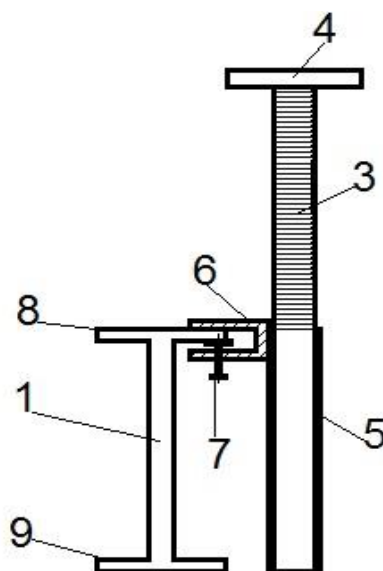
Измерения величины износа проводятся бригадой в рекомендуемом составе 2-х человек. При этом оснащение бригады для проведения измерений включает:

1. Рейку длиной один метр (рис.2);
2. Прицепной измеритель (рис.3) или клиновый промерник;
3. Рулетку измерительную или курвиметр;
4. Мел для разметки участков;
5. Ведомость для фиксирования результатов замеров по форме табл. 1.



**Рис. 2.** Рейка для измерения дорожных неровностей.

1 - Рейка длиной один метр, 2 - прицепное измерительное устройство, 3 - измеритель со шкалой, 4 - ограничитель, 5 - внешняя оболочка, 6 – держатель, 7 - винт. 8,9 верхняя и нижняя опорные полки соответственно, 10 - рукоять.



**Рис. 3.** Схема прицепного измерительного устройства

1 - Рейка длиной один метр, 2 - прицепное измерительное устройство, 3 - измеритель со шкалой, 4 - ограничитель, 5 - внешняя оболочка, 6 – держатель, 7 - винт. 8,9 верхняя и нижняя опорные полки соответственно, 10 - рукоять.

**Таблица 1**

**Ведомость для фиксирования результатов замеров**

1 участок – покрытие 1 типа			2 участок – покрытие 2 типа			....	N участок – покрытие n типа		
№ замера	Результат измерения, мм		№ замера	Результат измерения, мм		....	№ замера	Результат измерения, мм	
	$\Delta_{ш}$	$\Delta_{нш}$		$\Delta_{ш}$	$\Delta_{нш}$			.....	$\Delta_{ш}$
1						....			
2						....			
...						....			
...						....			
n						....			
-						ю...			
n									

$\Delta_{ш}$  и  $\Delta_{нш}$  - значение единичного износа покрытия от шипованной и нешипованной резины, мм.

Для проведения измерений величины износа на колёсных стендах типа «Карусель» авторы рекомендуют использовать короткобазовую рейку длиной  $1000 \pm 2$  мм и шириной опорной грани рейки  $50 \times 2$  мм. При этом сама рейка может быть выполнена из материала, выбираемого из ряда прочных и легких нержавеющей сталей. Такая рейка удобна в использовании, она позволяет избежать влияния на измерения соседних неровностей, в частности неровностей от износа на соседней полосе наката. Для обеспечения требуемой точности измерений прогиб рейки от собственного веса в середине пролёта не должен превышать 0,2 мм. Для определения величины просвета под рейкой наряду с традиционным клиновым промерником авторы рекомендуют использовать более удобный прицепной измеритель со шкалой с ценой деления один мм. Прицепной измеритель выполнен с подвижным ограничителем, опирающимся на верхнюю грань внешней оболочки, с возможностью его крепления с помощью держателя к рейке, а также перемещения его вдоль рейки. Жесткое крепление измерителя к рейке повышает точность и удобство измерений.

**Общие положения методики.**

1. Измерения должны проводиться на неработающем стенде.
2. Минимальное количество измерений может быть определено по зависимости [8,9]:

$$N_{\min} = \left( \frac{t \cdot K_B}{\delta_{\text{доп}}} \right)^2 \quad (1)$$

или

$$N_{\min} = \left( \frac{t \cdot \sigma}{\Delta_{\text{доп}}} \right)^2 \quad (2)$$

где  $t$  – нормируемое отклонение, зависящее от важности объекта, вида ограничений (одностороннее или двустороннее ограничение параметра), ориентировочно можно принять по табл. 2;

$K_v$  и  $\sigma$  - соответственно коэффициент вариации и среднее квадратическое отклонение – характеристики однородности измеряемого параметра;

$\delta_{\text{доп}}$  и  $\Delta_{\text{доп}}$  - показатели точности измерений параметра (допустимые погрешности), имеющие соответственно относительную и абсолютную форму выражения, зависят от метода измерений и применяемых приборов.

**Таблица 2**

**Значение нормированного отклонения  $t$  при двустороннем ограничении параметра**

Доверительная вероятность $P_d$	Значение нормированного отклонения $t$
0.98	2.41
0.95	1.97
0.90	1.645
0.85	1.44
0.80	1.28

3. Для шипованного колеса период работы станда должен быть обеспечен в диапазоне низких температур воздуха, не более  $+5^{\circ}\text{C}$ ;

4. Для нешипованного колеса период работы станда должен быть обеспечен в диапазоне положительных температур воздуха, не менее  $+5^{\circ}\text{C}$ ;

5. Количество проходов колеса по одному следу должно быть достаточным для обеспечения глубины колеи более 1 мм;

6. Скорость движения колёс станда должна быть более 60 км/ч;

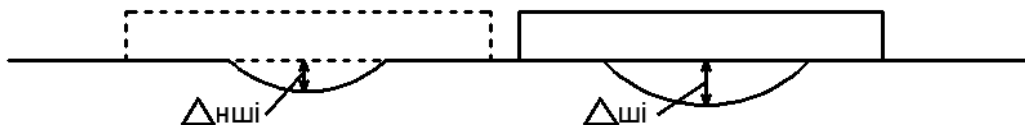
7. Необходимо фиксировать во время работы станда продолжительность работы покрытия во влажном и сухом состоянии соответственно, сут.

**Порядок проведения измерений.**

1. Определение границ участков с разными типами покрытия с занесением в ведомость;

2. Определение и обозначение точек замеров на покрытии для каждого участка по внутренней и внешней полосам наката с шагом 1 м, с помощью рулетки и мела (общее количество измерений должно быть не менее, полученного по формуле (1));

3. Рейку прикладывают к поверхности покрытия перпендикулярно оси движения колеса станда (рис.4);



**Рис.4.** Схема измерения глубины колеи.

4. Измерение глубины колеи-износа в обозначенных точках с помощью однометровой рейки (рис.4) и прицепного измерителя (рис. 3) (или клинового промерника);
5. Занесение результатов измерения в ведомость вида табл. 1.

### Обработка результатов измерений

1. Результаты обработки измеренных величин износа покрытия по соответствующим участкам испытательной асфальтированной дорожки заносятся в ведомость вида таблицы 3.

**Таблица 3**

#### Результаты обработки измеренных величин износа покрытия по соответствующим участкам испытательной асфальтированной дорожки

Номер измерительного участка (по схеме на рис. 1)	1	2	3	1...3
Средняя глубина колеи по оси внутренней полосы наката / внешней полосы наката, мм				
Средний износ по двум полосам наката*, мм				
Соотношение $\Delta_{ш} / \Delta_{нш}$				
Показатель $\xi_p \times 10^{-6}$ , вычисленный для среднего по двум полосам износа*, мм				

\*может быть принят как ожидаемый износ покрытия при смешанном воздействии шипованных и нешипованных шин.

2. Определение средней глубины колеи-износа и среднеквадратического отклонения по участкам с различными типами покрытия по внутренней и внешней полосам наката производится по формулам:

$$\bar{\Delta}_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{ij}}{n}, \text{ мм} \quad (3)$$

$$\sigma_{ij} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_{ij} - \bar{\Delta}_{ij})^2}{n-1}}, \text{ мм} \quad (4)$$

где  $n$  – количество участков на трекe с  $i$ -м типом покрытия;

$j$  – полоса наката от прохода шипованных или нешипованных шин.

3. Определение расчётного значения глубины износа по  $i$ -м участкам с различными типами покрытия для шипованных и нешипованных шин:

$$\Delta_{\text{расч}_{ij}} = \bar{\Delta}_{ij} + t \cdot \sigma_{ij}, \text{ мм} \quad (5)$$

где  $t$  – коэффициент нормированного отклонения, зависящий от гарантийной вероятности (может быть принят равным 1,04 [1]).

4. Определение расчётного среднего значения глубины износа по всем участкам для шипованных и нешипованных шин:

$$\Delta_{\text{расч}_{j}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{\text{расч}_{ij}}}{n}, \text{ мм} \quad (6)$$

5. Показатель расчётного единичного износа асфальтобетонного покрытия от проезда автомобиля  $\xi_p \times 10^{-6}$  (табл. 3) вычисляется для среднего по двум полосам наката износа.

6. Полученные в результате обработки замеров данные таблицы 3: соотношение  $\Delta_{\text{ш}} / \Delta_{\text{нш}}$  и показатель  $\xi_p \times 10^{-6}$  возможно использовать для оценки величины износа асфальтобетонного покрытия за время  $T$  с помощью расчётной модели, ранее предложенной авторами [2].

Результаты обработки измеренных величин износа покрытия при апробации данной методики по сравнительной оценке износа асфальтобетонных покрытий от шипованных и нешипованных шин по соответствующим участкам испытательной асфальтированной дорожки легкового стенда «Карусель» приведены авторами в таблице 4.

**Таблица 4**

**Результаты обработки измеренных величин износа покрытия**

Номер измерительного участка (по схеме на рис. 1)	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1...3</b>
Средняя глубина колеи по оси внутренней полосы наката / внешней полосы наката, мм	2,14 / 0,43	3,0 / 0,80	2,71 / 0,76	2,61 / 0,66
Средний износ по двум полосам наката*, мм	1,29	1,9	1,78	1,64
Соотношение $\Delta_{\text{ш}} / \Delta_{\text{нш}}$	4,98	3,75	3,57	3,95
Показатель $\xi_p \times 10^{-6}$ , вычисленный для среднего по двум полосам износа*, мм	2,15	3,16	2,97	2,73

\*может быть принят как ожидаемый износ покрытия при смешанном воздействии шипованных и нешипованных шин.



Из таблицы 4 видно, что примерный диапазон соотношений  $\Delta_{ш}/\Delta_{нш}$  для щебеночно-мастичных асфальтобетонов на различных вяжущих составляет от 3,5 до 5,0. Это позволяет оценить насколько воздействие шипованных шин агрессивнее в плане износа покрытий по сравнению с нешипованной резиной. С учетом точности проведенных измерений, для практических расчетов величины износа покрытий из ЩМА авторами рекомендуется принимать усредненную величину соотношения  $\Delta_{ш}/\Delta_{нш} = 3,95$ . Возможно, что примерно такое же соотношение  $\Delta_{ш}/\Delta_{нш}$  будет наблюдаться и на покрытиях из обычных асфальтобетонов типов А, Б и В, но данный вопрос требует уточнения при проведении отдельных экспериментальных исследований.

Кроме того, полученные в ходе обработки результатов экспериментального исследования значения параметра  $\xi_p$ , были сопоставлены авторами с данными исследований М.Ф. Джалилова [10], представленными в таблице 5, для обычных мелкозернистых асфальтобетонов.

Таблица 5

**Значения параметра  $\xi_p$ , полученные в ходе обработки результатов  
экспериментального исследования**

Группа износа каменного материала	Тип асфальтобетона, в зависимости от содержания щебня в смеси, %		
	>50 (тип А)	40-50 (тип Б)	<40 (тип В)
	Величина $\xi_p \times 10^{-6}$ , мм		
I	1,3	1,37	1,43
II	1,43	1,51	1,57
III	1,56	1,64	1,72

Так, например, по экспериментальным данным М.Ф. Джалилова, полученным для смешанных транспортных потоков, наблюдаемых в период 2000-2001 гг., величина единичного износа составляет от 1,3 до 1,72. Авторами же для щебеночно-мастичных асфальтобетонов и условного смешанного транспортного потока, получен разброс показателя  $\xi_p$  от 2,15 до 3,16, в среднем 2,73. Здесь следует учесть несколько отличные условия проведения экспериментальных исследований, в частности достаточно высокую нагрузку на одиночное колесо легкового автомобиля на стенде, поэтому четкое соотнесение наших данных с данными М.Ф. Джалилова было бы не совсем корректным. Для более корректного сопоставления данных по величине износа на покрытиях из ЩМА и обычных асфальтобетонов следует провести параллельные испытания на стенде «Карусель». Но, тем не менее, из анализа и сопоставления экспериментальных результатов, можно предположить, что повсеместное использование на дорогах с высокой интенсивностью движения щебеночно-мастичных асфальтобетонов, и безоговорочное позиционирование покрытий из ЩМА как слоев значительно более колееустойчивых (относительно обычных асфальтобетонов), в настоящее время, возможно, не всегда оправдано. Например, в тех случаях, когда исходя из условий и состава движения может ожидать колея в следствие сдвиговых пластических деформаций, то тут не вызывает особых сомнений, что использование ЩМА позволит минимизировать эксплуатационные затраты. А вот эффективность применения ЩМА для

предотвращения колеи-износа может оказаться под вопросом, как минимум в связи с ощутимо более высокой стоимостью данного материала в сравнении с обычными асфальтобетонами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по выявлению и устранению колеи на нежестких дорожных одеждах. М., 2002.
2. Лугов, С.В. Возможности расчетной оценки износа покрытий при прогнозировании колееобразования / С.В. Лугов, Е.В. Калёнова // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2013. №4 – С.53-59.
3. Патент РФ № RU 96657 U1, МПК G01M7/00, G01M7/06, E01F11/00. Способ измерения и регистрации технико-экономических показателей поверхности покрытия дорожной одежды и функциональный комплекс для его осуществления (варианты). Приор. от 04.03.2010. Авторы: Приходько В.М., Васильев Ю.Э. и др.
4. Патент РФ № RU 2400594 C1, МПК E01C23/07, G01B5/28, G01C7/04. Способ измерения и регистрации технико-экономических показателей поверхности покрытия дорожной одежды и функциональный комплекс для его осуществления. Приор. От 26.01.2009. Авторы: Приходько В.М., Васильев Ю.Э. и др.
5. Братищев, И.С. Универсальный кольцевой стенд для оценки износостойкости материалов дорожного покрытия/ Братищев И.С., Воейко О.А.// Материалы лауреатов конкурса дипломных проектов и бакалаврских работ на дорожно-строительном факультете МАДИ. М.: МАДИ, 2011.
6. Васильев, Ю.Э., Приходько В.М. К вопросу обеспечения качества дорожных покрытий Строительные материалы. 2011. № 10. С. 45.
7. Штефан, Ю.В. Модернизация кольцевого стенда «КУИДМ-2» для расширения спектра измеряемых параметров и ускорения испытаний//Интернет-журнал «Науковедение», 2013 №6 [Электронный ресурс]-М.: Науковедение, 2013 -- Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/108TVN613.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
8. Семёнов, В.А. Качество и однородность автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1989. – 125с.
9. Операционный контроль качества земляного полотна и дорожных одежд / Е.И. Евгеньев, А.Я. Тулаев, В.С. Порожняков и др.; Под ред. А.Я. Тулаева. – М.; Транспорт, 1985. – 224с.
10. Джалилов, М.Ф. Учет истирающего воздействия колес автомобилей при прогнозировании износа асфальтобетонных покрытий: дис. ...канд. техн. наук / М.Ф. Джалилов; МАДИ. – М., 2004. - 246 с.

**Рецензент:** Яковлев Юрий Михайлович, профессор, доктор технических наук, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ).

**Ekaterina Kalenova**

Moscow Automobile And Road Construction State Technical University  
Russia, Moscow  
E-Mail: [Katerina.kalenova@gmail.com](mailto:Katerina.kalenova@gmail.com)

**Sergey Lugov**

Moscow Automobile And Road Construction State Technical University  
Russia, Moscow  
E-Mail: [lugov-madi@rambler.ru](mailto:lugov-madi@rambler.ru)

## **The method and results of measuring the wear of asphalt pavement on wheeled stands**

**Abstract:** The article presents the method for measuring the wear track on the universal wheeled stand «Karusel», developed in the Moscow Automobile And Road Construction State Technical University and superior to its technical characteristics all native and foreign analogs , which allows to carry out extensive research on various subjects, including research related to the interaction of tires with road pavements. The method comparative evaluation of wear of the road pavements for wheeled stand developed by the authors allows to determine wear of the road pavements from common tires and snow-tires of the vehicle. The authors give a detailed description of the operation principle of the wheeled stand, presented measuring equipment to determine the value of wear, proposed the order of the research procedure and processing of the measurement results. The proposed method was tested on the wheeled stand «Karusel» within the research on grants of the Moscow Automobile And Road Construction State Technical University. The data on the wear of the road pavements from common tires and snow-tires were compared with earlier research of other authors carried out on public roads. This allowed to make preliminary conclusions about the positioning of the stone mastic asphalt as rut protective material. The authors set targets for further research the wear of the road pavements using a wheeled stand «Karusel».

**Keywords:** Wear; pavement; rutting; forecasting; wear by the snow-tires; the method; measuring spline; measuring device; snow-tires; wheeled stand.

Identification number of article 34TVN214

## REFERENCES

1. Rekomendacii po vyjavleniju i ustraneniu kolej na nezhjostkih dorozhnyh odezhdah. M., 2002.
2. Lugov, S.V. Vozmozhnosti raschetnoj ocenki iznosa pokrytij pri prognozirovanii koleeobrazovanija / S.V. Lugov. E.V. Kaljonova // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta (MADI). – 2013. №4 – S.53-59.
3. Patent RF № RU 96657 U1, MPK G01M7/00, G01M7/06, E01F11/00. Sposob izmerenija i registracii tehniko-jekonomičeskikh pokazatelej poverhnosti pokrytija dorozhnoj odezhdy i funkcional'nyj kompleks dlja ego osushhestvlenija (varianty). Prior. ot 04.03.2010. Avtory: Prihod'ko V.M., Vasil'ev Yu.E. i dr.
4. Patent RF № RU 2400594 C1, MPK E01C23/07, G01B5/28, G01C7/04. Sposob izmerenija i registracii tehniko-jekonomičeskikh pokazatelej poverhnosti pokrytija dorozhnoj odezhdy i funkcional'nyj kompleks dlja ego osushhestvlenija. Prior. Ot 26.01.2009. Avtory: Prihod'ko V.M., Vasil'ev Yu.E. i dr.
5. Bratishhev, I.S. Universal'nyj kol'cevoj stend dlja ocenki iznosostojkosti materialov dorozhnogo pokrytija/ Bratishhev I.S., Voejko O.A.// Materialy laureatov konkursa diplomnyh proektov i bakalavrskih rabot na dorozhno-stroitel'nom fakul'tete MADI. M.: MADI, 2011.
6. Vasil'ev, Yu.E., Prihod'ko V.M. K voprosu obespečenija kachestva dorozhnyh pokrytij Stroitel'nye materialy. 2011. № 10. S. 45.
7. Shtefan, Yu.V. Modernizacija kol'cevogo stenda «KUIDM-2» dlja rasshirenija spektra izmerjaemyh parametrov i uskorenija ispytanij//Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2013 №6 [Elektronnyj resurs]-M.: Naukovedenie, 2013 -.- Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/108TVN613.pdf>, svobodnyj. – Zagl. s jekrana. - Jaz. rus., angl.
8. Semjonov, V.A. Kachestvo i odnorodnost' avtomobil'nyh dorog. - M.: Transport, 1989. – 125s.
9. Operacionnyj kontrol' kachestva zemljanogo polotna i dorozhnyh odezhd / E.I. Evgen'ev, A.Ja. Tulaev, V.S. Porozhnyakov i dr.; Pod red. A.Ja. Tulaeva. – M.; Transport, 1985. – 224s.
10. Dzhailov, M.F. Uchet istirajushhego vozdejstvija koles avtomobilej pri prognozirovanii iznosa asfal'tobetonnyj pokrytij: dis. ...kand. tehn. nauk / M.F. Dzhailov; MADI. – M., 2004. - 246 c.