УДК 625.7/.8

Васильев Юрий Эммануилович
ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»
Россия, Москва[1]
Профессор
Доктор технических наук
vashome@yandex.ru

Ивачев Андрей Владимирович
ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»
Россия, Москва
Аспирант
ivachevandrei@mail.ru

Братищев Илья Станиславович
ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»
Россия, Москва
Аспирант
ilya_bratishev@mail.ru

Исследование устойчивости дорожно-строительных материалов к износному колееобразованию в условиях, приближенных к эксплуатационным

[1] 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64, комната 133

Аннотация: В статье рассмотрена необходимость и возможность осуществления испытания строительных материалов на колееобразование в условиях полевых испытательных стендов. Изучена причина возникновения износной колеи. Рассмотрено влияние роста автомобилизации на проблему колейности. Изучены факторы, влияющие на развитие колеи. Рассмотрено влияние шипованных шин на повышение износа покрытия. Изучены зарубежные исследования по вопросам влияния шипованной резины на износ, рассмотрены известные способы решения проблемы. Изучены способы прямых испытаний материалов на колееобразование. Обозначены две основные группы методов – лабораторные и стендовые испытания. Изучены преимущества и недостатки методов. Установлено, что решающим фактором при проведении испытания является скорость движения колеса по образцу материала. Сделан вывод о целесообразности проведения испытаний на полевых стендах. Для выполнения испытаний по определению воздействия шипованной резины на износ была разработана методика изготовления образцов в лабораторных условиях с последующим испытанием на комплексе для ускоренных испытаний дорожно-строительных материалов. Описаны условия проведения эксперимента. Рассмотрены результаты испытаний образцов на кольцевом комплексе, получено подтверждение того, что шипованная резина увеличивает износ покрытия. По результатам сделан вывод об эффективности предложенной методики для оценки стойкости материалов к образованию колеи.

Ключевые слова: автомобильные дороги; дорожное покрытие; асфальтобетон; колея; износ; методы испытаний; лабораторные испытания; испытательные комплексы; нагрузка; скорость движения; шипованная резина.

На современном этапе широко применяются различные современные методы и технологии мониторинга и устранения колейности на автомобильных дорогах и мостовых сооружениях на них [1-8].

Интенсивное развитие колейности на дорожном покрытии на данный момент входит в перечень наиболее широко распространенных проблем, встречающихся при эксплуатации большинства автомобильных дорог [9]. Возникновение и развитие колеи на покрытии является следствием воздействия сочетания различных факторов, обусловленных физико-химическими свойствами дорожно-строительных материалов, особенностями конструктивного строения дорожной одежды, характером и режимом приложения нагрузки, скоростью движения транспортных средств [5, 9]. Образование колеи приводит к значительному снижению безопасности и комфортности движения, а также препятствует надлежащему отводу воды с поверхности покрытия.

Одной из самых распространенных причин возникновения колеи является износ дорожного покрытия по полосам наката. Известно также, что износ дорожного покрытия, кроме колейности, приводит к загрязнению окружающей среды [10].

Повышенному колееобразованию способствует постоянный рост автомобилизации в крупных городах РФ. Например, по данным ДЖКХиБ в настоящее время в городе Москва находится в эксплуатации более 3 миллионов транспортных средств. При этом увеличение городского транспортного парка за каждый год составляет 200 тысяч единиц. На 1000 жителей города приходится около 300 автомобилей, также, каждый день из-за пределов МКАД в город поступает от 480 до 550 тысяч автомобилей. Через 10 лет, учитывая текущую статистику, городской парк транспортных средств может увеличиться до 5 миллионов единиц.

Колейность дорожного покрытия на магистралях со сверхнормативной интенсивностью движения образуется в скоростных рядах, как уже было отмечено, вследствие износа верхнего слоя дорожного покрытия по полосам движения автотранспорта [8, 11]. Основываясь на результатах мониторинга состояния покрытия на МКАД, выполненного с применением мобильных дорожных лабораторий «АДС-МАДИ», установлено, что колейность наблюдается по полосе прохождения каждого колеса автомобиля по покрытию. При этом в результате многократного приложения нагрузок от транспортных средств по одному следу, ширина деформированного участка дорожного покрытия находится в диапазоне от 2,5 до 3,0 м при остаточной фактической толщине верхнего слоя покрытия в пространстве между колеей от 1 до 4 см.

Таким образом, выполненные исследования показали, что основными причинами колееобразования следует считать следующее:

- повышенная (сверхнормативная) интенсивность транспортного потока;
- применение шипованных шин;
- нарушение несущей способности нижележащих слоев;
- высокая скорость движения, способствующая существенному ускорению колееобразования, что подтверждается зарубежным опытом [12].

По данным исследований в некоторых регионах Российской Федерации доля «ошипованных» легковых автомобилей в зимний период достигает 90% [13]. При этом распространенность шипованных шин по регионах имеет большую вариабельность. Кроме того к технологическим особенностям, негативно влияющим на эксплуатацию автомобильных

дорог в РФ, относятся более «агрессивные» шипы (например, разрешенная ГОСТ 52547-2007 масса шипа для легковых шин у нас в 1,5-2 раза выше чем за рубежом), более высокие чем за рубежом разрешенные скорости движения легковых транспортных средств, более высокий уровень загруженности российских автомобильных дорог, составляющих опорную дорожную сеть страны (в результате все более нарастающей диспропорции между приростом парка автомобилей и приростом дорожной сети).

Изучение влияния шипованной резины на износ дорожного покрытия проводится в ряде стран ЕС и США. Например, в исследованиях, проведенных в штате Вермонт, подтверждено, что максимальный социально-экономический эффект применения шипов может быть достигнут только при введении строгих сезонных ограничений на применение такой резины [14]. Это вызвано тем, что преимущества шипованной резины ограничиваются повышенным сцеплением в условиях гладкого льда на поверхности покрытия, при этом в других условиях стандартные зимние шины показывают аналогичное или лучшее сцепление, однако шипованные шины способствуют более интенсивному износу дорожного покрытия. С этим мнением также сходятся исследователи, выполняющие схожие работы в штате Аляска [15].

Таким образом, в странах и штатах, обладающих схожими с РФ сезонными колебаниями температур, имеется строгий режим применения шипов. В условиях РФ необходимо сформировать аналогичные правила, для чего сначала нужно оценить степень воздействия шипованной резины на дорожное покрытие.

В результате выполняемых в различных странах научных исследований, при экспериментальной оценке устойчивости асфальтобетоного покрытия к образованию различных видов колеи всё более востребованными становятся прямые испытания материала на колейность с помощью различных колесных установок и стендов, имитирущих реальные условия работы покрытия при постоянном накоплении остаточных деформаций вследствие циклического воздействия нагрузки. Среди всех прямых методов определения устойчивости к колееобразованию можно отметить две базовые группы. Первая группа включает методы для лабораторных испытаний материалов колесной нагрузкой с помощью специальных испытательных машин. Данная группа методов и оборудования позволяет выполнять испытания асфальтобетона на стойкость к образованию колеи в условиях определенной температуры при заданном количестве циклов приложения колесной нагрузки [7, 16]. Вторая группа включает стендовые методы испытания, условия работы которых приближены к эксплуатационным. Особенностью данных методов является то, что материал может испытываться как в варианте отдельного технологического слоя, так и в составе слоёв дорожной одежды [17]. Методы, входящие в данную группу, разработаны с целью обеспечения испытаний материалов в масштабах, приближенных к реальным – такие стенды и комплексы сооружаются на испытательных полигонах и содержат в своей конструкции элементы транспортных средств.

Целью методик и оборудования для лабораторных испытаний материалов колесной нагрузкой является получение сравнительной характеристики поведения асфальтобетона при приложении многократных нагрузок в определенных температурных условиях испытания. Как правило, испытательные машины, применяемые для таких методов, позволяют испытывать цилиндрические образцы из асфальтобетона или образцы в виде плит. Главным недостатком лабораторных методов является низкая скорость движения колеса по образцу. При этом, по данным скандинавских исследователей, износ дорожных покрытий в значительной степени определяется именно скоростным режимом движения транспортных средств. Также указывается, что износ прямо пропорционален квадрату скорости транспортного средства. Таким образом, проведение объективного лабораторного испытание

на колееобразование невозможно из-за скоростного фактора. Поэтому наибольший интерес представляют стендовые методы испытаний, позволяющие проводить испытания в условиях сопоставимых с реальными скоростей, нагрузок, погодных условий.

Среди всех применяемых испытательных стендов в настоящее время можно отметить две крупные группы таких комплексов — это линейные и круговые (кольцевые). Круговые стенды, из-за их размеров, размещаются на открытых территориях, основным преимуществом методов такого вида является возможность обеспечения одинаковой траектории движения колеса при каждом проходе. Одним из недостатков таких стендов является потребность тестируемого материала в объемах, необходимых для возведения технологического слоя дорожной одежды. Поэтому оперативное размещение образца материала на полевых стендах, как правило, невозможно. Данная проблема может быть решена путём устройства на участке комплекса системы для фиксации изготовленных в лаборатории образцов.

Такое технологическое решение применяется на размещенном в Учебно-исследовательском центре МАДИ Универсальном комплексе для испытаний дорожных покрытий и автомобильных шин (рисунок 1) [18 - 21].

Рис. 1. *Общий вид Комплекса для испытания дорожных покрытий и автомобильных шин*

Разработанное техническое решение заключается в устройстве на полосе наката колеса выемки на глубину верхнего слоя покрытия. Это позволяет выполнять монтаж изготовленных в лабораторных условиях образцов-плит дорожно-строительных материалов заданного состава (рисунок 2).

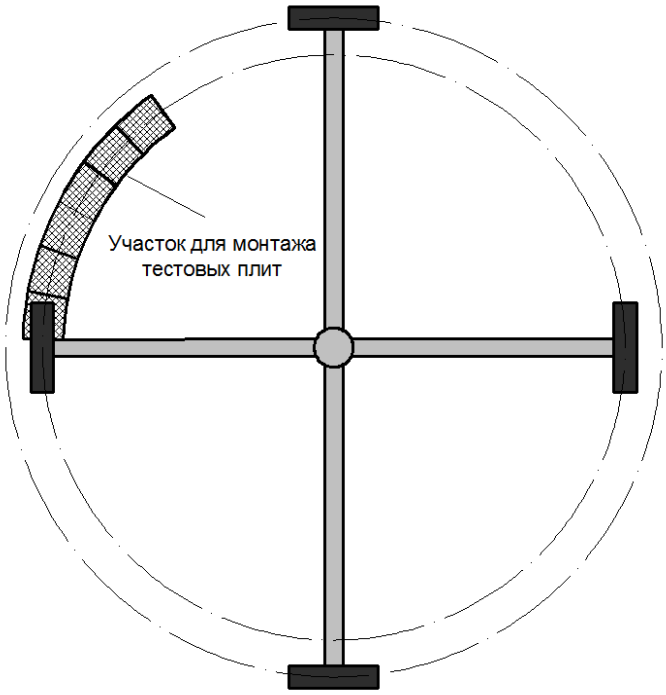

Рис. 2. *Расположение участка для тестовых образцов*

Методика проведения испытаний по данному способу заключается в следующем. Образцы заданного состава в виде плит размером 305x305x80 мм получают путём уплотнения материала в специальной форме на секторном прессе Росдортех ПС-3С (рисунок 3). Механизм уплотнения, применяемый в данном прессе, схож по принципу с дорожным катком и позволяет получить ровную поверхность образца. Кроме образцов плит, из смеси изготавливают партию стандартных образцов-цилиндров для определения основных показателей по ГОСТ.

а) б)

Рис. 3. *а) Пресс секторный ПС-3С б) Форма с уплотненным образцом*

Через сутки после формовки измеряется плотность полученного образца. Также определяются основные физические свойства смеси на образцах-цилиндрах. Таким образом, параметры и толщина образца-плиты отвечают требованиям к верхнему слою дорожного покрытия. Затем осуществляет монтаж и фиксация изготовленных плит на участке комплекса КУИДМ-2. При такой технологии представляется возможность изготовления и любого

количества образцов материалов без необходимости выполнять фрезеровку предыдущего варианта покрытия.

а) б)

Рис. 4. *Испытание образцов на комплексе КУИДМ-2*

В процессе испытания выполняется взвешивание образца до помещения в зону качения колеса, затем осуществляется требуемое количество проходов колеса при заданной скорости. После этого выполняется демонтаж образца и его повторное взвешивание, что позволяет оценить износ, вызванный автомобильным колесом (рисунок 5).

Рис. 5. *Взвешивание образца*

Были выполнены испытания по определению влияния массы шипа на износ покрытия. Для экспериментов по разработанной технологии были изготовлены образца на основе щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси типа ЩМА-20. Изготовленные образцы подвергались воздействию 1000 проходов колес комплекса КУИДМ-2, оборудованных стандартной резиной при скорости движения 80 км/ч. Результаты приведены на рисунке 5.

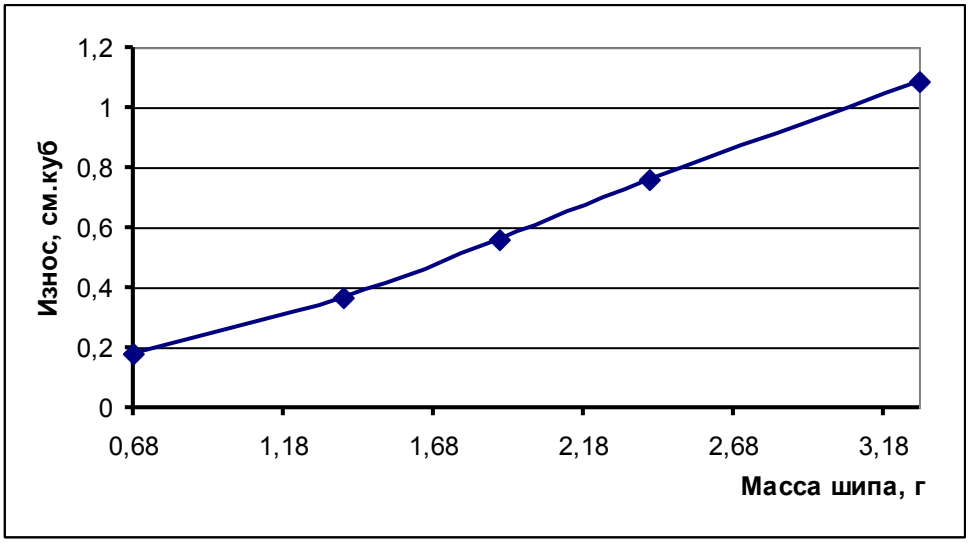

Рис. 5. *Зависимость износа покрытия от массы шипа*

Из графика видно, что зависимость износа асфальтобетонного образца от массы шипа носит практически линейный характер. Этим явлением обусловлен и опыт зарубежных исследователей, чьи эксперименты послужили основой для законодательного ограничения массы шипа в США.

Также была проведено сравнение глубина износной колеи, получаемой при использовании стандартной и шипованной резины. Применялась, как и в предыдущем эксперименте смесь ЩМА-20, скорость движения 80 км/ч, масса шипа 1,9 г, измерения глубины колеи выполнялись после каждой тысячи проходов колеса. Результаты представлены на рисунке 6.

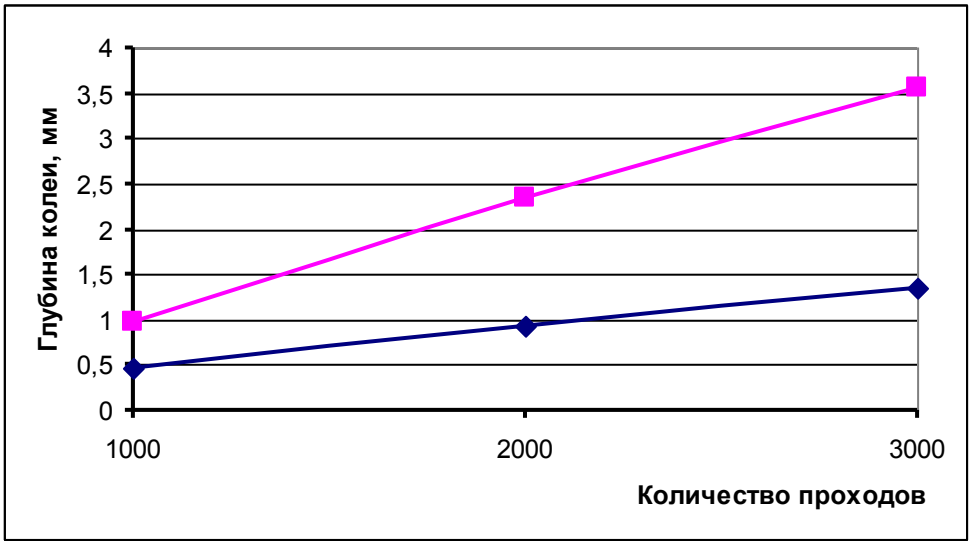

Рис. 6. *Зависимость глубины колеи от количества проходов колеса*

Результаты подтверждают способность шипованной резины приводить к более интенсивному колееобразованию. Разработанная методика изготовления и испытания образцов показывает эффективность применения комплекса КУИДМ-2 для выполнения испытаний по определению устойчивости строительных материалов к износному колееобразованию. Данный метод позволяет не только в кратчайшие сроки провести

испытание большого количества составов, но и избежать значительных затрат на фрезеровку верхнего слоя покрытия и последующую укладку испытуемого материала.

Основываясь на выполненных экспериментах, сделаны следующие выводы:

- колейность дорожного покрытия определяется рядом факторов, среди которых важное место занимает процесс износа, вызываемого контактом колеса с покрытием;
- по данным зарубежных исследований, применение шипованной резины значительно усиливает износ дорожного покрытия;
- существующие методы и оборудование для лабораторных испытаний дорожно-строительных материалов на колееобразование обладают значительным недостатком в виде невозможности обеспечения высокой скорости движения колеса по образцу;
- разработанный в МАДИ метод испытания материалов на колееобразование позволяет выполнять стойкость материала в условиях реальных нагрузок и скоростей, при этом возможна оперативная замена испытуемых образцов;
- установлено, что наряду со скоростью движения, важным фактором, влияющим на износ, является масса шипа;
- выполненные по разработанной методики испытания подтверждают усиленное износное колееобразование при использовании шипованной резины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормативно-методическое обеспечение развития инновационной деятельности в дорожном хозяйстве / Аржанухина С.П., Сухов А.А., Кочетков А.В. // Инновации. 2011. № 7. С. 82-85.

2. Формирование научно-инновационной политики дорожного хозяйства / Сухов А.А., Карпеев С.В., Кочетков А.В., Аржанухина С.П. // Инновационная деятельность. 2010. № 3. С. 41.

3. Состояние нормативного обеспечения инновационной деятельности дорожного хозяйства / Аржанухина С.П., Сухов А.А., Кочетков А.В., Карпеев С.В. // Качество. Инновации. Образование. 2010. № 9. С. 40.

4. Статистические методы контроля качества при производстве цементобетона и цементобетонных смесей / Васильев Ю.Э., Полянский В.Г., Соколова Е.Р., Гарибов Р.Б., Кочетков А.В., Янковский Л.В. // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. С. 101.

5. Шероховатые поверхности: нормирование, проектирование и устройство / Кочетков А.В., Суслиганов П.С. // Автомобильные дороги. 2005. № 1. С. 54.

6. Совершенствование структуры отраслевой диагностики федеральных автомобильных дорог / Аржанухина С.П., Кочетков А.В., Козин А.С., Стрижевский Д.А. // Интернет-журнал Науковедение. 2012. № 4 (13). С. 70.

7. Прямой метод оценки взаимодействия колеса транспортного средства и неровностей дорожного покрытия / Кочетков А.В., Беляев Д.С., Шашков И.Г. / Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 4 (17). С. 38.

8. Диагностика и паспортизация элементов улично-дорожной сети системой видеокомпьютерного сканирования / Васильев Ю.Э., Беляков А.Б., Кочетков А.В., Беляев Д.С. // Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 3 (16). С. 55.

9. Мозговой, В. В. Экспериментальная оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колейности / В. В. Мозговой, А. Н. Онищенко и др. //Дорожная техника и технологии: каталог-справочник / ООО «Славутич». - СПб, 2010. - С. 114-128.

10. Леванчук А. В. Загрязнение окружающей среды продуктами эксплуатационного износа автомобильных дорог // Интернет-журнал «Науковедение». 2014 №1 (20) [Электронный ресурс]. - М. 2014. – Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/102TVN114.pdf, свободный – Загл. с экрана.

11. Чернов С. А., Чирва Д. В., Леконцев Е. В. Влияние полимерно-битумного вяжущего на процессы колееобразования в верхних слоях покрытий автомобильных дорог // Интернет-журнал «Науковедение». 2012 №4 (13) [Электронный ресурс]. - М. 2012. – Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/87trgsu412.pdf, свободный – Загл. с экрана.

12. Износ дорожного покрытия при взаимодействии его с шипованными шинами. Suvanto Erkki / Nastaisku ja tien kuluminen Trisologia. 1991. 10, № 2, с. 4-46, 63. Фин.; рез. Англ.

13. Беляев Н. Н. Под прицелом - шипованные шины. - Автомобильные дороги. № 5, 2014. С. 58-61.

14. Jason P. Tremblay M.S., Jennifer M. V. Fitch P.E. Impacts of Studded Tires on Pavement and Associated Socioeconomics Final Report // Federal Highway Administration Division Office Federal Building Montpelier, VT 05602 - February 2011

15. Zubeck, H.; Aleshire, L.; Porhola, S.; Larson, E. 2004. Socio-Economic Effects of Studded Tire Use in Alaska. Alaska: University of Alaska Anchorage. 159 p.

16. Артемьев М. И., Кирюхин Г. Н., Мястовский В. И., Черкасов А. В. Определение характеристик сдвигоустойчивости асфальтобетона на машине для испытания материалов ИП 5150 – 50. // Автомобильные дороги. - 2002.-№ 3. С. 32 – 34.

17. J. Perret, A.-G. Dumont, J.-C. Turtschy. Assessement of resistance to rutting of high modulus bituminous mixtures using fullscale accelerated loading tests. 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress Vienna 2004. - Paper 208.

18. Штефан Ю. В., Васильев Ю. Э., Беляков А. Б., Панарин Г. А. Модернизация кольцевого стенда «КУИДМ-2» для расширения спектра измеряемых параметров и ускорения испытаний // Интернет-журнал «Науковедение». 2013 №3 (19) [Электронный ресурс]. - М. 2013. – Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/108TVN613.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

19. Субботин И.В. Расширенная методика измерения шума для контроля качества автомобильной резины // Интернет-журнал «Науковедение», 2014 №4 (23) [Электронный ресурс]. - М.: Науковедение, 2014. - Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/11TVN414.pdf, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.

20. Приходько В.М., Васильев Ю.Э., Юмашев В.М. Испытательный комплекс для исследования физико-механических характеристик дорожных покрытий (варианты), Кольцов В.И., Борисов Ю.В., Борисов В.М., Борисевич В.Б., Шкатулов И.П., Воейко О.А., Стесин С.П. патент на полезную модель RUS 96657 04.03.2010

21. Васильев Ю.Э., Приходько В.М. К вопросу обеспечения качества дорожных покрытий // Строительные материалы. - 2011. № 10. С. 45.

Рецензент: Кокодеева Наталия Евсегнеевна, д.т.н., профессор кафедры, «Транспортное строительство» Саратовского государственного, технического университета имени Гагарина Ю.А., академик транспорта; Ермолаева Вероника Викторовна, к.т.н., доцент СГТУ, секретарь Поволжского отделения Российской академии транспорта.

Yuri Vasiliev
Moscow Automobile And Road Construction State Technical University (MADI)
Russia, Moscow
vashome@yandex.ru

Andrey Ivachev
Moscow Automobile And Road Construction State Technical University (MADI)
Russia, Moscow
ivachevandrei@mail.ru

Ilya Bratishev
Moscow Automobile And Road Construction State Technical University (MADI)
Russia, Moscow
ilya_bratishev@mail.ru

Research of road building materials wear rutting resistance in near working conditions

Abstract. There are considered road building materials wear rutting resistance at field conditions testing necessity and feasibility. The reason of wear rutting is studied. Motorization gain influence on rutting is described. Rutting effecting factors are studied. Studded tire influence on increased pavement wear is considered. Foreign researches of studded tires effect on pavement wear are studied, known solutions are described. Rutting direct test methods are studied. There are designed two groups of methods – laboratory and field testing methods. Advantages and disadvantages of methods are studied. It is revealed that the wheel speed while moving on sample surface is the general factor affecting rutting intensity. There is concluded expediency of field testing methods. For studded tires rutting test performance there was researched a method for producing samples in laboratory conditions and followed test with use of road building materials rapid testing complex. Experiment conditions are described. Field test results are considered, studded tire effect on rutting is proved. There is concluded developed method possibility for material rutting testing.

Keywords: roads; road pavement; asphalt concrete; rutting; wear; test methods; laboratory methods; test complex; load; speed; studded tire.

REFERENCES

1. Normativno-metodicheskoe obespechenie razvitija innovacionnoj dejatel'nosti v dorozhnom hozjajstve / Arzhanuhina S.P., Suhov A.A., Kochetkov A.V. // Innovacii. 2011. № 7. S. 82-85.
2. Formirovanie nauchno-innovacionnoj politiki dorozhnogo hozjajstva / Suhov A.A., Karpeev S.V., Kochetkov A.V., Arzhanuhina S.P. // Innovacionnaja dejatel'nost'. 2010. № 3. S. 41.
3. Sostojanie normativnogo obespechenija innovacionnoj dejatel'nosti dorozhnogo hozjajstva / Arzhanuhina S.P., Suhov A.A., Kochetkov A.V., Karpeev S.V. // Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie. 2010. № 9. S. 40.
4. Statisticheskie metody kontrolja kachestva pri proizvodstve cementobetona i cementobetonnyh smesej / Vasil'ev Ju.Je., Poljanskij V.G., Sokolova E.R., Garibov R.B., Kochetkov A.V., Jankovskij L.V. // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2012. № 4. S. 101.
5. Sherohovatye poverhnosti: normirovanie, proektirovanie i ustrojstvo / Kochetkov A.V., Susliganov P.S. // Avtomobil'nye dorogi. 2005. № 1. S. 54.
6. Sovershenstvovanie struktury otraslevoj diagnostiki federal'nyh avtomobil'nyh dorog / Arzhanuhina S.P., Kochetkov A.V., Kozin A.S., Strizhevskij D.A. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2012. № 4 (13). S. 70.
7. Prjamoj metod ocenki vzaimodejstvija kolesa transportnogo sredstva i nerovnostej dorozhnogo pokrytija / Kochetkov A.V., Beljaev D.S., Shashkov I.G. / Internet-zhurnal Naukovedenie. 2013. № 4 (17). S. 38.
8. Diagnostika i pasportizacija jelementov ulichno-dorozhnoj seti sistemoj videokomp'juternogo skanirovanija / Vasil'ev Ju.Je., Beljakov A.B., Kochetkov A.V., Beljaev D.S. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2013. № 3 (16). S. 55.
9. Mozgovoj, V. V. Jeksperimental'naja ocenka ustojchivosti asfal'tobetonnogo pokrytija k obrazovaniju kolejnosti / V. V. Mozgovoj, A. N. Onishhenko i dr. //Dorozhnaja tehnika i tehnologii: katalog-spravochnik / OOO «Slavutich». - SPb, 2010. - S. 114-128.
10. Levanchuk A. V. Zagrjaznenie okruzhajushhej sredy produktami jekspluatacionnogo iznosa avtomobil'nyh dorog // Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2014 №1 (20) [Jelektronnyj resurs]. - M. 2014. – Rezhim dostupa: http://naukovedenie.ru/PDF/102TVN114.pdf, svobodnyj – Zagl. s jekrana.
11. Chernov S. A., Chirva D. V., Lekoncev E. V. Vlijanie polimerno-bitumnogo vjazhushhego na processy koleeobrazovanija v verhnih slojah pokrytij avtomobil'nyh dorog // Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2012 №4 (13) [Jelektronnyj resurs]. - M. 2012. – Rezhim dostupa: http://naukovedenie.ru/PDF/87trgsu412.pdf, svobodnyj – Zagl. s jekrana.
12. Iznos dorozhnogo pokrytija pri vzaimodejstvii ego s shipovannymi shinami. Suvanto Erkki / Nastaisku ja tien kuluminen Trisologia. 1991. 10, № 2, s. 4-46, 63. Fin.; rez. Angl.
13. Beljaev N. N. Pod pricelom - shipovannye shiny. - Avtomobil'nye dorogi. № 5, 2014. S. 58-61.

14. Jason P. Tremblay M.S., Jennifer M. V. Fitch P.E. Impacts of Studded Tires on Pavement and Associated Socioeconomics Final Report // Federal Highway Administration Division Office Federal Building Montpelier, VT 05602 - February 2011

15. Zubeck, H.; Aleshire, L.; Porhola, S.; Larson, E. 2004. Socio-Economic Effects of Studded Tire Use in Alaska. Alaska: University of Alaska Anchorage. 159 p.

16. Artem'ev M. I., Kirjuhin G. N., Mjastovskij V. I., Cherkasov A. V. Opredelenie harakteristik sdvigoustojchivosti asfal'tobetona na mashine dlja ispytanija materialov IP 5150 – 50. // Avtomobil'nye dorogi. - 2002.-№ 3. C. 32 – 34.

17. J. Perret, A.-G. Dumont, J.-C. Turtschy. Assessement of resistance to rutting of high modulus bituminous mixtures using fullscale accelerated loading tests. 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress Vienna 2004. - Paper 208.

18. Shtefan Ju. V., Vasil'ev Ju. Je., Beljakov A. B., Panarin G. A. Modernizacija kol'cevogo stenda «KUIDM-2» dlja rasshirenija spektra izmerjaemyh parametrov i uskorenija ispytanij // Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2013 №3 (19) [Jelektronnyj resurs]. - M. 2013. – Rezhim dostupa: http://naukovedenie.ru/PDF/108TVN613.pdf, svobodnyj. – Zagl. s jekrana.

19. Subbotin I.V. Rasshirennaja metodika izmerenija shuma dlja kontrolja kachestva avtomobil'noj reziny // Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2014 №4 (23) [Jelektronnyj resurs]. - M.: Naukovedenie, 2014. - Rezhim dostupa: http://naukovedenie.ru/PDF/11TVN414.pdf, svobodnyj. – Zagl. s jekrana. - Jaz. rus., angl.

20. Prikhod'ko V.M., Vasiliev WE, Yumashev V.M. Test facility for the investigation of physical-mechanical characteristics of road surfaces (options), Koltsov V.I., Y. Borisov, V.M. Borisov, Borisevich V.B. have been, Shkatulov I.P., Vaako O.A., Stein S. p. patent for utility model RUS 96657 04.03.2010
21. Vasiliev WE, Prikhod'ko V.M. To the issue of quality assurance pavement // Building materials. - 2011. No. 10. C. 45.