электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

Комплексные исследования взаимодействия колеса с твердыми опорными поверхностями

 # 12, декабрь 2016

Захаров А. Ю.[1,*], Купреянов А. А.[1], Кулешов В. А.[1], Румянцев Е. О.[2]

УДК: 629.33

[1]Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
[2]ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»
*zakharov-al@mail.ru

Введение

В современном автомобилестроении идет непрерывное развитие технологий, в том числе ищутся пути улучшения сцепления колес с дорогой, вследствие чего появляется потребность измерения сцепных свойств колеса при различных условиях качения колесного движителя. Именно поэтому задача создания стенда «Грунтовой канал» с твердыми опорными поверхностями, имитирующими различные дорожные покрытия, актуальна на сегодняшний день. Такой стенд дает возможность определять коэффициенты сцепления колеса с дорогой при качении колеса по опорным основаниям с твердым покрытием. Помимо этого, необходимо, чтобы измеряемые параметры были близки к параметрам, получаемым в реальных условиях.

1. Краткий обзор существующих конструкций

Существует ряд подобных стендов. Все эти стенды дают возможность исследовать коэффициенты сцепления с опорными поверхностями, при прямолинейном качении колеса без увода. Ниже будут рассмотрены наиболее близкие по своему предназначению патенты.

На рис. 1 представлено изобретение под номером №1281960. Сцепные свойства колеса 1 с дорожным покрытием определяется при прокатывании его с помощью узла регистрации. Если при перемещении тележки 5 вдоль направляющих 14 колесо 1 проскальзывает по поверхности дорожного покрытия, это значит, что покрытие не удовлетворяет требуемым сцепным свойствам; если колесо прокатывается – удовлетворяет. Для определения сцепных свойств на различных участках дорог усилие на колесе регулируется поджатием пружины 10. Нормальная нагрузка на колесе задается с помощью грузов 21.

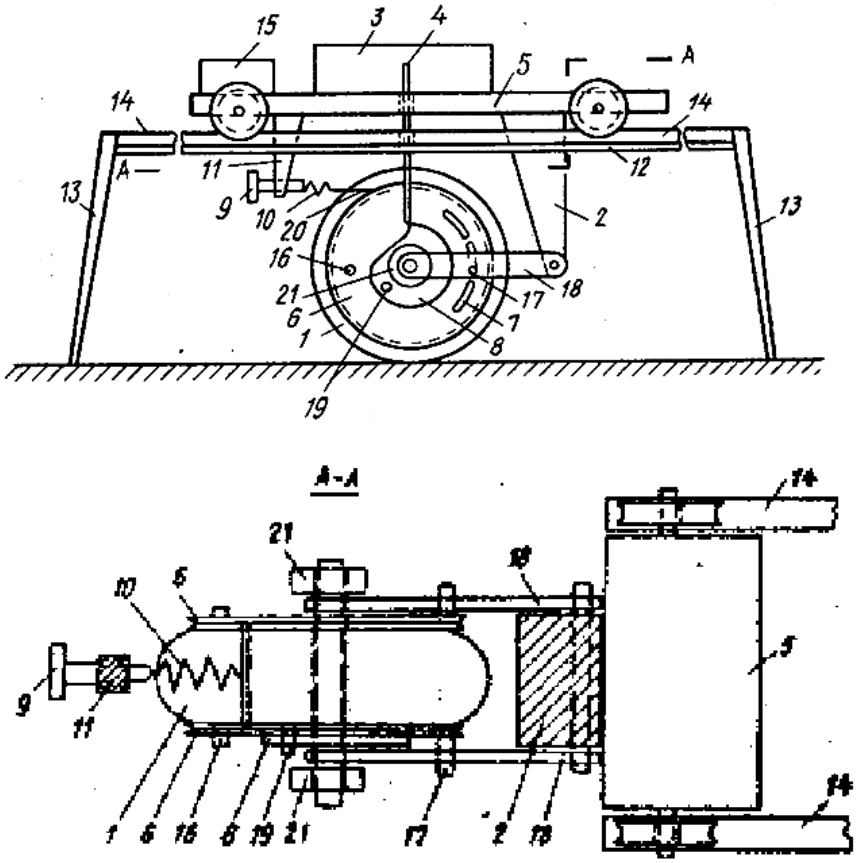


Рис. 1. Схема патента №1281960

Изобретение относится к испытательной технике, а именно к устройствам для определения сцепных свойств колеса с поверхностью дорожного покрытия.

Работает устройство следующим образом: пружина 10 создает окружное тяговое усилие Fпр на колесе 1, стремясь повернуть его в направлении действия силы пружины. При качении колеса на поверхности покрытия этому повороту препятствует сила трения Fтр=Pφ, где P – вертикальная нагрузка на ось, φ – коэффициент сцепления колеса с покрытием. В том случае, если Fпр < Fтр – колесо провернется. Таким образом, создав на пружине 10 соответствующее усилие, можно оценить, отвечает ли покрытие по своим сцепным свойствам требуемым. Если колесо проскальзывает, не отвечает – если прокатывается, отвечает. Это позволяет определить на поверхности покрытия зоны, отвечающие требованиям по сцеплению.

В связи с тем, что в соответствии с действующими требованиями на дорогах допустимы три предельных величины коэффициента сцепления – для легких, затрудненных и опасных условий движения, в устройстве предусмотрена фиксация испытательного колеса соответственно в трех положениях, каждому из которых соответствует свое положение пружины.

На рис. 2 представлено изобретение под номером №1437723. На опорном столе 1 установлен испытываемый колесный движитель, по оси которого шарнирно установлены жестко соединенные между собой вертикальные стержни 20 с грузами 23 и продольные

брусья. Продольные брусья посредством поперечного бруса связаны с динамометром 9, соединенным с опорной стойкой 13. На оси установлен ведомый барабан, связанный канатом 18 с ведущим барабаном. При вращении ведущего барабана в канате 18 создается усилие, приводящее во вращение колесный движитель. Динамометр регистрирует развиваемое колесным движителем тяговое усилие. По результатам измерения определяют коэффициент сцепления колесного движителя на данном типе дорожного покрытия.

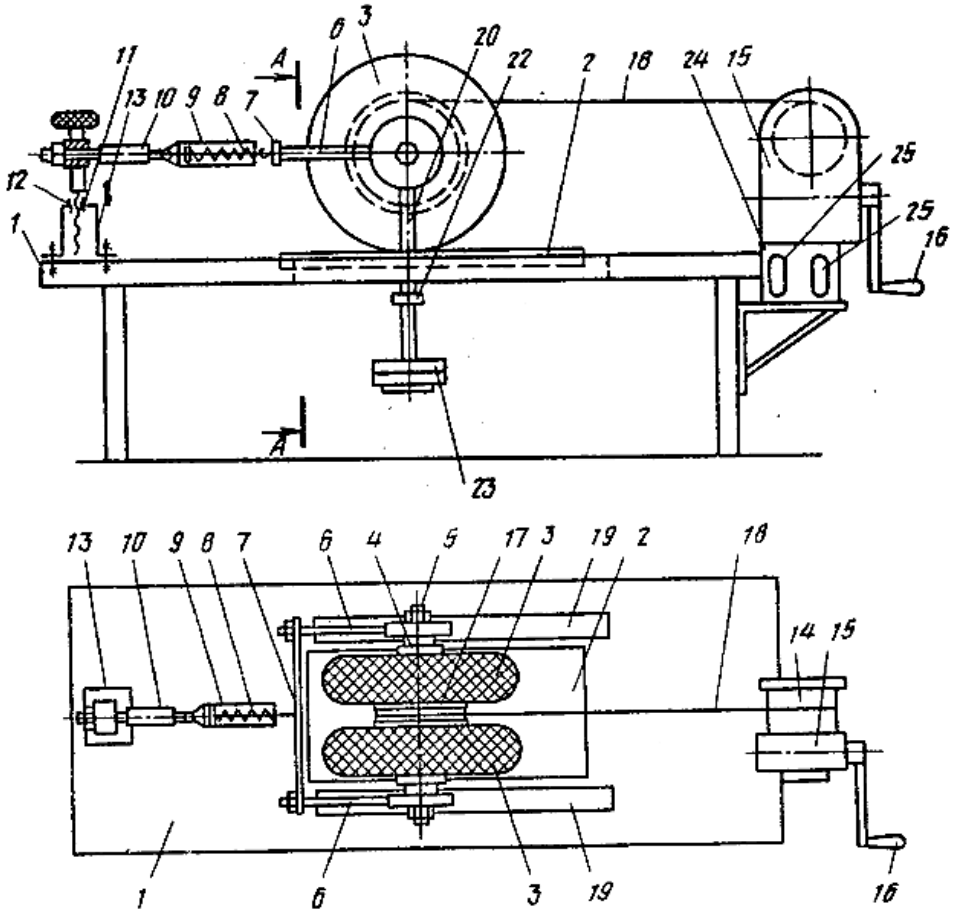


Рис. 2. Схема патента №1437723

Изобретение относится к испытательной технике и может быть использовано при исследованиях тягово-сцепных свойств колесного движителя на различных типах дорожного покрытия.

Стенд содержит опорный стол 1 с имитатором 2 дорожного покрытия в виде плит, выполненных из различного материала. На имитаторе 2 дорожного покрытия установлен испытываемый колесный движитель, включающий два колеса 3, закрепленных гайками 4 на оси 5. С помощью винта 11 и вертикальных пазов 25 устанавливают параллельность между поверхностью имитатора 2 дорожного покрытия и продольными брусьями 6 и канатом 18. С помощью рукоятки 16 и червячного редуктора 15 ведущий барабан 14 приводят во вращение. Возникающее в канате 18 усилие создает на ведомом барабане 17 и, соответственно, на колесах 3 крутящий момент, под действием которого колеса 3 перекатываются по поверхности имитатора 2 дорожного покрытия, при этом создается тяговое со-

противление, регистрируемое динамометром. По мере возрастания усилия в канате 18 увеличивается крутящий момент, прикладываемый к колесам 3 и, соответственно, тяговая нагрузка, прикладываемая к оси 5 колесного движителя, что приводит к увеличению буксования в процессе перекатывания колесного движителя. При определенном усилии в канате 18 поступательное движение оси 5 прекращается, при этом сматывание каната 18 с ведомого барабана 17 па ведущий барабан 14 происходит при полном буксовании колесного движителя. По показаниям динамометра устанавливают величину тягового усилия, развиваемого колесным движителем на данном типе дорожного покрытия и заданной вертикальной нагрузке при полном буксовании. По результатам измерений по известным зависимостям определяют коэффициент сцепления колесного движителя с дорожным покрытием, Опыты проводят при различной массе грузов 23. По результатам измерений определяют зависимость максимального тягового усилия и коэффициента сцепления колесного движителя на данном типе дорожного покрытия от вертикальной нагрузки, приложенной к оси колесного движителя.

Таким образом, в предлагаемом стенде при исследовании тягово-сцепных свойств обеспечивается приложение крутящего момента непосредственно к колесам движителя, а тягового сопротивления – к оси движителя, что повышает точность воспроизведения эксплуатационных режимов работы колесного движителя.

Помимо похожих изобретений, приведенных выше, существуют стенды, имеющие сходства с разрабатываемым.

2. Описание конструкции стенда

При создании стенда «Грунтовой канал» с возможностью исследования режимов качения колеса с уводом была поставлена цель размещения трех типов опорной поверхности (асфальт, грунт и лед) рядом друг с другом для возможности быстрой смены исследуемой поверхности.

Таким образом была разработана концепция стенда с динамометрической тележкой и тремя исследуемыми поверхностями.

Динамометрическая тележка предназначения для установки на ней испытуемого колеса, датчиков, регистрирующих изменение исследуемых параметров, и тягового агрегата, создающего крутящий момент, она состоит из: несущей рамы 1 с вертикальными стойками 2, тяговым агрегатом 3, линейными направляющими 4 и опорными роликами 5, регулируемых по высоте.

На оси коробки крепления тягового агрегата на подшипниках качения крепится качающаяся поворотная рама 6 с опорами 7 тензооси 8. Тензометрическая ось установлена в опорах качающейся рамы на подшипниках качения. К фланцу оси крепится испытуемый колесный движитель 9. На ведущем конце тензооси, на шпонке установлена звездочка 10, которая посредством цепной передачи 11 передает крутящий момент от тягового агрегата 3. Передаточной отношение i = 1.

Вертикальная нагрузка на колесный движитель создается набором плоских грузов, а качающаяся рама разгружается от собственного веса противовесом 12. На динамометрической тележке и направляющих рельсах установлены специальные датчики определения различных параметров 13. Тормозной момент осуществляется в обратном направлении от подводимого также с помощью цепной передачи на тензометрической оси. На корпусе 14 установлен датчик с платой Arduino, которые передают сигнал от тензодатчиков, наклеенных на тензооси и замеряющих сопротивление, на компьютер через Bluetooth. В ведомом режиме тележка прокатывается при помощи тягового агрегата 15.

Тяговый агрегат 3, а также датчики запитываются через аккумулятор 16.

Смена опорных поверхностей 17 происходит за счет перекатывания их в поперечном направлении при помощи специальных роликов.

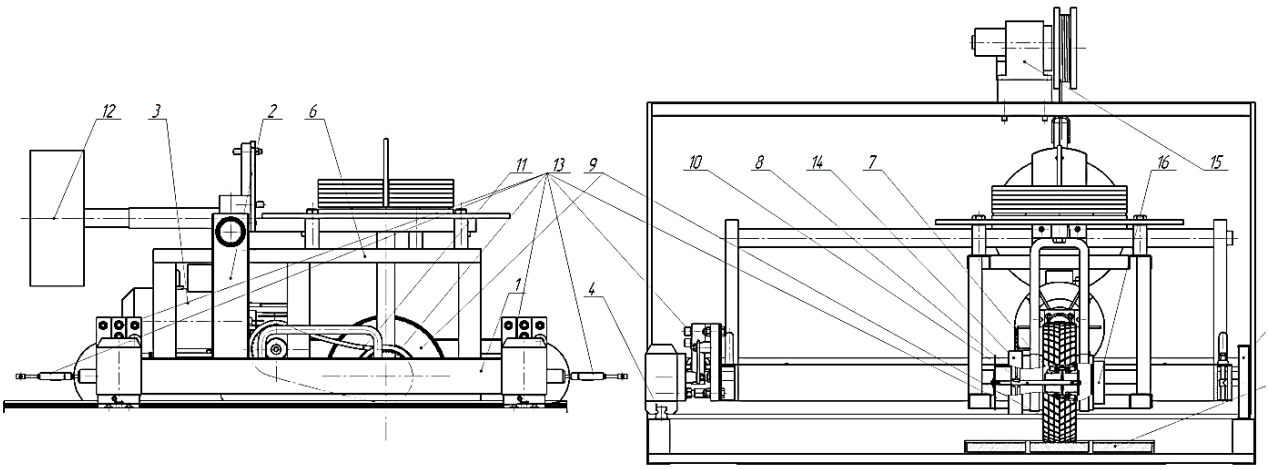


Рис. 3. Схема стенда «Грунтовой канал»

Принципиальным отличием разрабатываемого стенда является возможность регулирования углов поворота и развала колеса. Меняя углы установки колеса, возможно создать боковые реакции и сымитировать реальное качение колеса с уводом.

Для измерения боковых реакций было решено использовать весовой модуль, представленный на рис. 4. Такой модуль позволяет замерять только поперечную силу в пятне контакта, возникающую от увода колеса. Тензорезисторные датчики являются основным измерительным элементом электронной весоизмерительной техники, которая используется компаниями с различной спецификой деятельности для получения точного значения веса грузов. Принцип действия датчиков основан на преобразовании приложенной к ним механической силы в пропорциональный электрический сигнал. Весовой модуль универсален: габаритные и присоединительные размеры тензодатчиков идентичны как у отечественных, так и у зарубежных производителей, что позволяет в случае выхода из строя заменить датчик на аналогичный от другого производителя.

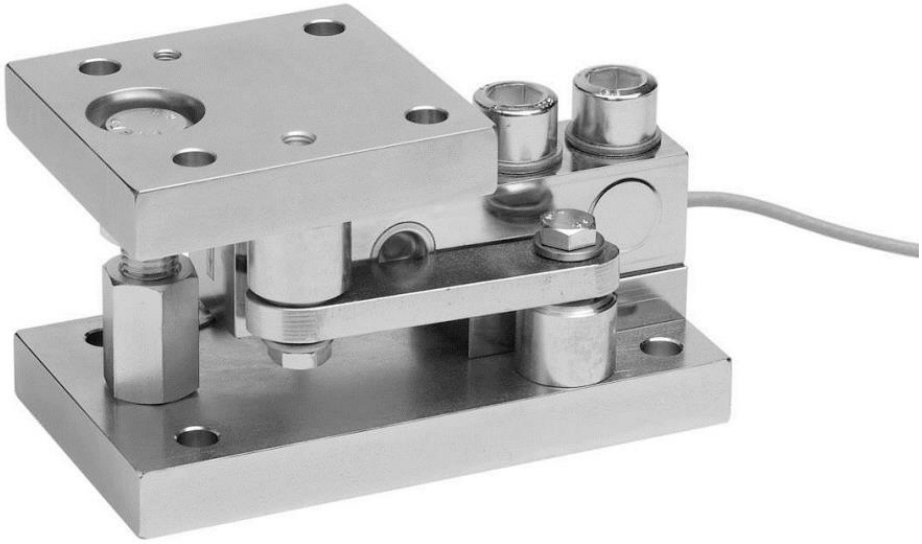


Рис. 4. Весовой модуль HLC/MLB 220

Технические особенности весового модуля HLC/MLB 220:

- Оснащен датчиком HLCB класса D1, сертифицированным для коммерческого применения согласно OIML R60;
- Компактная конструкция при минимальной высоте;
- Оснащен защитой от бокового перемещения (анкером);
- Самоустанавливающийся благодаря маятниковой опоре;

На данном весовом модуле стоит консольный (балочный) тензорезисторный датчик. Датчики такого типа представляют собой консольную балку и используются в платформенных весах, а также в различном технологическом и дозирующем оборудовании. Принцип действия консольных датчиков основан на преобразовании механической деформации сдвига в пропорциональный электрический сигнал.

3. Выбор материала, имитирующего лед

На разрабатываемом стенде «Грунтовой канал» расположено три различных опорных основания: асфальт, утрамбованный грунт и лед. Имеется возможность передвигать опорные основания, чтобы колесный движитель взаимодействовал с определенной опорной поверхностью. Большинство своего времени автомобиль находится на асфальте, если эксплуатируется в городских условиях. За городом колесо может взаимодействовать с грунтом, поэтому также необходимо получать параметры качения по такому опорному основанию. Исследование взаимодействия шины с поверхностью, покрытой слоем льда, представляет особый интерес, поскольку в нашей стране в зимнее время движение автомобиля часто происходит по такой поверхности. Таким образом, необходимо иметь представление о поведении автомобиля на ледяной дороге.

Если опорные поверхности первых двух видов (асфальт и грунт) можно изготовить в лабораторных условиях, и они не будут менять своих сцепных характеристик длительное время, а вследствие этого повторяемость эксперимента будет гарантирована, то покрытие

в виде льда будет менять свои свойства даже в ходе проведения эксперимента, и исследования будут некорректны. Для того чтобы создать опорную поверхность, имитирующую лед и не меняющую своих свойств, необходимо подобрать такой материал, коэффициент сцепления которого с резиной соответствует коэффициенту сцепления льда с материалом шины. Для этого было выполнено исследование шести образцов из разных материалов (рис. 5) и выбран наиболее близкий по сцепным свойствам образец.

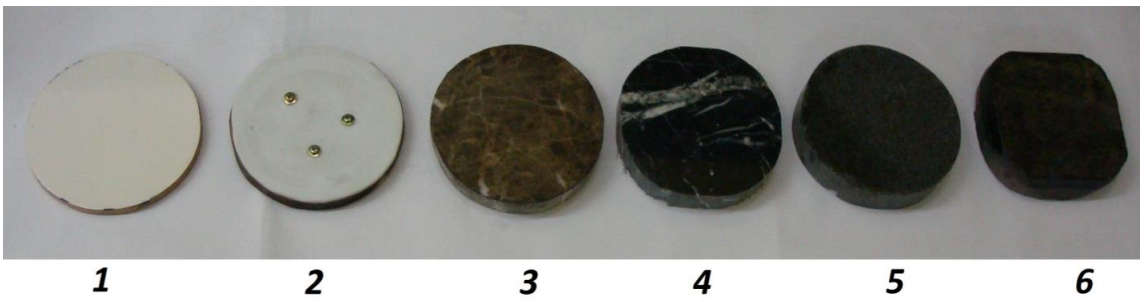


Рис. 5. Образцы поверхностей:
1) Кафельная плитка; **2**) Фторопласт; **3**) Мрамор коричневый; **4**) Мрамор черный; **5**) Гранит; **6**) Базальт

Рассмотрим преимущества и недостатки данных материалов.

Первым образцом был образец из кафельной плитки. К преимуществам образца из такого материала относится его дешевизна и доступность. Минусами этого материала является то, что такая поверхность может оказаться недостаточно прочной при критических нагрузках от колеса на стенде, что может привести к разрушению поверхности; а также обычно кафельная плитка бывает недостаточно больших размеров для габаритов стенда, поэтому по длине поверхности в собранном виде на стенде неизбежны зазоры, что в свою очередь может привести к погрешностям измерений.

Вторым образцом для испытания был выбран образец из фторопласта. Его плюсами является его высокая прочность вследствие сильной связи атомов фтора и углерода и возможность закрепления одной пластины на стенд, что не приведет к появлению зазоров. А недостатком является высокая степень истирания.

Третьим образцом для испытания был выбран образец из коричневого мрамора. К плюсам мрамора можно несомненно отнести то, что он легко поддается полировке и шлифовке, он достаточно прочный натуральный камень, а также долговечный. Но минусом такого камня является его высокая стоимость.

Четвертым образцом для испытания был выбран образец из черного мрамора. Его плюсы и минусы будут такие же, как у коричневого мрамора.

Пятым образцом для испытания был выбран образец из гранита. К плюсам гранита относится так же, как и для мрамора, его высокая прочность, но гранит, по сравнению с мрамором, примерно в 2 раза прочнее. Но недостатком гранита также является его высокая стоимость.

Шестым и заключительным образцом для испытания был выбран образец из базальта. К преимуществам базальта относится его низкая стоимость, высокая устойчивость материала к деформациям, что обеспечивает высокую прочность и длительный срок эксплуа-

тации. Недостатком такого материала является то, что его изготавливают не сплошным, а плитками, что повлечет за собой появление больших зазоров и, как следствие, больших погрешностей.

Для определения коэффициентов взаимодействия материала автомобильной шины с опорным основанием, имитирующим лед, были проведены замеры на лабораторной установке трения УТУ-3, которая показана на рис 6. Так как при имитации поверхности льда надо создать минимальный коэффициент сцепления, то исследования проводились как на сухих, так и на смоченной водой поверхностях исследуемых образцов.

Установка УТУ-3 представляет из себя конструкцию, которая состоит из электродвигателя, редуктора, передающего крутящий момент на вращающийся диск и вращающегося диска на который помещается исследуемый образец. Сверху к образцу прижимается эластомер (из кусочка автомобильной шины). Усилие прижатия регулируется прижимным винтом с пружиной. Прижимное усилие в виде нормальной нагрузки может регулироваться, как и частота вращения диска с образцом. Такая возможность реализована для того, чтобы анализировать, как меняются свойства при изменении вертикальной нагрузки и скорости вращения образца. Выходные параметры, в виде линейной нагрузки, считываются при помощи тензодатчика, а затем передаются на компьютер.



Рис. 6. Установка УТУ-3

По результатам исследований были получены значения коэффициентов сцепления, в таблице 1 представлены средние значения этих коэффициентов для каждого образца в сухом и смоченном водой виде.

Таблица 1. Значения коэффициента сцепления

Материал	Значение коэффициентов сцепления	
	В сухом виде	**В смоченном виде**
Кафельная плитка	0,809	0,097
Фторопласт	0,327	0,271
Мрамор коричневый	0,993	0,705
Мрамор черный	0,897	0,535
Гранит	1,086	0,475
Базальт	0,758	0,282

Заключение

В результате полученных экспериментальным путем данных образец из кафельной плитки, предназначенный для облицовки стен, оказался ближе всего ко льду по своим свойствам при качении колеса в смоченном водой состоянии. Наименее подходящим образцом оказался гранит.

Из природных камней наименьшим коэффициентом трения скольжения обладает базальт (он применяется на полигоне НАМИ для создания условий движения по скользкой дороге), но в связи с относительно малыми нагрузками, в разрабатываемом стенде мы можем использовать поверхность из кафельной плитки. Она позволит на стенде обеспечить максимально близкие условия движения колеса, соответствующие движению по обледенелой дороге.

Список литературы

[1]. Гладов Г.И., Петренко А.М. Специальные транспортные средства. Испытания. Учебник для вузов / под ред. Г.И. Гладова. М.: ООО «Гринлайт+». 2010. 384 с.

[2]. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. Учебник для вузов. М.: Машиностроение. 1989. 240 с.

[3]. ГОСТ Р 52302-2004. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний. Введ. 2006-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов. 2005. 31 с.

[4]. Петрушов В.А. Автомобили и автопоезда: Новые технологии исследования сопротивлений качения и воздуха. М.: Торус пресс. 2008. 352 с.

[5]. Прокопьев М.В., Наймушин Е.Ю. Экспериментальное определение коэффициента сопротивления качению у легковых автомобилей. // Прогресс транспортных средств и систем – 2009. Сборник докладов конференции (Волгоград, 13-15 октября 2009 г.). В 2-х ч. Ч. 1. Волгоград. 2009.

[6]. Потапов А.С. Динамический метод диагностирования противобуксовочных систем автотранспортных средств на стендах с беговыми барабанами: дис. … канд. техн. наук. Иркутск. 2011. 260 с.

[7]. Кнороз В.И. Работа автомобильной шины. М.: Транспорт. 1976. 238 с.
[8]. Дик А.Б. Расчет стационарных и нестационарных характеристик тормозящего колеса при движении с уводом: дис. … канд. техн. наук. Омск: САДИ. 1988. 224 с.
[9]. Рождественский Ю.Л., Машков К.Ю. О формировании реакций при качении упругого колеса по недеформируемому основанию // Труды МВТУ им. Н.Э. Баумана. 1982. № 390. С. 56–64.
[10]. Pacejka H.B. Tire and Vehicle Dynamics. 3rd Edition. Butterworth-Heinemann, Elsevier. 2012. 629 p.
[11]. Pacejka H.B. Tyre and Vehicle Dynamics. Butterworth-Heinemann. 2005. 642 p.
[12]. Контрольно-измерительная и Весовая Техника. Режим доступа: http://www.hbm.ru/catalog/tenzodatchiki-vesa/vesoizmeritelnyy-modul-hlc-m/ (дата обращения 15.10.2016).