

ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА

УДК 629.3.027; 629.3.032

С. Б. Манфановский, А. А. Енаев

КОЛЕСНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ С ВНУТРЕННИМ ПОДРЕССОРИВАНИЕМ И ОСНОВЫ ЕГО ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Рассматривается конструкция колеса с внутренним подрессориванием. Предлагаемая конструкция позволит повысить плавность хода транспортного средства. Также представлена математическая модель колеса с внутренним подрессориванием и оборудование для его испытаний.

Ключевые слова: внутреннее подрессоривание, движитель, плавность хода, испытания, математическая модель.

С момента изобретения колеса его конструкция претерпела многочисленные изменения, но на настоящий момент конечный продукт, который удовлетворял бы всем современным эксплуатационным требованиям, так и не был получен.

Одним из таких требований является плавность хода транспортного средства. Плавность хода обеспечивает сохранность перевозимого груза и комфортабельность водителя и пассажиров транспортного средства во время его движения.

Повышение плавности хода транспортного средства особенно важно в российских условиях эксплуатации. Характерной особенностью дорожной сети России является большая протяженность дорог с неровной поверхностью. Движение транспортного средства по таким дорогам сопровождается непрерывными колебаниями, которые оказывают вредное воздействие на водителя, пассажиров и перевозимые грузы, ухудшают условия работы агрегатов и узлов. Известно, что при эксплуатации транспортного средства на дорогах с неровной поверхностью уменьшается средняя скорость движения и межремонтный пробег, увеличивается расход топлива и возрастает себестоимость перевозок по сравнению с соответствующими показателями при работе на ровных дорогах (Ротенберг, 1972).

Интенсивность возникающих колебаний определяет плавность хода транспортного средства. Высокие требования к плавности хода определяют необходимость поиска новых путей совершенствования колебательных систем транспортных средств.

Одним из таких путей является установка на транспортное средство колесных движителей с внутренним подрессориванием, содержащих пневматическую шину и раздельно выполненные ступицу и обод, соединенные между собой упругим элементом.

Известны конструкции упругих колес, ступица и обод которых соединены между собой упругими элементами.

В конструкции колес Tweel фирмы Michelin (Васильев, 2005) упругие элементы выполнены из полимерных материалов, что уменьшает массу и сопротивление качению колес, увеличивает коэффициент боковой жесткости и срок службы, а так же повышает плавность хода и безопасность движения.

Конструкции колес (Яценко, 1999) и (Енаев, 2002) имеют упругие элементы, которые для получения необходимых значений коэффициентов радиальной и боковой жесткостей выполнены с переменными по ширине и толщине сечениями.

В конструкциях колес (Енаев, 2002) и (Мазур, 2004), для уменьшения массы и сопротивления качению, увеличения срока их службы и повышения плавности хода транспортного средства, упругие элементы выполнены из полимерного композиционного материала.

Существует конструкция колеса повышенной эластичности (Сагов, 1980), содержащая ступицу, связанную с ободом упругими элементами. Упругий элемент выполнен из многожильного металлического троса, уложенного петлеобразно и закрепленного на ступице посредством охватывающих его втулок, а на ободе жестко.

Также существует колесо с внутренним подрессориванием (Енаев, 2012), упругие элементы которого в виде незамкнутых колец установлены с определенным напряжением относительно друг друга.

Недостатками данных колес с внутренним подрессориванием являются большие концентрации напряжений в местах крепления упругих элементов, недостаточную прочность, а, следовательно, и надёжность, как упругих элементов, так и упругих колес в целом.

На кафедре «Автомобили и автомобильное хозяйство» Псковского государственного университета был разработан колесный движитель, исключаящий указанные недостатки.

При разработке колеса с внутренним подрессориванием к нему предъявлялись следующие требования:

- простота конструкции и технологичность изготовления;
- соответствие коэффициентов нормальной и крутильной жесткостей параметрам транспортного средства;
- минимальная неравномерность коэффициента нормальной жесткости;
- минимальный боковой увод;
- минимальное биение и дисбаланс;
- минимальная масса и момент инерции;
- легкость монтажа и демонтажа пневматической шины;
- низкая трудоёмкость обслуживания.

На рисунке 1 показаны продольный и поперечный разрезы колеса с внутренним подрессориванием на плоскости.

Колесо с внутренним подрессориванием состоит из отдельно выполненных диска 1 и обода 2, соединенных упругим элементом 3, изготовленным из полимерного материала в виде замкнутого кольца прямоугольного поперечного сечения с торцевой перфорацией. На внешних гранях диска 1 и обода 2 имеются буртики 4, которые служат ограничителями, предотвращающими торцевое

перемещение упругого элемента, а так же фиксирующие сопряжения 5, которые предотвращают проскальзывание упругого элемента 3 относительно диска 1 и обода 2. На ободе 2 установлена пневматическая шина 6.

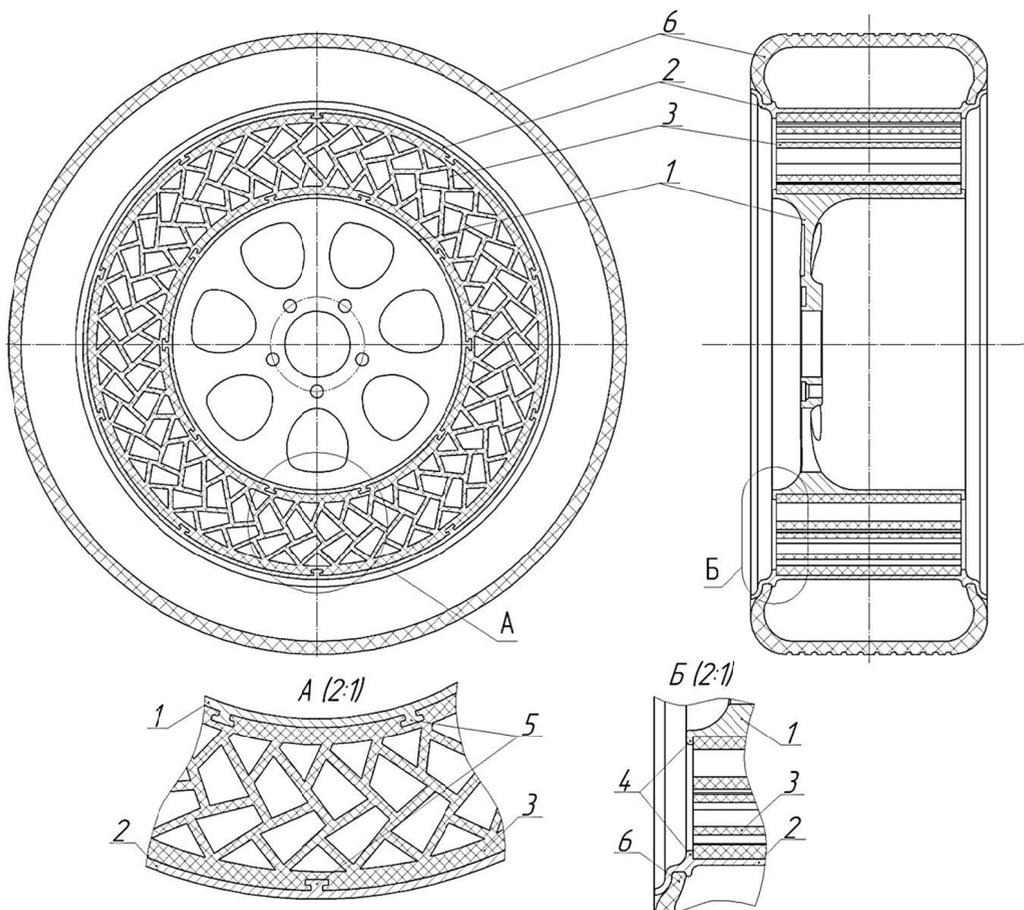


Рис. 1. Поперечный и продольный разрезы колеса с внутренним поддресориванием

Упругий элемент в виде замкнутого кольца с торцевой перфорацией установлен между диском и ободом колеса. Повышение прочности и надёжности, как упругого элемента, так и всего колеса достигается тем, что упругий элемент изготовлен из полимерного материала и представляет собой единое целое. Следует отметить, что при повреждении некоторого объёма упругого элемента, это не отразится на безопасности движения транспортного средства при его эксплуатации, благодаря конструктивной перфорации упругого элемента, которая по своему сечению может быть различной геометрии.

На рисунке 2 показаны общий вид и поперечный разрез колеса в изометрии.

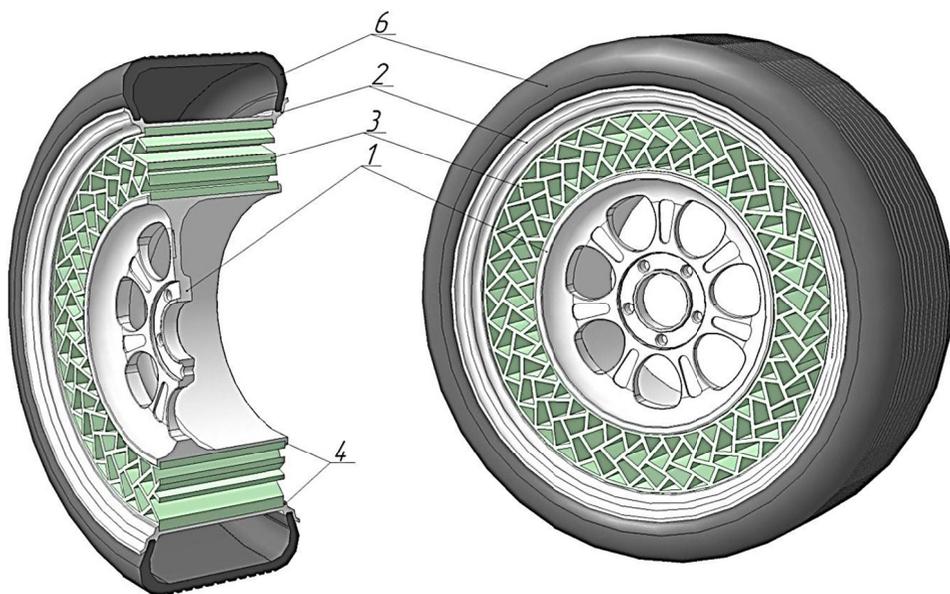


Рис. 2. Общий вид и поперечный разрез колеса в изометрии

Практический интерес представляет применение колес с внутренним поддрессированием на транспортных средствах, взамен подвески, что существенно упростит конструкцию ходовой части и уменьшит массу, как неподдрессоренных частей, так и всего транспортного средства в целом. Также данные колесные движители могут применяться на транспортных средствах с установленной на них подвеской, что увеличит плавность хода такого транспортного средства и уменьшит динамические нагрузки на агрегаты трансмиссии.

Использование полимерного материала при изготовлении упругого элемента значительно снизит массу и момент инерции колесных движителей с внутренним поддрессированием и увеличит срок службы, как пневматической шины, так и всего колеса в целом.

Для теоретических исследований колеса с внутренним поддрессированием была разработана математическая модель колебаний сосредоточенных на колесе, при составлении которой были приняты следующие допущения:

- эквивалентная колесу колебательная система приводится к системе с сосредоточенными массами и линейными характеристиками восстанавливающих и демпфирующих сил в функции деформаций и их производных для всех упругих элементов и демпферов;
- соприкосновение шины с опорной поверхностью происходит без отрыва в виде точечного контакта;
- в эквивалентной колебательной системе не учитываются такие внешние воздействия как сопротивление воздуха и «сопротивление» подъема.

На рисунке 3 представлена схема колебательной системы, эквивалентной колесу с внутренним поддрессированием. При её составлении сохранены изображения и обозначения принятые в теории плавности хода автомобиля.

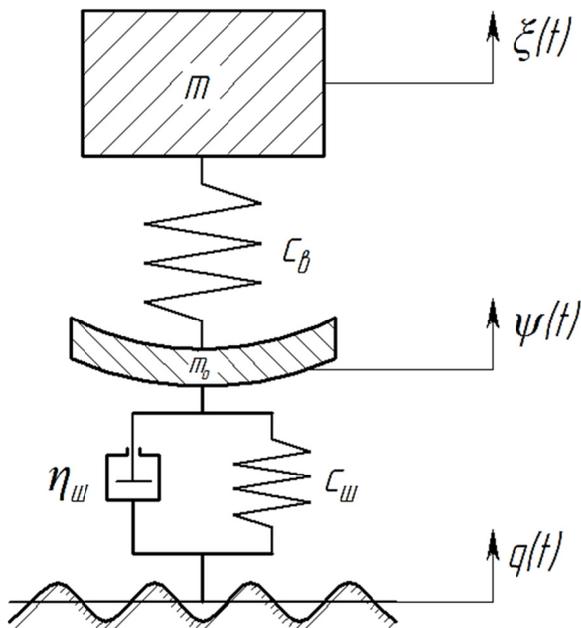


Рис. 3. Схема колебательной системы, эквивалентная колесу с внутренним подрессориванием

Так m — масса сосредоточенная на шине; $\xi(t)$ — текущие во времени вертикальные смещения массы сосредоточенной на шине; c_b — коэффициент нормальной жесткости внутреннего подрессоривания; m_o — масса обода колеса; $\psi(t)$ — текущие во времени вертикальные смещения массы обода колеса; c_w — коэффициент нормальной жесткости шины; η_w — коэффициент неупругого сопротивления шины; $q(t)$ — текущие во времени значения ординат микропрофиля дороги в контакте шины.

Как видно из схемы на массу сосредоточенную на колесе при колебаниях действуют силы:

- вертикальная инерционная сила массы, сосредоточенной на шине

$$P_{\text{и}} = m\ddot{\xi}; \quad (1)$$

- вертикальная сила упругого сопротивления внутреннего подрессоривания колеса

$$P_c^{\text{в}} = c_b(\xi - \psi); \quad (2)$$

- вертикальная инерционная сила массы обода колеса

$$P_{\text{и}}^{\text{о}} = m_o\ddot{\psi}; \quad (3)$$

- вертикальная сила неупругого сопротивления шины

$$P_{\eta} = \eta_w(\psi - \dot{q}); \quad (4)$$

- вертикальная сила упругого сопротивления шины

$$P_c^{\text{ш}} = c_w(\psi - q). \quad (5)$$

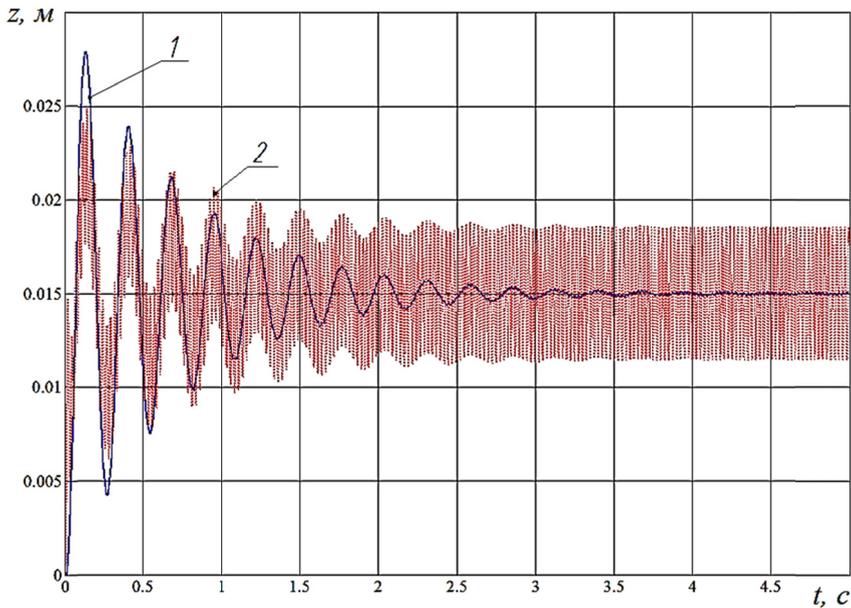
С учётом указанных сил уравнения описывающие вертикальные колебания масс m и m_o будут иметь следующий вид:

$$\begin{cases} m\ddot{\xi} + 2c_B(\xi - \psi) = 0 \\ 2m_0\ddot{\psi} + 2\eta_{ш}(\dot{\psi} - \dot{q}) + 2c_{ш}(\psi - q) - 2c_B(\xi - \psi) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Результаты решения системы дифференциальных уравнений с учётом представления неровной дороги в виде гармонического профиля, который описывается выражением $q = q_0(1 - \cos \omega t)$, для параметров и нагрузок, действующих на колесо, близких к параметрам и нагрузкам, действующим на легковой автомобиль малого класса, относительно перемещений ξ и ψ представлены на рисунке 4, 5 и 6.

Из рисунков видно, что:

- при увеличении коэффициента нормальной жесткости внутреннего поддрессоривания колеса на 45 % время затухания колебаний неподрессоренных масс уменьшается на 50 %;
- наименьшие перемещения масс сосредоточенных на колесе система имеет при частоте возмущающих колебаний свыше 200 с^{-1} .



1 — перемещения неподрессоренных масс;
2 — перемещения массы обода колеса

Рис. 4. Колебания масс сосредоточенных на колесе с внутренним поддрессориванием при проезде со скоростью 12,5 м/с неровности профилем $q = q_0(1 - \cos \omega t)$, с высотой неровности $2q_0 = 30 \text{ мм}$ и длиной $l_n = 50 \text{ мм}$

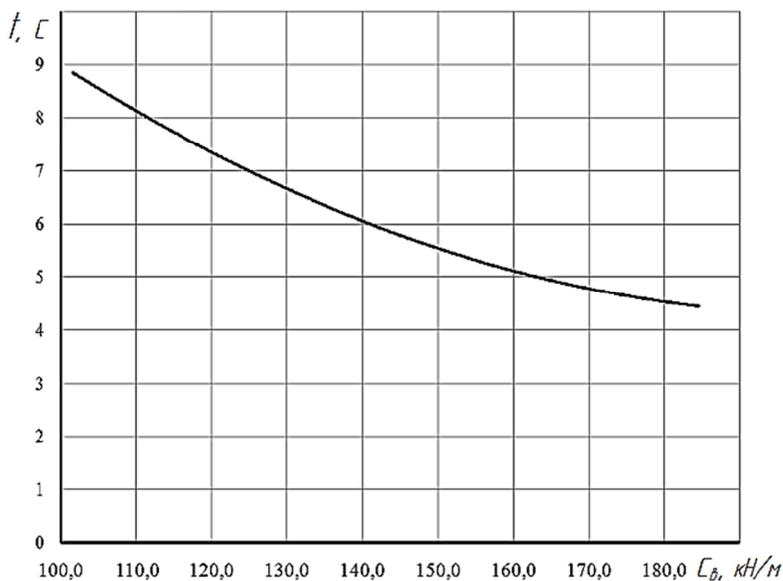


Рис. 5. Время затухания колебаний непрорессоренных масс, установленных на колесе, в зависимости от коэффициента нормальной жесткости внутреннего прорессоривания

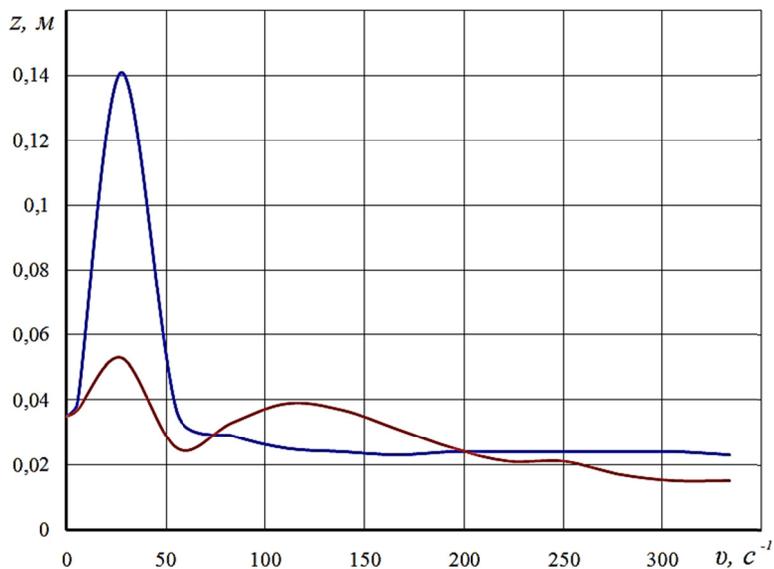


Рис. 6. АЧХ перемещений масс сосредоточенных на колесе с внутренним прорессориванием при проезде неровности профилем $q = q_0(1 - \cos vt)$, с высотой неровности $2q_0 = 30$ мм и длиной $l_n = 50$ мм

Экспериментальные исследования опытного образца колеса с внутренним прорессориванием планируются проводиться на шинном стенде (рисунок 7),

разработанном и изготовленном в лабораторных условиях кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» Псковского государственного университета.

Данный стенд позволяет проводить оценку упругих и демпфирующих свойств шин, как при статическом, так и при динамическом нагружении шин легковых автомобилей и малотоннажных грузовиков. При этом предполагается возможность в эксперименте с колесами легковых автомобилей получить более наглядные, чем с колесами грузовых автомобилей, результаты, как следствие большей нормальной и тангенциальной эластичности шин легковых автомобилей.

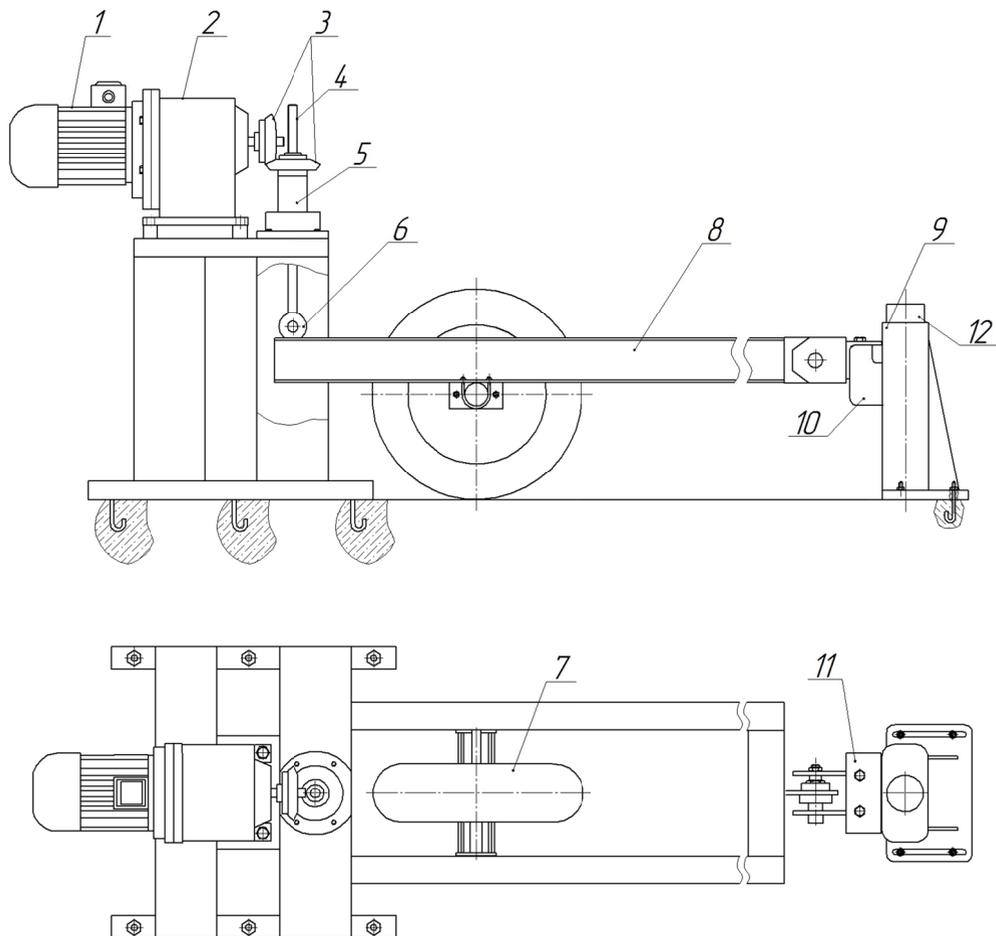


Рис. 7. Стенд для оценки упругих и демпфирующих свойств шин при динамическом нагружении пневматических шин

Стенд также позволяет при проведении испытаний подвергать испытываемую шину сложному нагружению одновременно нормальной силой как соответствующей нормальной нагрузке, так и крутящим моментом; проводить испытания в режиме свободных колебаний на невращающемся колесе с целью оценки экспериментальных кривых затухающих колебаний с использованием уточненной методики обработки опытных осциллограмм для оценки неупругих свойств

шин, а также испытания в режиме непрерывного нагружения колеса нормальной силой с целью оценки экспериментальных характеристик упругости.

Стенд для испытаний автомобильных шин, состоит из прямоугольной рамы 8, изготовленной из швеллера 14П, на которую при помощи специально изготовленной оси с тензоступицей крепится испытуемое колесо 7. Один край рамы шарнирно закреплен на подъемнике 9, в котором по вертикальной направляющей перемещается опорная лапа 10 с горизонтальной площадкой 11. Площадка перемещается при помощи силовой пары «винт–гайка» при вращении головки винта 12 за рукоятку.

На противоположном краю рамы установлено устройство для нагружения испытуемой шины вертикальной нагрузкой, которое содержит электродвигатель 1, планетарный редуктор 2, пару конических шестерен 3 и силовую пару «винт-гайка» 4 и 5. Нагружение вертикальной нагрузкой испытуемой шины осуществляется при вращении гайки электродвигателем. Винт связан с рамой при помощи вспомогательной оси, по торцам которой запрессованы шариковые подшипники качения 6, которые установлены и закреплены на раме нагружения.

При проведении испытаний крайние положения рамы нагружения ограничиваются концевыми выключателями, смонтированными на нагружающем устройстве. Выключатели срабатывают при достижении рамой крайнего нижнего или крайнего верхнего положений, при этом направление вращения ротора электродвигателя изменяется на противоположное.

Наличие концевых выключателей позволяет производить оценку упругих свойств шин в режиме непрерывного нагружения вертикальной нагрузкой. Величина вертикальной нагрузки измеряется с помощью тензометрической ступицы, а для измерения вертикального перемещения рамы, определяющего деформацию шины, используется потенциометрический датчик перемещений.

Изготовленный стенд позволяет проводить полнообъемные исследования автомобильных шин в лабораторных условиях в статическом и динамическом режимах и имеет следующую техническую характеристику (таблица 1).

Таблица 1

Техническая характеристика стенда

Тип	Стационарный с комплексом навесного оборудования
Диапазон размеров испытываемых шин по диаметру по ширине профиля	до 750 мм до 250 мм
Диапазон развиваемых моментов инерции, кг*м	540...2200
Диапазон развиваемых нагрузок на колесо, кН	0...7

Литература

1. Васильев М. Изобретение колеса // Мотор. Апрель, 2005.

2. Енаев А. А. Основы теории колебаний автомобиля при торможении и её приложения. М. : Машиностроение. 2002.
3. Енаев А. А., Мазур В. В., Яценко Н. Н. Заявлено 19.05.1999; Оpubл. 10.07.2002. Патент № 2184658 Российская Федерация, МПК В60В 9/00. Колесо транспортного средства.
4. Енаев А. А., Мазур В. В. Заявлено 06.05.2000; Оpubл. 10.07.2002. Патент № 2180290 Российская Федерация, МПК В60В 9/04. Колесо транспортного средства повышенной эластичности.
5. Енаев А. А., Петров С. А. Заявлено 07.10.2010; Оpubл. 10.01.2012. Патент № 2438878 Российская Федерация, МПК В60В 9/04. Колесо с внутренним подрессориванием.
6. Кнороз В. И., Кленников Е. В., Петров И. П. и др. Работа автомобильной шины. М. : Транспорт, 1976.
7. Мазур В. В., Енаев А. А. Заявлено 23.05.2002; Оpubл. 27.01.2004. Патент № 2228273 Российская Федерация, МПК В60В 9/04. Колесо с внутренним подрессориванием.
8. Ротенберг Р. В. Подвеска автомобиля. Изд. 3-е переработано и дополнено. М. : Машиностроение, 1972.
9. Рыков С. П., 2004. Экспериментальные исследования поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин. Братск : БрГТУ.
10. Сагов М. С., 1980. Авторское свидетельство СССР № 981019.
11. Яценко Н. Н., 1978. Поглощающая и сглаживающая способность шин. М. : Машиностроение.
12. Яценко Н. Н., Енаев А. А. Колебания автомобиля при торможении. Иркутск : Издательство Иркутского университета, 1989.
13. Яценко Н. Н., Енаев А. А., Мазур В. В. Заявлено 17.02.1997; Оpubл. 27.07.1999. Патент № 2133675 Российская Федерация, МПК В60В 9/04. Колесо с внутренним подрессориванием.

S. B. Manfanovsky, A. A. Enaev

THE WHEEL WITH INTERNAL SPRINGING SYSTEM AND THE BASICS OF ITS THEORETICAL RESEARCH

The construction of the wheel with internal springing system is considered. The proposed construction will increase the smoothness of the vehicle. The mathematical model of the wheel with internal springing system and the equipment for its testing are offered.

Keywords: internal springing system, wheel, smoothness of the vehicle, testing, mathematical model, theoretical research.

Манфановский Степан Борисович — инженер кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» ФГБОУ ВПО ПсковГУ, manf.pskgu@gmail.com.

Енаев Александр Андреевич — заведующий кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство» ФГБОУ ВПО ПсковГУ, д-р техн. наук, профессор.