

УДК 629.3.017

DOI 10.18698/0536-1044-2016-8-38-44

# Устройство для измерения сил в системе управления схождение колес автомобиля\*

**В.И. Рязанцев**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

## The Device for Measuring Forces in the Toe-In Control System of a Vehicle

**V.I. Ryazantsev**BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1 e-mail: ryazantsev1@yandex.ru

**i** Рассмотрены вопросы измерения боковых сил, действующих на колеса автомобиля, решение которых позволит повысить эффективность используемых в настоящее время систем управления сходом колес автомобиля при его движении. Пассивное управление сходом колес конструкторы применяют уже сравнительно давно, а в последние годы появились серийные автомобили, оснащенные системой активного управления сходом колес. Однако для эффективного управления сходом колес необходима оценка боковых сил, которую не обеспечивает реализованная конструкция системы, поскольку не предполагает прямого измерения боковых сил (их оценку проводят опосредованно). В связи с этим предложено устройство, устраняющее указанный недостаток. Развитие техники управления сходом колес, в системах которого можно применить рассматриваемое устройство, предполагает использование простых в обслуживании датчиков боковых сил, которые можно легко встроить в колесные узлы современных автомобилей, не ухудшая их массовые характеристики и незначительно влияя на стоимость конструкции.

**Ключевые слова:** система активной безопасности, управление сходом колес автомобиля, система активного управления сходом колес, устройство для измерения сил, действующих на колесо автомобиля.

**i** The article discusses issues pertaining to the measurement of lateral forces acting on the wheels of a vehicle, which is a prerequisite to enhance the efficiency of the currently used toe-in control systems of a vehicle in motion. Passive toe-in control systems have been used for a relatively long time. Recent years have seen the appearance of production vehicles equipped with an active toe-in control system. For efficient toe-in control, it is necessary to estimate the lateral forces, which the implemented system design does not provide as it does not involve direct measurement of the lateral forces (they are estimated indirectly). The proposed device eliminates this drawback. The development of control techniques for the systems where this device could be utilized, involves the use of easy to use lateral force sensors. They can be easily installed into wheel assemblies of modern vehicles without

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора № ДН01/0001/216/15 между ООО «ЛиАЗ» и МГТУ им. Н.Э. Баумана.

compromising their weight characteristics, and having only an insignificant impact on the cost of the construction.

**Keywords:** active safety system, wheel alignment control, active toe control, measurement of lateral forces acting on vehicle wheels.

подавляющее большинство современных автомобилей оборудовано комплексом (часто значительным) систем активной безопасности, среди которых наибольшее распространение получили следующие системы: курсовой устойчивости, помощи при экстренном торможении, антиблокировочные, противобуксовочные, управления дифференцом и креном автомобиля. Интенсивность совершенствования существующих систем активной безопасности и успешность разработки новых определяют конкурентоспособность проектируемых моделей автомобилей на внутреннем и внешнем рынках.

Одной из новейших систем активной безопасности [1–5], разработанной передовыми производителями автомобилей, является система активного управления сходжением колес. Такая система использована на серийном автомобиле Sonata компании Hyundai Motor (Южная Корея). Результатом применения системы активного управления сходжением колес стало значительное повышение устойчивости движения автомобиля, что подтверждено испытаниями [6].

Проведенные исследования показали возможность создания системы активного управления сходжением колес с более совершенным алгоритмом работы, который обеспечит эффективность функционирования системы в более широком диапазоне режимов движения автомобиля, включая такие режимы, как: прямолинейное движение под действием боковой ветровой нагрузки; движение на косогоре. Для обеспечения более совершенного алгоритма работы такой системы на колесо следует установить датчик вертикальной нагрузки. Кроме того, можно использовать датчик продольного усилия, что также повысит эффективность работы системы. Если измерение вертикальной и продольной сил особых проблем не вызывает, то измерение боковой силы простым (в конструктивном отношении), дешевым и надежным способом на автомобилях массового производства пока является невозможным.

До недавнего времени исследование устойчивости движения автомобиля на вираже и косогоре, а также при прямолинейном перемеще-

нии по горизонтальной плоскости под действием бокового ветра проводилось, как правило, в условиях экспериментов на дороге без измерений боковых сил, действующих на колеса автомобиля. Решение задачи измерения сил, действующих со стороны дороги на колеса автомобиля при движении на различных режимах, давно интересовало инженеров и ученых и прежде всего с точки зрения исследования работы ходовой части машины и процессов изменения реакций дороги на колесо, что важно для понимания характера движения автомобиля и оценки устойчивости его движения [7, 8].

Цель работы — решение вопроса о рациональной конструкции узла измерения боковых сил, действующих на колесо автомобиля со стороны дороги, который можно было бы применить на производимых транспортных средствах.

В соответствии с теоретическими исследованиями управление сходжением колес наиболее эффективно при управлении по параметру  $u = F_{zл}F_{yп} - F_{zп}F_{yл}$ , где  $F_{zл}$ ,  $F_{zп}$  и  $F_{yл}$ ,  $F_{yп}$  — вертикальные и боковые реакции дороги соответственно на левые и правые колеса автомобиля.

Наиболее сложной операцией при реализации системы активного управления сходжением колес является измерение боковой силы. Возможно, поэтому в системе управления сходжением задних колес, разработанной в Южной Корее для автомобиля Sonata, принята упрощенная схема, которая опосредованно оценивает боковую силу, действующую со стороны дороги на колеса автомобиля. Для этого проводят измерение скорости движения автомобиля и угла поворота руля, которое опосредованно дает информацию о радиусе поворота машины. Вместе со скоростью опосредованно оценивают боковые ускорения (по осям и автомобиля в целом), что позволяет с помощью формулы  $a = v^2/r$  оценить боковые реакции дороги, действующие на колеса.

Недостатком такой системы является отсутствие возможности управления сходжением колес в целях обеспечения повышения устойчивости прямолинейного движения автомобиля при боковом ветре или на косогоре.

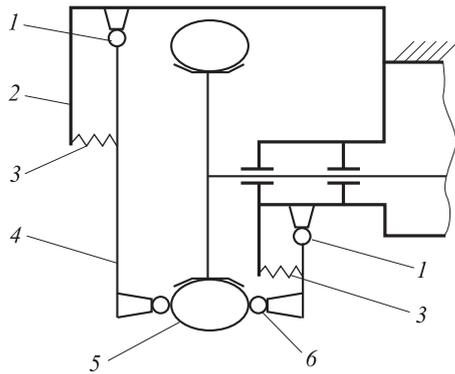


Рис. 1. Устройство для замера деформаций пневматической шины и действующих на нее сил: 1 — шарнир; 2 — неподвижная часть (связана с мостом); 3 — пружины; 4 — штанги; 5 — шина; 6 — ролики

Многочисленными исследователями предпринимались попытки реализовать устройства, позволяющие измерять боковые силы, действующие на колеса автомобиля. Параллельно с этим часто решалась задача измерения и других составляющих полной реакции дороги.

Устройство для замера деформаций пневматической шины и действующих на нее сил, предложенное В.П. Бойковым, А.В. Войтиковым, С.И. Сизовой и Ч.И. Ждановичем (см. рис. 1), снабжено датчиками угловых перемещений, которые установлены на корпусе транспортного средства на кронштейнах с обеих сторон шины. При этом свободные концы штанг датчиков сопряжены с боковыми поверхностями шины через контактные элементы в точках наиболее выпуклой части шины, находящихся в поперечной плоскости, которая перпендикулярна пятну контакта шины и проходит через его середину.

Устройство для замера деформаций и сил пневматической шины (см. рис. 1) содержит штанги 4, свободные концы которых имеют контактные элементы качения — ролики 6. Штанги установлены по обе стороны испытуемой шины 5 так, что их ролики постоянно контактируют с наиболее выпуклыми частями боковин шины в середине зоны пятна контакта. Штанги поджимаются к шине пружинами 3.

Устройство работает следующим образом. В статическом положении, когда шина неподвижна и нагружена нормальной нагрузкой, датчики устанавливаются в некоторое нулевое положение, соответствующее середине шкалы реохорда. Затем к корпусу 2 прикладывают боковую нагрузку, и датчики тарируются по боковой силе и боковому перемещению. При этом

отклонение сигналов датчиков происходит в одну сторону, так как штанги 4 движутся в одном направлении. Также проводится предварительная тарировка датчиков по нормальной деформации и нормальной нагрузке. Изменение этих параметров фиксируется по изменению ширины профиля шины. В процессе движения колеса с испытуемой шиной измерение боковой деформации и боковой силы проводят посредством одного из датчиков, замеряющих боковую деформацию боковины шины. Если шина подвергается воздействию нормальных нагрузок, то ее влияние на замер боковых нагрузок компенсируется учетом показаний второго датчика (вычитанием их), так как при этом возникают дополнительные боковые деформации боковины шины. Таким образом, рассматриваемое устройство позволяет одновременно проводить замер изменения нормальной и боковой сил в зоне пятна контакта в процессе движения, а также ширины профиля шины.

Недостатками такого устройства являются недостаточная точность результатов, громоздкость и сложность монтажа на колесе.

Устройство для измерения боковой силы на эластичном колесе, разработанное А.С. Литви-

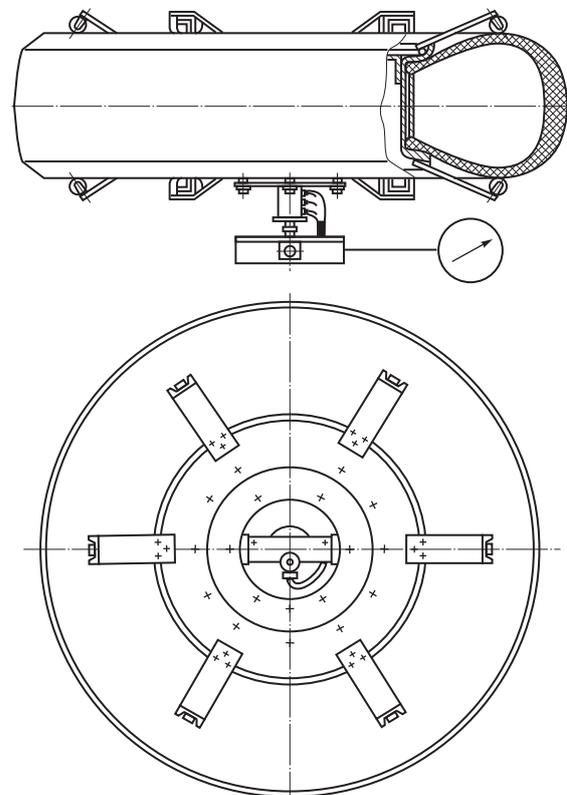


Рис. 2. Устройство для измерения боковой силы на эластичном колесе

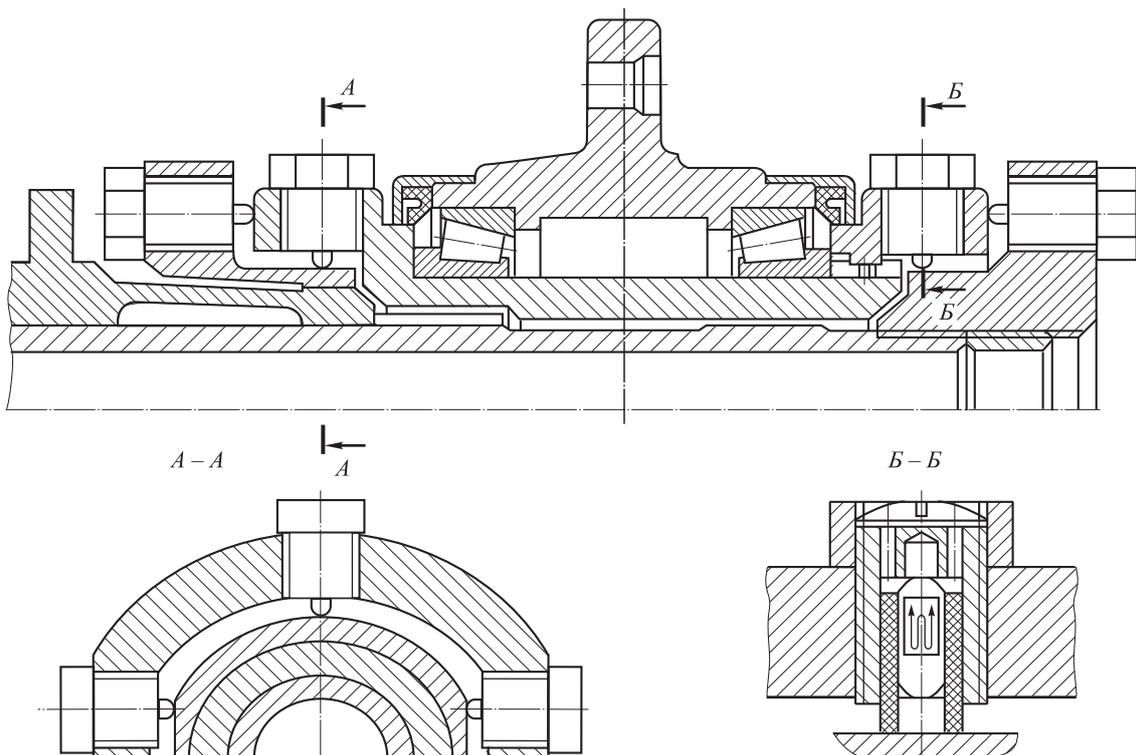


Рис. 3. Устройство для измерения сил, действующих на колесо автомобиля

новым и А.А. Байдуковым, представлено на рис. 2. Устройство смонтировано на эластичном колесе, где на упругих пластинах закреплены скобы с осями, на которых установлены ролики, контактирующие с боковой поверхностью колеса. При этом упругие пластины прикреплены к противоположным сторонам обода эластичного колеса, а тензометрические преобразователи на упругих пластинах с каждой стороны обода соединены последовательно в группы, которые образуют смежные плечи измерительного полумоста, подключенного к регистрирующему прибору.

При качении колеса, нагруженного боковой силой, происходит деформация его боковой поверхности, вызывающая изгиб пластин и соответствующую реакцию тензодатчиков. Вследствие этого в измерительном полумосте возникает сигнал, отклоняющий стрелку прибора на значение, пропорциональное действующей боковой силе. Недостатками устройства также являются недостаточная точность результатов, громоздкость и сложность монтажа на колесе.

Устройство (рис. 3), предложенное И.В. Балабиным, предназначено для измерения сил, действующих со стороны колеса на ступицу автомобиля, по трем осям координат. В этом устройстве обеспечена механическая развязка

измеряемых параметров — сил, действующих по трем осям координат. Ввиду своей конструктивной сложности и громоздкости устройство пригодно для использования в ограниченных условиях при выполнении исследовательских работ.

В работах [7, 9, 10] приведены другие конструктивные решения устройств для измерения боковой силы.



Рис. 4. Шестикомпонентный датчик сил и моментов, действующих на колесо автомобиля

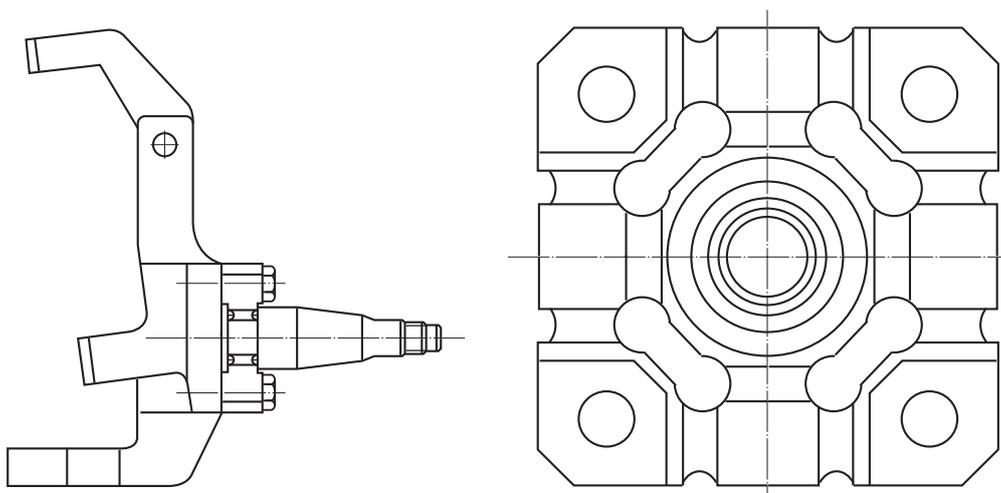


Рис. 5. Устройство для измерения сил, действующих на колесо автомобиля, на поворотном кулаке

Современный шестикомпонентный датчик SLW-NC (рис. 4) [8] позволяет с большой точностью выполнять измерение сил и моментов по трем координатам. Такое относительно компактное устройство, легко монтируемое на любой автомобиль, удобно использовать в научно-исследовательской работе, но практически невозможно применить на серийных автомобилях.

Силоизмерительное устройство с тензорезисторными преобразователями (рис. 5) предназначено для измерения трех ортогональных составляющих силы, действующей на ступичный узел колеса автомобиля. Датчик выполнен в виде плоского квадратного элемента, по пе-

риферии которого расположены восемь шеек (по две с каждой стороны). Квадратные в поперечном сечении шейки являются упругими элементами, на которых наклеены датчики сопротивления. Отверстия и канавки образуют 12 упругих элементов, на поверхности которых расположены тензорезисторные розетки. В результате применения такого измерительного устройства новая конструкция поворотного кулака состоит не из одной, а из двух частей, соединенных болтами.

Это устройство можно использовать для расчета сил, действующих на автомобильное колесо по трем осям координат. Оценку эксплуатационных особенностей устройства можно провести путем исследования напряжения в упругих элементах (шейках) под действием сил, приложенных по трем осям координат.

Для решения этой задачи была создана конечно-элементная модель колесно-ступицевого узла (рис. 6), позволяющая оценить реакции тензодатчиков. Модель узла разработана с помощью программных пакетов Компас и SolidWorks, а ее расчет проведен с использованием программного обеспечения CosmosWorks. Результаты расчета, полученные в виде распределения напряжений для трех случаев нагружения силами  $F_x$ ,  $F_y$  и  $F_z$ , позволили выявить розетки тензодатчиков, максимально реагирующие на действие боковой внешней силы.

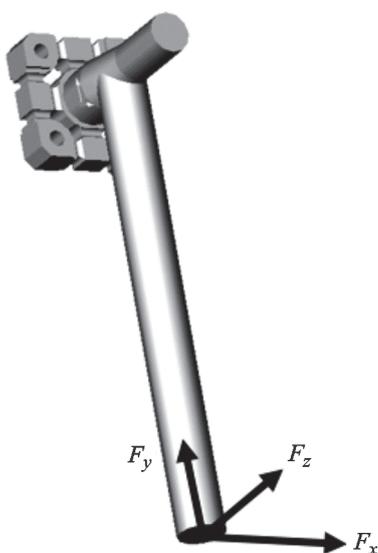


Рис. 6. Модель колесно-ступицевого узла для оценки реакции тензодатчика на воздействие внешних сил, имитирующих три составляющие силы, действующей со стороны дороги на колесо

## Выводы

1. Анализ результатов расчета, полученных с помощью модели рассмотренного устройства, показал возможность использования сигналов

от одной или нескольких розеток (ограниченного их количества) на упругих элементах (шейках), что с удовлетворительной точностью позволит оценивать значения боковой силы, действующей на колесо автомобиля, и тем самым обеспечит эффективную работу системы активного управления сходимением колес автомобиля в целях повышения устойчивости его движения.

2. По сравнению с другими известными конструкциями предложенное устройство является наиболее эффективным, простым, надежным, недорогим и приспособленным для применения в колесном узле серийного автомобиля (с точки зрения его компоновки).

## Литература

- [1] Català A., Lee S., Lee U. *A new 4WS concept for Hyundai Sonata*. URL: <http://www.autofocusasia.com/engine-chassis/active-geometry-control-system> (дата обращения 01 марта 2016).
- [2] Lee S., Sung H., Lee U. The development of active geometry control suspension (AGCS) system. *SAE Technical Papers*, 2005 SAE World Congress, Detroit, MI, United States, 11 April 2005 through 14 April 2005, Code 90257.
- [3] Рассоха В.И., Исайчев В.Т., Бондаренко Е.В. Устройство контроля и регулирования схождения управляемых колес АТС в процессе движения. *Автомобильная промышленность*, 2009, № 5, с. 21–23.
- [4] Рязанцев В.И. Свойства автомобиля с системой управления сходимением колес. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2012, № 9, с. 38–44.
- [5] Рязанцев В.И. *Активное управление сходимением колес автомобиля*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 212 с.
- [6] *Испытания автомобиля с системой управления сходимением*. URL: <http://www.youtube.com/watch?v=SD3PzIHsX8w>.
- [7] Каменский А.Л., Потапов И.А., Гопкало О.М., Крюков В.В., Мазур А.И., Климов В.А. (СССР). *Устройство для измерения знакопеременных боковых сил на колесе транспортного средства*. А.с. 847133 СССР, кл. G 01 M 17/00, 1979.
- [8] *6-Component Wheel Force Measuring System*. URL: [http://tml.jp/e/product/automotive\\_ins/automotive\\_ins\\_sub/slwns\\_system.html](http://tml.jp/e/product/automotive_ins/automotive_ins_sub/slwns_system.html) (дата обращения 10 марта 2016).
- [9] Коптев В.Ю., Кулешов А.А., Марголин И.И. (СССР). *Устройство для измерения деформаций пневматической шины*. А.с. 1753329 СССР, МПК G01M 17/02, 1992.
- [10] Никулин П.И., Василенко А.В., Смирнов А.Г., Аржаев Г.А. (СССР). *Устройство для измерения деформаций пневматической шины*. А.с. 1057792 СССР, МПК G01M 17/02, 1983.

## References

- [1] Català A., Lee S., Lee U. *A new 4WS concept for Hyundai Sonata*. Available at: <http://www.autofocusasia.com/engine-chassis/active-geometry-control-system> (accessed 01 March 2016).
- [2] Lee S., Sung H., Lee U. The development of active geometry control suspension (AGCS) system. *SAE Technical Papers*, 2005 SAE World Congress, Detroit, MI, United States, 11 April 2005 through 14 April 2005, Code 90257.
- [3] Rassokha V.I., Isaichev V.T., Bondarenko E.V. *Ustroistvo kontroliia i regulirovaniia skhozhdeniia upravliaemykh koles ATS v protsesse dvizheniia* [Device control and regulation of the convergence of the steered wheels ATS in motion]. *Avtomobil'naia promyshlennost'* [Automotive industry]. 2009, no. 5, pp. 21–23.
- [4] Riazantsev V.I. *Svoistva avtomobilia s sistemoi upravleniia skhozhdeniem koles* [Characteristics of the car with toe-in control system]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]. 2012, no. 9, pp. 38–44.
- [5] Riazantsev V.I. *Aktivnoe upravlenie skhozhdeniem koles avtomobilia* [Active control of the wheel alignment of the vehicle]. Moscow, Bauman Press, 2007. 212 p.

- [6] *Ispytaniia avtomobilia s sistemoi upravleniia skhozhdeniem* [The vehicle with the control system convergence]. Available at: <http://www.youtube.com/watch?v=SD3PzIHsX8w>.
- [7] Kamenskii A.L., Potapov I.A., Gopkalo O.M., Kriukov V.V., Mazur A.I., Klimeshov V.A. *Ustroistvo dlia izmereniia znakoperemennykh bokovykh cil na kolese transportnogo sredstva* [A device for measuring alternating lateral forces on the wheel of the vehicle]. Copyright certificate USSR no. 847133, kl G 01 M 17/00, 1979.
- [8] *6-Component Wheel Force Measuring System*. URL: [http://tml.jp/e/product/automotive\\_ins/automotive\\_ins\\_sub/slwns\\_system.html](http://tml.jp/e/product/automotive_ins/automotive_ins_sub/slwns_system.html) (accessed 10 March 2016).
- [9] Koptev V.Iu., Kuleshov A.A., Margolin I.I. *Ustroistvo dlia izmereniia deformatsii pnevmaticheskoi shiny* [Device for measuring deformation of the pneumatic tire]. Patent USSR, no. 1753329, 1992.
- [10] Nikulin P.I., Vasilenko A.V., Smirnov A.G., Arzhaev G.A. *Ustroistvo dlia izmereniia deformatsii pnevmaticheskoi shiny* [Device for measuring deformation of the pneumatic tire]. Patent USSR, no. 1057792, 1983.

Статья поступила в редакцию 22.04.2016

## Информация об авторе

**РЯЗАНЦЕВ Виктор Иванович** (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Колесные машины». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: [ryazantsev1@yandex.ru](mailto:ryazantsev1@yandex.ru)).

## Information about the author

**RYAZANTSEV Viktor Ivanovich** (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Wheeled Vehicles Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: [ryazantsev1@yandex.ru](mailto:ryazantsev1@yandex.ru)).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана  
вышла в свет монография

**Л.И. Пономарева, В.А. Вечтомова, А.С. Милосердова**  
**«Бортовые цифровые многолучевые антенные  
решетки для систем спутниковой связи»**

Рассмотрены возможности спутниковых многолучевых зеркальных и линзовых антенн, а также особенности построения бортовых цифровых многолучевых антенных решеток на основе крупноапертурных зеркальных и линзовых излучателей. Приводятся результаты оптимизации структуры и характеристик крупноапертурных излучателей, а также антенных решеток из них. Показаны преимущества многолучевых крупноапертурных излучателей при построении антенных решеток для глобальных систем спутниковой связи и возможные схемотехнические и конструктивные решения по построению цифровых антенных решеток.

Для специалистов в области разработки систем спутниковой связи, а также аспирантов и студентов, обучающихся по специальностям «Радиоэлектронные системы и комплексы» и «Радиоэлектроника».

**По вопросам приобретения обращайтесь:**  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
[press@bmstu.ru](mailto:press@bmstu.ru); [www.baumanpress.ru](http://www.baumanpress.ru)