

А. А. Кульчицкий [A. A. Kulchitskiy]<sup>1</sup>  
 О. К. Мансурова [O. K. Mansurova]<sup>1</sup>  
 Г. И. Болтунов [G. I. Boltunov]<sup>2</sup>

УДК 531.743; 681.7; 62.5

**ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ УГЛОВ УСТАНОВКИ  
КОЛЕС АВТОМОБИЛЯ**

**OPTICAL AND ELECTRONIC CONTROL SYSTEM OF ANGLES OF SETTING  
THE CAR WHEELS**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия,  
 E-mail: doz-ku@rambler.ru

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий,  
 механики и оптики, г. Санкт-Петербург, Россия, E-mail: abit@cde.ifmo.ru

**Аннотация.** *Статья посвящена разработке оптико-электронной системы контроля углов установки управляемых колес автомобиля.*

**Материалы и методы.** *Предложена оптико-электронная схема стенда, реализующего кинематический метод контроля положения оси вращения использующего зависимости изменения траектории движения светящейся марки во вращающемся зеркале от положения оси вращения и угла наклона вектора нормали зеркала к оси вращения.*

**Результаты.** *Получены аналитические зависимости, позволяющие упростить процедуру расчета контролируемых параметров (углов схождения и развала) и обеспечить требуемую точность контроля. Проведена экспериментальная оценка точности устройства контроля. На основе проведенных исследований даны рекомендации по выбору параметров устройства, реализующего контроль положения вращающейся плоскости.*

**Заключение.** *Использование предлагаемой оптико-электронной системы контроля, как показывают теоретические и экспериментальные исследования, позволит уменьшить затраты времени на проведение диагностики и повысить точностную надёжность процедуры контроля за счет исключения влияния субъективных погрешностей.*

**Ключевые слова:** оптический контроль, контроль установки колес автомобилей, положение оси вращения, зеркальный преобразователь, вращающееся одиночное зеркало.

**Abstracts.** *The article is devoted to the development of an optical-electronic system for monitoring the angles of installation of the controlled wheels of a car.*

**Materials and methods.** *An optoelectronic circuit of a stand that implements a kinematic method for controlling the position of the axis of rotation using the dependence of the change of the trajectory of the luminous mark in a rotating mirror on the position of the axis of rotation and the angle of inclination of the normal vector of the mirror to the axis of rotation is proposed.*

**Result.** *Analytical dependences are obtained, allowing to simplify the procedure for calculating the monitored parameters (convergence and camber angles) and to ensure the required accuracy of control. Experimental evaluation of the accuracy of the control device. On the basis of the conducted research, recommendations on the choice of parameters of the device that implements the control of the position of the rotating plane are given.*

**Conclusion.** *The use of the proposed optical-electronic control system, as shown by theoretical and experimental studies, will reduce the time spent on diagnosis and improve the accuracy of the control procedure by eliminating the influence of subjective errors.*

**Key words:** optical control, car wheel mounting control, rotation axis position, mirror transducer, rotating single mirror.

**Введение.** Под контролем установки колес автомобилей понимают определение положения колеса в прямоугольной системе координат, которое сводится к задаче контроля положения оси вращения – частного случая задачи контроля вращающейся плоскости. Основными измеряемыми параметрами являются углы схождения  $\eta$  и развала  $\nu$  колес [1]. Причем для некоторых современных автомобилей эти параметры нужно контролировать и регулироваться не только для передних (управляемых) колес, но и для задних.

В основу всех стендов и приборов для проверки взаимного положения и углов установки колес автомобилей положен единый метод проверки геометрического положения плоскости колеса в прямоугольной системе координат. Различие большинства существующих конструкций стендов и приборов заключается в методах измерений и измерительных системах, с помощью которых определяется положение колес автомобиля.

В зависимости от принципа работы стенды для проверки углов установки колес автомобиля подразделяют на статические и динамические. Первые предназначены для проверки углов установки колес, находящихся в состоянии покоя, вторые – для оценки тех же параметров на вращающихся колесах измерением прямых или косвенных параметров. Основным недостатком динамических стендов является невысокая точность измерения. С их помощью можно лишь комплексно оценить установку колес, что затрудняет определение поэлементных неисправностей.

Основной проблемой при контроле взаимного положения осей вращения является необходимость получения измерительной информации при отсутствии реально обозначенных баз. Использование в качестве базы плоскости диска колеса приводит к появлению погрешностей сопоставимых с требуемой точностью измерения. Для их компенсации необходимо определить положения элементов системы контроля, закрепляемых на колесе, относительно оси вращения, что приводит к увеличению времени контроля и появлению методической и субъективной погрешностей. Что бы исключить влияние этих погрешностей современные стенды постоянно усложняются и соответственно удорожаются. Получили распространение стенды на основе фиксации изображения мишеней, закрепляемых на колесах. Недостатки получения двухмерного изображения пытаются компенсировать использованием 3D систем на использующие стереоскопические измерения [2]. Для повышения точности процедуры контроля используются системы со структурированной подсветкой, примером которых могут служить последние модели стендов серии FWA 9000 компании Bosch. Они используют четыре модуля с цифровыми стерео камерами и лазерной подсветкой для контроля каждого из колес [3, 4].

#### **Материалы и методы. Постановка задачи**

Перспективным направлением реализации оптических методов контроля [5] является использование свойства зеркальных преобразователей, с помощью которых можно задавать различные пространственные траектории точек и векторов (в рассматриваемом случае равномерное вращение), а по фактическим траекториям – контролировать правильность номинальных параметров системы [6].

При вращении зеркала вокруг оси отображающаяся в нем светящаяся точка движется по траектории, которая по форме и параметрам зависит от положения оси вращения и угла наклона вектора нормали зеркала к оси вращения.

Предлагаемая на рассмотрение система контроля установки колес автомобилей разработан на основе ранее рассмотренного устройства контроля положения вращающейся плоскости. Общая схема устройства стенда приведена на рис. 1.

#### **Расчетная схема и принцип действия**

Действие системы основывается на независимом определении положений колес относительно устройств контроля и вычислении их взаимного положения на основании информации о расположении устройств контроля. Сведения о расположении устройств контроля могут быть получены в результате предварительной их настройки и юстировки.

Основным элементом стенда является устройство контроля положения плоскости вращения колеса, которое предназначено для формирования изображения светящейся марки и индикации ее отображения от ЗП. Схема получения измерительной информации приведена на рис. 2. Система координат выбрана таким образом, что ось  $X$  совпадает с направлением движения автомобиля и является горизонталью, ось  $Y$  – вертикаль,  $Z$  – нормаль к направлению движения автомобиля. В этом случае плоскость колеса может быть задана осями  $X'Y'Z'$ , где ось  $Z'$  совпадает с осью вращения колеса автомобиля. Тогда угол между осями  $XX'$  – угол схождения колес  $\eta$ , а угол между  $YY'$  – развал колес  $\nu$ .

Идея разработанного устройства контроля положения плоскости вращения состоит в том, что взаимное положение осей координат определяется по искажениям формы траектории движения светящейся марки по поверхности анализа. С целью исключения влияния погрешностей установки зеркального преобразователя на колесе автомобиля и в связи с увеличением количества неизвестных параметров в схему устройства контроля включено четыре источника излучения, попарно расположенных на осях  $X$  и  $Y$ .

Характер изменений траекторий светящейся марки в плоскости анализа позволяет при расчете устройства контроля положения плоскости вращения (колеса) использовать упрощенную схему расчета, которая приведена на рис. 3.

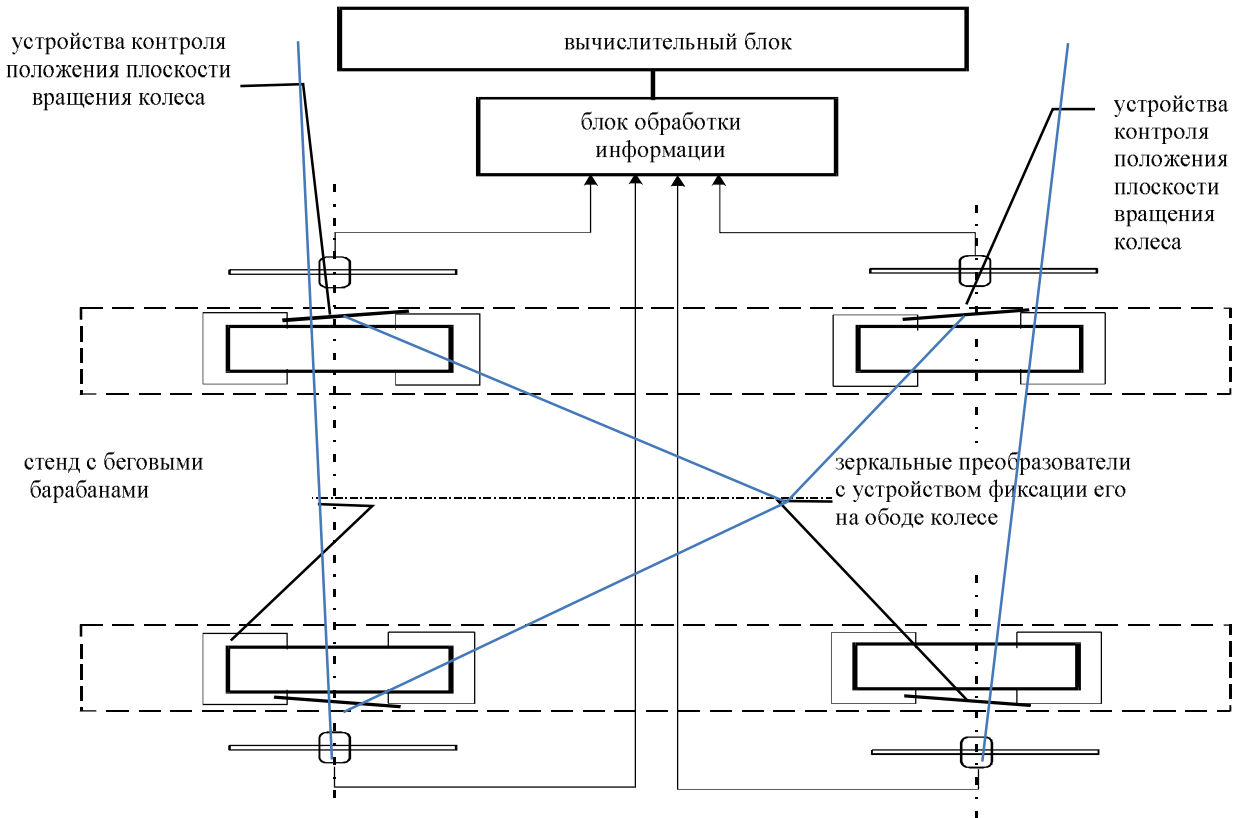


Рис. 1. Общая схема системы контроля углов установки колес автомобилей

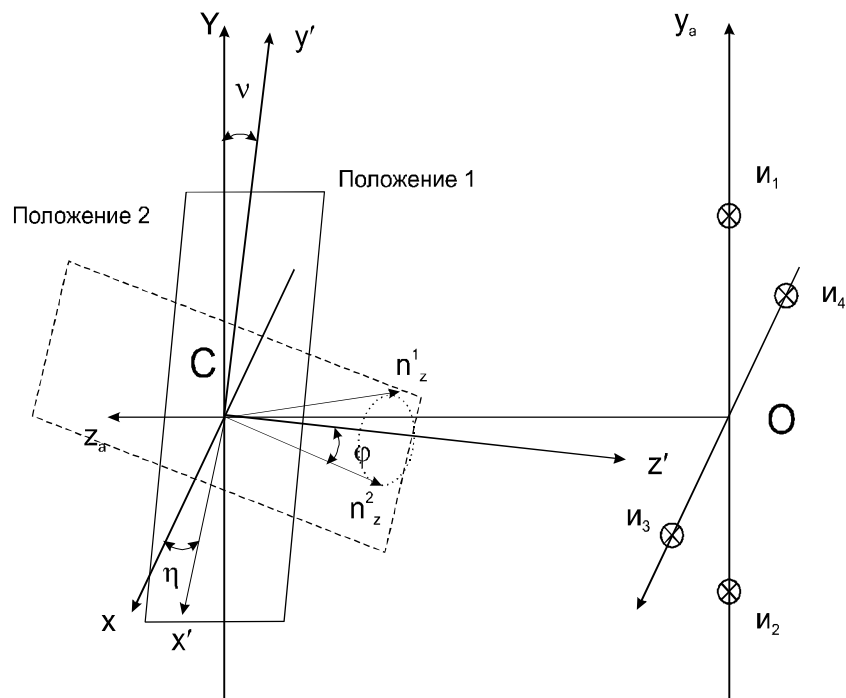


Рис. 2. Схема устройства контроля положения плоскости вращения

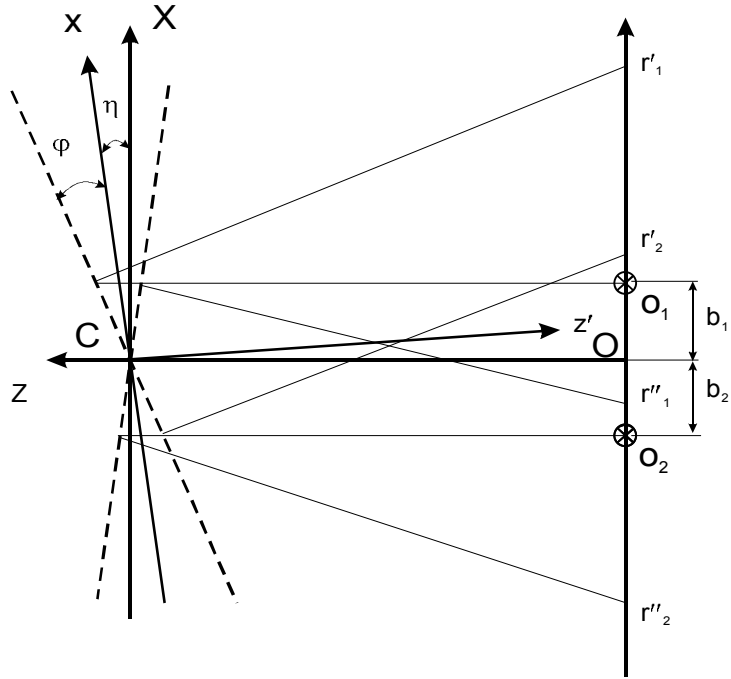


Рис. 3. Расчетная схема устройства контроля положения плоскости вращения (колеса)

Из рассмотрения построений на этой схеме координаты светящейся марки  $r'_1$  и  $r''_1$ , определенные относительно точки  $O_1$  для первого источника излучения, можно записать:

$$\operatorname{tg}2(\varphi + \eta) = \frac{r'_1}{l + b_1 \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \eta)} ; \tag{1}$$

$$\operatorname{tg}2(\varphi - \eta) = \frac{r''_1}{l - b_1 \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \eta)}$$

соответственно для второго источника излучения относительно  $O_2$ :

$$\operatorname{tg}2(\varphi + \eta) = \frac{r'_2}{l - b_2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \eta)} \tag{2}$$

$$\operatorname{tg}2(\varphi - \eta) = \frac{r''_2}{l + b_2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \eta)},$$

где  $\varphi$  – угол наклона вектора нормали зеркала к оси вращения  $Z'$ ,  $\eta$  – угол между осью вращения  $Z'$  и осью  $Z$ ,  $l$  – расстояние между точкой пересечения оси вращения с отражающей плоскостью зеркала и осью  $X$ ,  $b_1$  и  $b_2$  – расстояния между  $OС$  и оптическими осями первого и второго источников излучения соответственно.

Дополнительным условием будет:

$$\Delta b = b_1 + b_2, \tag{3}$$

где  $\Delta b$  – расстояние между  $O_1$  и  $O_2$  – оптическими осями источников излучения.

Решая совместно (1), (2) и (3), определим неизвестные составляющие первых двух систем уравнений:

$$\varphi = \frac{1}{4} \left[ \arccos\left(\frac{\Delta b}{r'_1 - r'_2 + \Delta b}\right) + \arccos\left(\frac{\Delta b}{r''_2 - r''_1 + \Delta b}\right) \right], \tag{4}$$

$$\eta = \frac{1}{4} \left[ \arccos\left(\frac{\Delta b}{r'_1 - r'_2 + \Delta b}\right) - \arccos\left(\frac{\Delta b}{r''_2 - r''_1 + \Delta b}\right) \right], \tag{5}$$

$$b_1 = \frac{\frac{r'_1}{\operatorname{tg}2(\varphi + \eta)} - \frac{r''_1}{\operatorname{tg}2(\varphi - \eta)}}{\operatorname{tg}(\varphi + \eta) + \operatorname{tg}(\varphi - \eta)}, \tag{6}$$

$$l = \frac{r_1'}{\operatorname{tg} 2(\varphi + \eta)} - b_1 \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \eta) . \quad (7)$$

Аналогичным образом может быть определен угол развала колес  $v$ .

Рассмотренную упрощенную схему расчета положения плоскости вращения возможно использовать при небольших углах  $\eta$  и  $v$  (до 3- 5°), что достаточно для контроля углов установки колес автомобилей (углы развала и схождения управляемых колес легковых автомобилей лежат в пределах 0°–0°30' и 1–2° – для грузовых).

Особенности проведения контрольных измерений на стенде сводятся к следующему. Автомобиль устанавливают на стенде. Расположение его параллельно его продольной оси стенда (допустимые предельные отклонения  $\pm 1^\circ$ ) обеспечивается за счет центровки в беговых барабанах. На каждом колесе при помощи устройства фиксации закрепляется ЗП. Проворачивая колеса автомобиля посредством вращения беговых барабанов, фиксируем траекторию движения отображения светящейся марки от ЗП на поверхности анализа устройства контроля при помощи линеек фотоприемников. Фотоприемники соединены через блок обработки измерительной информации с вычислительным устройством, снабженным устройством визуального отображения измерительной информации.

#### Результаты исследования

Для подтверждения корректности принятой упрощенной схемы расчета, оценки влияния углов установки ЗП и определения значений погрешностей устройства контроля положения колеса были проведены экспериментальные исследования модели устройства контроля.

Параметры экспериментальной установки следующие:

- расстояние между точкой пересечения плоскости зеркала с осью вращения и плоскостью фотоприемника  $l = 200$  мм;
- расстояние между осью вращения устройства контроля и оптической осью источника излучения  $b = 25$  мм;
- смещение оси вращения зеркала относительно оптической оси источника излучения по горизонтали  $\Delta b_x = 5$  мм, по вертикали  $\Delta b_y = 5$  мм;
- угловое смещение зеркала относительно оптической оси источника излучения по горизонтали  $\eta = 1^\circ$ , по вертикали  $v = 1^\circ$ .

Точность отсчета положения изображения светящейся марки  $\Delta x = \pm 0.01$  мм.

Оценка точности устройства контроля положения плоскости вращения проводилась при  $\varphi = 5, 10, 15$  и  $20^\circ$ . Графическое отображение результатов эксперимента представлено на рис. 4.5.

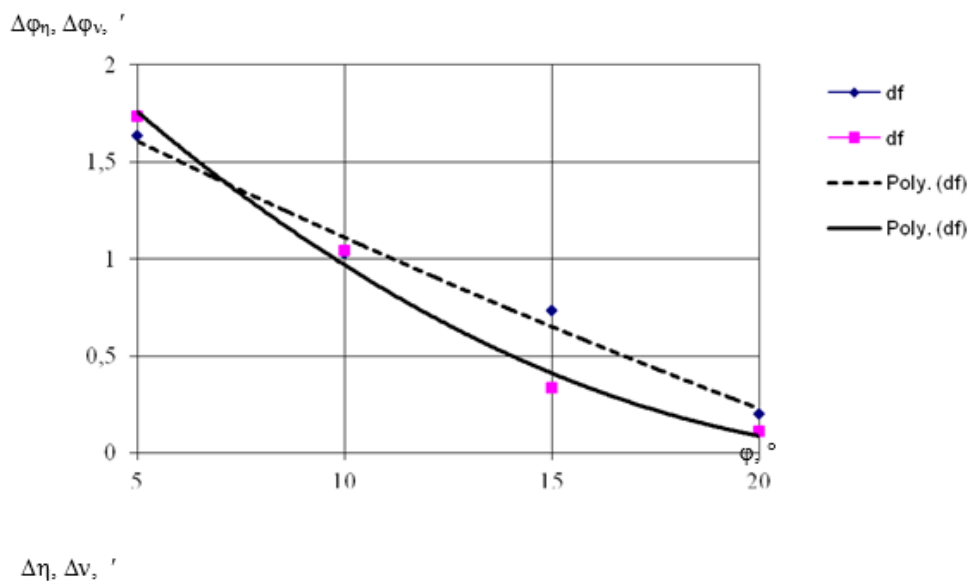
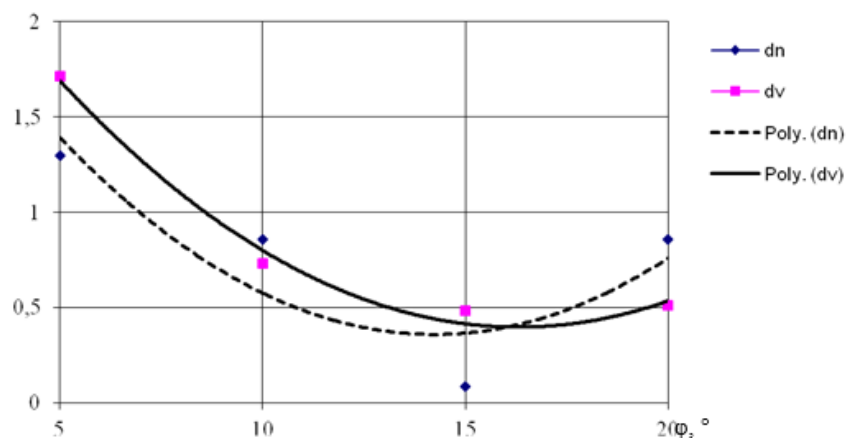


Рис. 4. Графики  $\Delta\varphi_\eta = f(\varphi)$  и  $\Delta\varphi_v = f(\varphi)$


 Рис. 5. Графики  $\Delta\eta = f(\varphi)$  и  $\Delta\nu = f(\varphi)$ 

В ходе эксперимента установлено:

- упрощенную схему расчета допустимо использовать для определения положения плоскости вращения при небольших углах  $\eta$  и  $\nu$ ;
- для контроля положения плоскости вращения с погрешностью определения ее положения до  $1'$  достаточно использование ОЗ в качестве ЗП устройства контроля;
- для уменьшения погрешности определения положения плоскости вращения, одиночное зеркало необходимо закреплять под углом  $15\text{--}20^\circ$  к плоскости вращения колеса.

**Заключение.** Использование предлагаемой оптико-электронной системы контроля, как показывают теоретические и экспериментальные исследования, позволит уменьшить затраты времени на проведение диагностики и повысить точностную надёжность процедуры контроля за счет исключения влияния субъективных погрешностей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Типаж и техническая эксплуатация оборудования для автосервиса / Першин В.А. и др. Ростов: Феникс, 2008. 413 с.
2. Пат. № 5724128 USA, G01B11/275 Measuring arrangements characterised by the use of optical means for measuring angles or tapers; for testing the alignment of axes for testing wheel alignment Daniel B. January, 1995-12-28
3. Bosch FWA 9000 – Режим доступа: <http://www.fwa9000.com/en/bosch-automotive-aftermarket/> от 22.04.2018
4. Пат. № DE102012202054A1 German G01B11/2755, Measuring arrangements characterised by the use of optical means for measuring angles or tapers; for testing the alignment of axes for testing wheel alignment using photoelectric detection means
5. Сарвин А. А., Кульчицкий А. А., Наумова А. К. Оптические методы бесконтактных измерений линейных перемещений СПб.: Изд-во СЗТУ, 2011. 195 с.
6. Оптико-электронный кинематический контроль положения плоскости вращения Кульчицкий А.А., Сарвин А. А. (статья). Межвуз. сб. Машиностроение и автоматизация производства Вып. 8. СПб.: СЗПИ, 1998. С. 86-89.

#### REFERENCES

1. Tipazh i tekhnicheskaya ekspluatatsiya oborudovaniya dlya avtoservisa / Pershin V. A. i dr. Rostov: Feniks, 2008. 413 s.
2. Pat. № 5724128 USA, G01B11/275 Measuring arrangements characterised by the use of optical means for measuring angles or tapers; for testing the alignment of axes for testing wheel alignment Daniel B. January, 1995-12-28
3. Bosch FWA 9000 – Rezhim dostupa: <http://www.fwa9000.com/en/bosch-automotive-aftermarket/> ot 22.04.2018
4. Pat. № DE102012202054A1 German G01B11/2755, Measuring arrangements characterised by the use of optical means for measuring angles or tapers; for testing the alignment of axes for testing wheel alignment using photoelectric detection means
5. Sarvin A.A., Kul'chitskii A.A., Naumova A.K. Opticheskie metody beskontaknykh izmerenii lineynykh peremeshchenii SPb.: Izd-vo SZTU, 2011, 195 s.
6. Optiko-elektronnyi kinematicheskii kontrol' polozheniya ploskosti vrashcheniya Kul'chitskii A. A., Sarvin A. A. (stat'ya). Mezhvuz. sb. Mashinostroenie i avtomatizatsiya proizvodstva Vyp. 8. SPb.: SZPI, 1998. S. 86-89.

**ОБ АВТОРАХ**

**Кульчицкий Александр Александрович**, к.т.н., доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет, E-mail: doz-ku@rambler.ru

**Kulchitskiy Alexander Alexandrovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department automation of technological processes and production, Saint-Petersburg, E-mail: doz-ku@rambler.ru

**Мансурова Ольга Карибековна**, к.т.н., доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет  
E-mail: erke7@mail.ru

**Mansurova Olga Karybekovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Department automation of technological processes and production, Saint-Petersburg, E-mail: erke7@mail.ru

**Болтунов Георгий Иванович**, к.т.н., доцент, доцент кафедры систем управления и информатики, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, E-mail: abit@cde.ifmo.ru

**Boltunov Georgy Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Department of Control Systems And Informatics, Saint-Petersburg, ITMO University, E-mail: abit@cde.ifmo.ru

Дата поступления в редакцию 22.05.2018