

УДК 681.518.2

## АЛГОРИТМ УСТАНОВКИ ОСИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ КАЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ БУРОВЫХ ДОЛОТ

Б.С. Четвериков, М.С. Чепчуров, В.Я. Дуганов

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,  
Россия, г. Белгород.

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы, связанные с процессом контроля профиля элементов различных деталей в машиностроении, в частности, настройкой и выверкой оси устройства для автоматизированного контроля поверхностей качения. Приведен алгоритм для определения положения оси устройства, а также описаны этапы настройки оси «вручную». Реализация предложенного алгоритма позволяет выставить ось в необходимом положении автоматически, тем самым уменьшая временные затраты на подстройку устройства и увеличивая его быстродействие.

**Ключевые слова:** контроль, автоматизация, ось, точность, дорожка качения, прибор с зарядовой связью, акселерометр.

### Введение

Операции контроля геометрии объектов в машиностроении зачастую занимают порядка 15-20% от общего времени, затрачиваемого на производство детали или изделия [1]. В связи с этим изготовитель стремится снизить как временные затраты на контрольные операции, так и материальные. Достигается это за счет внедрения в существующие технологические процессы современных способов и приборов контроля. Однако производитель сталкивается при этом с высокой стоимостью такого оборудования, а иногда и полным его отсутствием на рынке. При этом задача контроля профилей различной формы у элементов деталей актуальна еще и потому, что качество изготавливаемой продукции зачастую является основополагающим фактором, влияющим на выбор его конкретным потребителем. Например, на работоспособность бурового долота большое влияние оказывает точность изготовления дорожек качения его подшипниковых опор, выполненных в лапе и шарошке [2]. При контроле профиля дорожек качения важно правильно располагать ось контрольного устройства относительно оси контролируемого объекта - дорожки, поскольку погрешность несовмещения напрямую влияет на точность результата измерений [3]. Таким образом, появляется задача – разработать алгоритм установки контрольного устройства для автоматизированной настройки измерительной оси (базы) по результатам первоначальной проверки её расположения.

Например, проекционным методом и по показаниям вспомогательных устройств (акселерометров).

### Способ настройки оси измерительного устройства для контроля круглости дорожки качения

Авторами накоплен опыт разработки методов и приборов контроля формы различных поверхностей. Например, создано лазерное устройство для определения погрешности формы крупногабаритных объектов, принцип работы которого описан в [4]. Предлагается устройство для автоматизированного контроля точности радиусной дорожки качения [5], в основе работы которого лежит метод бесконтактных измерений с использованием ПЗС-матрицы (сокр. от «прибор с зарядовой связью») (с анализом фотопроекции контролируемого объекта и с пересчетом пикселей «картинки» и сравнения её с шаблоном).

Контроль круглости дорожки качения предлагается осуществлять с помощью специального контрольного устройства. Устройство включает в себя зажимное приспособление с установленной на его вертикальной пластине фотокамерой, направленной на измеряемый объект, и стойку с лазерным излучателем для засвечивания оси. В корпусе камеры находятся ПЗС-матрица необходимой разрешающей способности (10 мегапикселей). Фотокамера подключена к ПК для передачи захваченного изображения в специально разработанное программное обеспечение (ПО).

На корпусе камеры и зажимном приспособлении установлены по одному акселерометру, предназначенному для определения отклонения реальной и виртуальной (измерительной) осей. По

показаниям акселерометров производится соответствующая коррекция результатов измерений. Схема метода контроля, а также расположение оси измерительного устройства показана на рисунке 1.

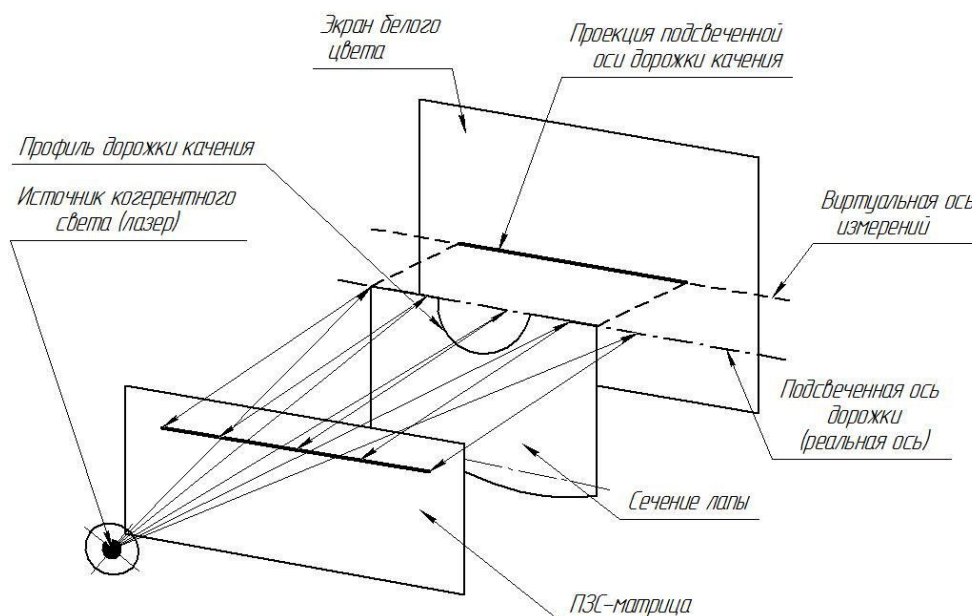


Рис. 1. Схема метода контроля и расположение оси контрольного устройства

Именно выверка оси является важнейшим этапом в настройке измерительного устройства, поэтому на этом следует остановиться подробнее.

Очевидно, что ручная настройка оси не является эффективной. Поэтому требуется разработка специального ПО, позволяющего осуществлять настройку в автоматическом или в автоматизированном режиме.

Сначала проводится юстировка устройства, выполняемая «вручную и без контролируемого объекта – лапы, потому что её нахождение и ориентация в контрольном устройстве заранее известны.

Этапы ручной юстировки устройства следующие:

1) Производится предварительная фокусировка источника [6]. Выполняется эта настройка при помощи программных средств камеры либо специального ПО. Добившись нужного фокуса проекции лазерного луча, устанавливаем стойку с ним на необходимом расстоянии от экрана белого цвета. Высота расположения регулируется при помощи привода подъема лазера так чтобы засвеченная линия попадает на верхнюю часть ПЗС-матрицы. Далее производится корректировка расположения проекции лазерного луча по приборам уровня (лазерному или жидкостному уровню);

2) засвечивается верхняя граница пикселей матрицы;

3) вычисляется расположение (вертикальные координаты) первой точки -  $y_1$  и последней точки -  $y_2$  выделенной границы. Нахождение координат  $y_1$  и  $y_2$  выполняется по верхним пикселям засвеченной линии, а отклонением расположения оси, выраженном в координатах пикселей является  $\Delta_n = y_2 - y_1$ ;

4) поворачивается ось в заданном направлении с визуальным контролем расположения засвеченной лазерным излучателем линии в пределах указанной области (рис. 2);

5) если верхняя граница засвеченной линии располагается горизонтально, (то есть оказываются засвечены все пиксели в строке ПЗС-матрицы), то считается, что предварительно ось выставлена верно.

Стоит отметить, что в качестве ПЗС-матрицы используется одно и то же устройство и тот же самый метод бесконтактных измерений, основанный на анализе фотопроекции, что и для контроля круглости, что сокращает как временные затраты, так как не нужна переустановка камеры, так и материальные – за счет использования одного устройства на двух разных этапах контроля.

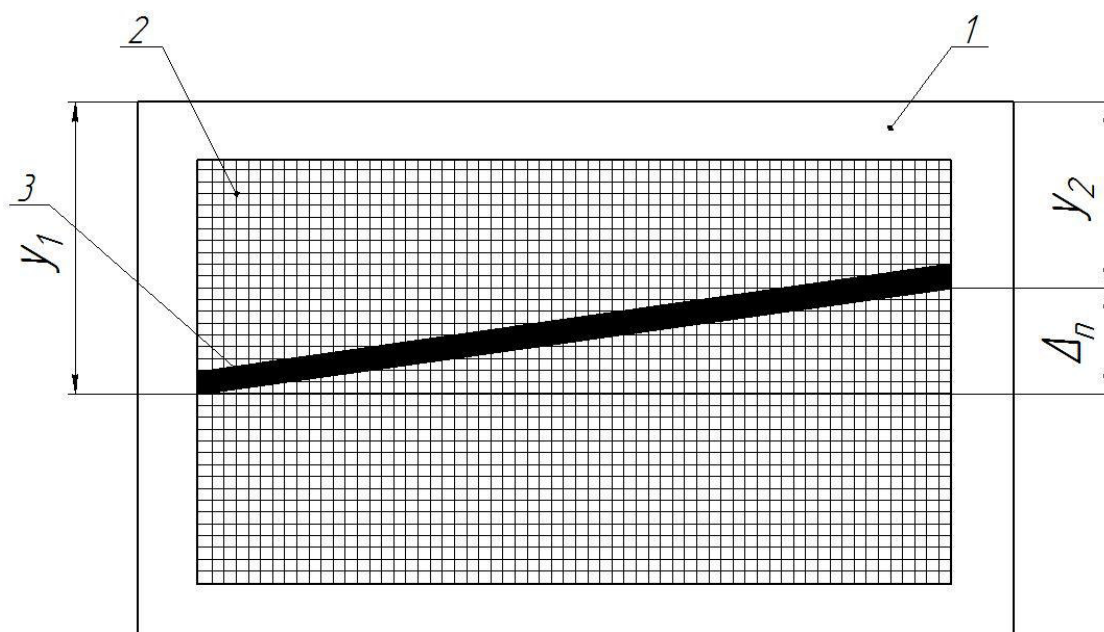


Рис. 2. Указанная область для оценки отклонения оси контрольного устройства:  
 1 – ПЗС-матрица, 2 – выделенная область ПЗС-матрицы для оценки отклонения расположения осей, 3 – засвеченная линия (ось)

### Алгоритм установки оси контрольного устройства

Блок-схема алгоритма установки оси контрольного устройства приведена на рисунке 3.

Вводятся значения разрешения матрицы  $K \times M$ , выполняется пересчет и проверка засвеченных пикселей, имеющих индекс (координаты) в виде номера строки и столбца ( $c, r$ ). В процессе обработки и чтения изображения выявляются координаты пикселей засвеченной лазерным излучателем линии. Поэтому изначально номер засвеченной строки равен одному ( $i=1$ ). Счетчик проходов проверки ( $j$ ) при этом обнуляется.

Производится проверка яркости каждого пикселя  $H_{c,r}$  с установленным уровнем яркости  $H_p$ . Если оказывается, что яркость конкретно взятого пикселя меньше чем уровень яркости, то этот пиксель засчитывается как пиксель из засвеченной строки  $i$  и переменной, характеризующей его координату, присваивается значение  $N_{c,i} = 1$ . Значения яркости пикселя RGB-цветового пространства лежат в диапазоне 0...255 [6]. Необходимое значение яркости в процессе определения расположения оси контрольного устройства может варьироваться из-за разной освещенности помещения, в котором

производится измерение [7]. Авторами экспериментально установлено, что, как правило, в средне освещенном помещении значение яркости составляет 125-130 (~50% от максимального значения яркости).

В том случае, если яркость пикселя  $H_{c,r} \geq H_p$ , то производится дальнейший перебор пикселей по столбцам и цикл проверки яркости пикселей продолжается, до тех пор пока  $c$  не станет равным нулю. Затем происходит перебор по строкам  $r$ , до тех пор пока  $r$  не станет равным нулю. Перебрав все пиксели в столбцах и строках и узнав номер засвеченной строки, происходит проверка количества засвеченных строк.

Если засвечено более одной строки, то определяется направление смещения оси. Выполняется это путем установления координаты крайнего пикселя в засвеченной строке, смещенного от своего необходимого положения.

Если смещен крайний левый засвеченный пиксель строки, то выполняется поворот оси против часовой стрелки относительно пикселя  $N_{c,i}=1$  (рис. 4): подается команда на привод и выполняется поворот на количество шагов, равных  $i-1$ . Если условие  $N_{c,i}=1$  и  $N_{i,i}=1$  не выполняется, то происходит проверка смещения крайнего правого пикселя засвеченной линии.

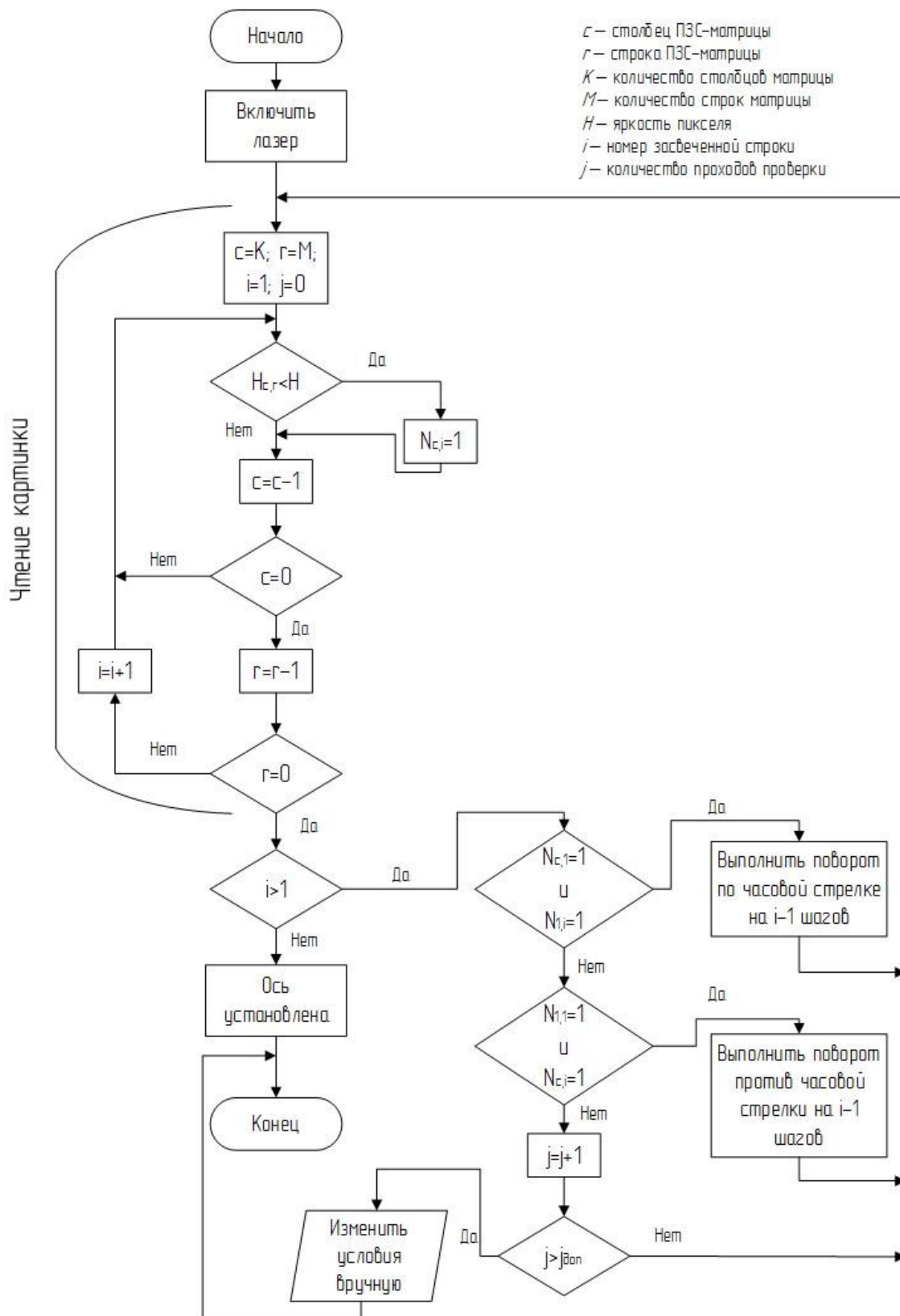


Рис. 3. Блок-схема алгоритма для установки оси контрольного устройства

Если смещен крайний правый засвеченный пиксель то необходимо выполнить поворот оси по часовой стрелке (рисунок 4). Таким образом, повернув лазерный излучатель скорректирует

положение оси. Если условие  $N_{c,r}=1$  и  $N_{1,r}=1$  не выполняется, то происходит суммирование ходов проверки, при этом счетчик проходов проверки  $j$  изначально обнулен.

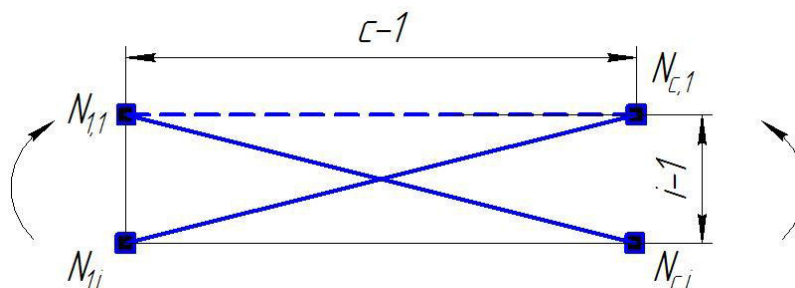


Рис. 4. Схема расположения пикселей строки  $i$  и поворота оси

Далее выполняется сравнение количества ходов проверки с их допустимым значением. Если условие не выполняется, то происходит дальнейший перебор пикселей и происходит возврат в начало цикла программы, занятого чтением картинки. Если же значение количества ходов проверки превышает заранее выбранное допустимое значение, то выдается сообщение о том, что необходимо изменить условия измерений вручную, либо изменить значения соответствующих параметров, либо произвести подстройку контрольного устройства «вручную».

После настройки оси контрольного устройства, осуществляются дальнейшие этапы контроля дорожки качения, как описано в [4]. Алгоритм аналогичен тем, которые использовались в [8] и [9], однако в данной работе авторы уделяют большое значение этапам настройки оси, так как, по их мнению, правильная алгоритмизация этих этапов значительно повышает как функциональные возможности контрольного устройства, так и уменьшает общее время процесса оценки.

#### Заключение

Разработанный алгоритм установки оси контрольного устройства позволяет выставить ось в необходимом положении в автоматическом режиме, а лежащий в его основе метод бесконтактного определения её положения, основанный на анализе фотопроекции контролируемого объекта, является предпочтительным, как требующий минимальных затрат на реализацию.

Работа выполнена в рамках гранта: «Проект ПСР № 2011-ПР- 146», договор № А-28/15 от 14.04.2015 г.

#### Библиографический список

1. Миронченко, В.И. Автоматизация контроля геометрических параметров изделий / В.И. Миронченко. – М.: ГосНИП "Расчет", 2011. – 208 с.
2. Пуртова, И.А. Исследования силовых и кинематических характеристик работы шарошечных долот / И.А. Пуртова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1. – С. 101-102.
3. Четвериков, Б.С. Метод оценки отклонения от круглости канавки катания лапы шарошечного долота / Б.С. Четвериков, Н.А. Табекина // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2015. – №3. – С. 25-31.
4. Chetverikov B.S., Chepchurov M.S., Pogonin D.A. Definition of shape and position of complex geometric surfaces. World Applied Sciences Journal, 2014, Vol.31, no.4. pp. 526-530.
5. Четвериков, Б.С. Автоматизация процесса оценки точности канавки катания при изготовлении лапы бурового долота / Б.С. Четвериков, М.С. Чепчуров // Информационные системы и технологии. – 2015. – №4. – С. 82-89.
6. Dorsch R. Hausler G., Herrmann J. Laser triangulation: Fundamental uncertainty in distance measurement. Appl. Opt., 1994. Vol. 33. pp.85-90.
7. Садыков, С.С. Исследование алгоритма определения длины и ширины плоских объектов / С.С. Садыков и др. // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество» / ГОУ ВПО «Пензенский государственный университет», – Пенза, 2009. – С. 16-20.
8. Борзов, Д.Б. Обобщенный алгоритм сжатия видеопотока с использованием RGB-модели, и его аппаратная реализация / Д.Б. Борзов, К.А. Гуляев, А.И. Башмаков // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – №4. – С. 35-39.
9. Жуков, Е.М. Автоматизированное определение величины припуска наплавленного железнодорожного колеса / Е.М. Жуков, А.Н.

Блудов // Информационные системы и технологии. – 2014. – №5. – С. 74-80.

10. Блудов, А.Н. Автоматизация процесса восстановления поверхностей катания колёс грузового железнодорожного транспорта: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.06 / А.Н. Блудов; – Орел, 2015. – 16 с.

## THE ALGORITHM FOR INSTALLATION OF AXIS THE DEVICES FOR AUTOMATED CONTROL OF THE ROLLING CONTACT SURFACING FOR PARTS OF THE DRILL BITS

B.S. Chetverikov, M.S. Chepchurov, V.Ja. Duganov

**Abstract.** The issues associated with the process control of profile elements of the various parts in mechanical engineering, in particular, the setting and alignment axis of the measuring device for the automated control of the rolling contact surface. An algorithm for determining the position of the axis of the device, and configuration steps described in the axis "manually." The implementation of the algorithm proposed by the authors allows setting the axis in position in the automatic mode, thereby reducing the time required for adjustment of the device and increasing its speed.

**Keywords:** control, automation, axis, accuracy, rolling rattle, charge-coupled device, acceleration indicator.

### References

1. Mironchenko V.I. *Avtomatizacija kontrolja geometricheskikh parametrov izdelij* [Automation control of geometry of products]. Moscow, GosNIP "Raschet", 2011. 208 p.
2. Purtova I.A. *Issledovanija silovyh i kinematicheskikh harakteristik raboty sharoshechnyh dolot* [Research of power and kinematic characteristics of the work cone bits]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, 2015, no. 1, pp. 101-102.
3. Chetverikov B.S., Tabekina N.A. *Metod ocenki otklonenija ot kruglosti kanavki katanija lapy sharoshechnogo dolota* [Method of estimation of deviation from circularity of the groove legs riding roller cone bit]. *Vestnik SibADI*, 2015, no. 3, pp. 25-31.
4. Chetverikov B.S., Chepchurov M.S., Pogonin D.A. *Definition of shape and position of complex geometric surfaces*. *World Applied Sciences Journal*, 2014, vol. 31, no. 4, pp. 526-530.
5. Chetverikov B.S., Chepchurov M.S. *Avtomatizacija processa ocenki tochnosti kanavki katanija pri izgotovlenii lapy burovogo dolota* [Automation of process evaluating the accuracy of the grooves in the manufacture of ski legs of the drill bit]. *Informacionnye sistemy i tehnologii*, 2015, no. 4, pp. 82-89.
6. Dorsch R., Hermann J., Hausler G. *Laser triangulation: Fundamental uncertainty in distance measurement*. *Appl. Opt.*, 1994. vol. 33, no. 4, pp. 85-90.
7. Sadykov S.S. *Issledovanie algoritma opredelenija dliny i shiriny ploskih ob#ektov* [Research the algorithm for determining the length and width of

the flat objects]. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»* [Proc. of the PSU «Reliability and quality», 2009, pp. 16-20.

8. Borzov D.B., Guljaev K.A., Bashmakov A.I. *Obobshhennyj algoritm szhatija videopotoka s ispol'zovaniem RGB-modeli, i ego apparatnaja realizacija* [Generalized algorithm for compressing video using the RGB-model and its hardware implementation]. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, no. 4, pp. 35-39.

9. Zhukov E.M., Bludov A.N. *Avtomatizirovanoe opredelenie velichiny pripuska naplavlennogo zheleznodorozhnogo koleasa* [Automated determination of the allowance weld railway wheel]. *Informacionnye sistemy i tehnologii*, 2014, no. 5, pp.74-80.

10. Bludov A.N. *Avtomatizacija processa vosstanovlenija poverhnostej katanija koljos грузового zheleznodorozhnogo transporta: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.13.06* [Automation of process restoration of surfaces skating wheel rail freight]. Orel, 2015.16 p.

*Четвериков Борис Сергеевич (Белгород, Россия) – аспирант кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, await\_rescue@mail.ru).*

*Чепчуров Михаил Сергеевич (Белгород, Россия) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, avtpost@mail.ru).*

*Дуганов Владимир Яковлевич (Белгород, Россия) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46).*

*Boris S. Chetverikov (Belgorod, Russian Federation) – postgraduate student, Department of Mechanical Engineering, Belgorod state technological university named after V. G. Shukhov (308012, Belgorod, Kostyukova str., 46, await\_rescue@mail.ru)*

*Mihail S. Chepchurov (Belgorod, Russian Federation) – doctor of technical sciences, professor, Department of Mechanical Engineering, Belgorod state technological university named after V. G. Shukhov (308012, Belgorod, Kostyukova str., 46, avtpost@mail.ru)*

*Vladimir Ja. Duganov (Belgorod, Russian Federation) – candidate of technical sciences, the associate professor, Department of Mechanical Engineering, Belgorod state technological university named after V. G. Shukhov (308012, Belgorod, Kostyukova str., 46)*