

УДК 669.1

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫЧИСЛЕНИЯ ОБЪЕМА МЕТАЛЛОЛОМА ДЛЯ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-КАМЕРЫ

Е.Н. Ишметьев¹, Д.В. Чистяков¹, А.Н. Панов¹, Е.Э. Бодров²

¹ ЗАО «КонсОМ СКС», г. Магнитогорск, Россия

²ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

fortheartist@mail.ru

Аннотация. Одним из важных технологических параметров кислородно-конвертерного процесса является насыпная плотность стального металлолома, используемого в качестве охладителя. Информация о массе металлолома, засыпанного в совки для загрузки металлолома в конвертер, поступает от весов в систему АСУ ТП. Имея данные об объеме металлолома в совках, можно рассчитать его насыпную плотность. В данной работе с помощью 3D-камеры с времяпролетным сенсором было вычислено значение объема стального металлолома, которое затем может быть использовано для расчета его насыпной плотности.

Ключевые слова: кислородный конвертер, измерение объема объекта, времяпролетная 3D-камера, металлолом, насыпная плотность.

Кислородно-конвертерный процесс производства стали в настоящее время достаточно широко распространен. На выход готовой стали и технологическую стабильность самого процесса выплавки влияют множество факторов. Один из таких факторов – это насыпная плотность стального металлолома, используемого в качестве охладителя в процессе плавки [1, 2].

Насыпная плотность металлолома может варьироваться в широких пределах. Поэтому данный технологический параметр необходимо контролировать. В кислородно-конвертерном цехе установлены весы для замера массы загружаемого в конвертер стального лома. Имея информацию об объеме этого лома, можно вычислить его насыпную плотность.

Поэтому возникла необходимость в разработке системы расчета объема стального металлолома, загружаемого в совки для последующей его загрузки в конвертер. Существуют разные способы вычисления объема объектов с неровной поверхностью, обладающие своими преимуществами и недостатками [3-12]. В данной работе был сделан выбор на использовании 3D-камеры, применяемой в системах технического зрения, робототехнике, распознавании объектов и т.д.

В качестве оборудования для расчета объема лома в совке была выбрана 3D-камера, работающая в паре с инфракрасной подсветкой и делающая снимок совка. Снимок представляет собой поле размером 16×64 пикселей. Каждый из пикселей имеет координаты x_i , y_i и z_i , где x_i – это расстояние от плоскости, в которой находится камера до измеряемой точки на поверхности металлолома, а y_i и z_i – это размеры сторон пикселя, лежащего на поверхности металлолома. Для съемки совка использовалась камера O3M150 производства компании Ifm electronics с устройством подсветки [13]. Установ-

ка подобной 3D-камеры вместе с устройством подсветки приведена на *рис. 1*.

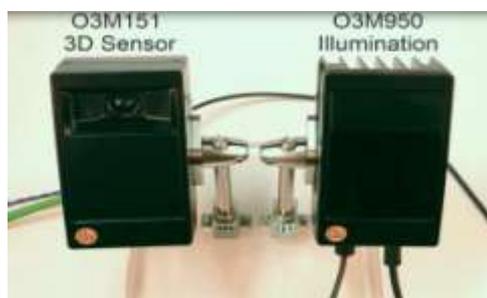


Рис. 1. Внешний вид 3D-камеры и устройства подсветки

Основой использованной камеры является времяпролетный сенсор (time-of-flight) для вывода 3D-изображения. Камера имеет прямоугольное поле пикселей размером 64 × 16. Углы обзора камеры O3M150 составляют 70° по длинной стороне поля пикселей и 23° по короткой стороне.

В производственных условиях кислородно-конвертерного цеха ОАО «ММК» был проведен эксперимент по измерению объема стального металлолома в совках перед их загрузкой в конвертер.

Эксперимент был проведен в отделении загрузки металлолома в совки. Совок для загрузки имеет следующие размеры: длина – 11 метров, ширина – 4 метра и высота – 3 метра. Камера была установлена над совком сбоку и наклонена на угол 43 градуса к горизонту для того, чтобы захватить в поле видимости весь совок, как показано на *рис. 2*. Фотография исследуемого совка приведена на *рис. 3*.

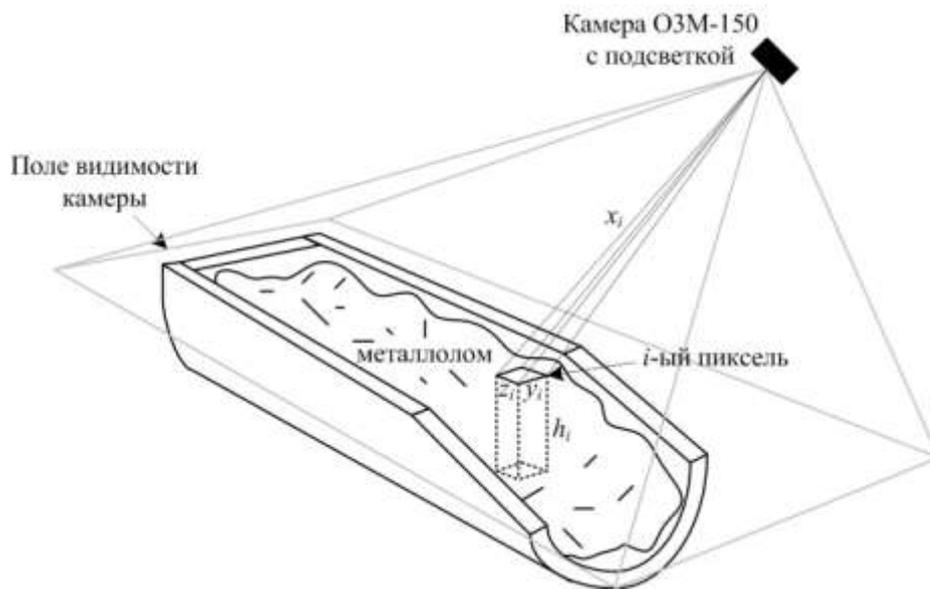


Рис. 2. Определение площади i-го пикселя на плоскости металлолома

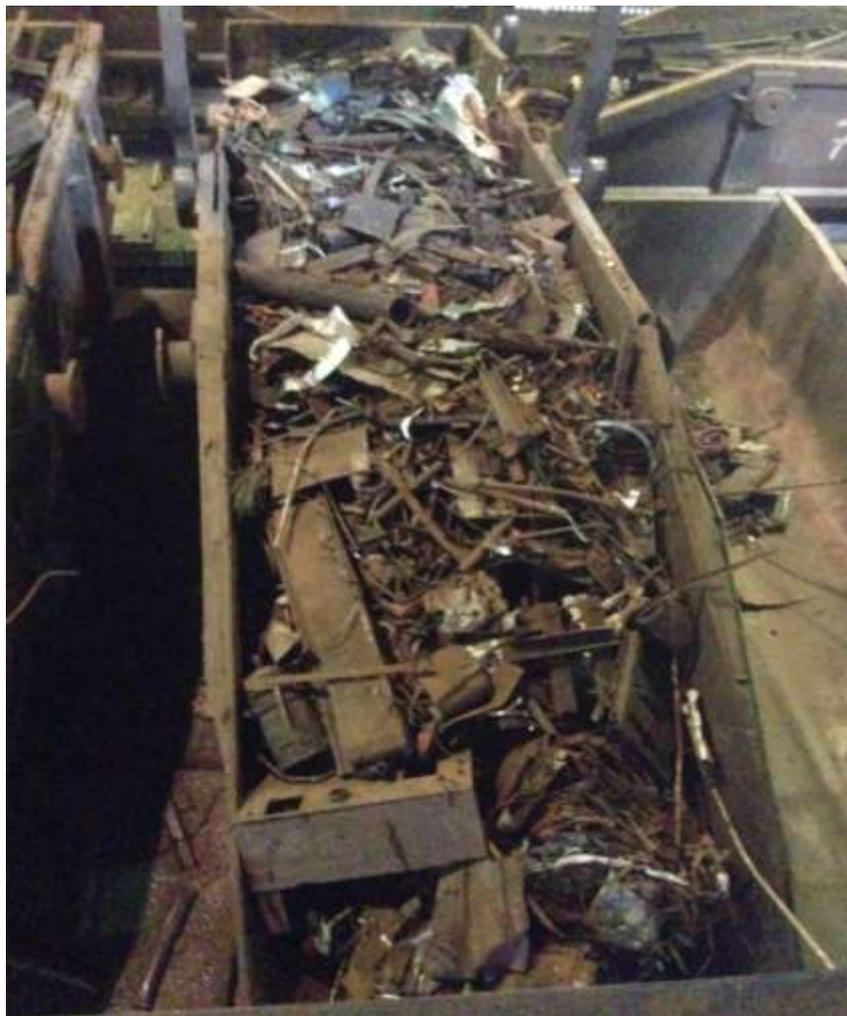


Рис. 3. Полный совок с металлоломом

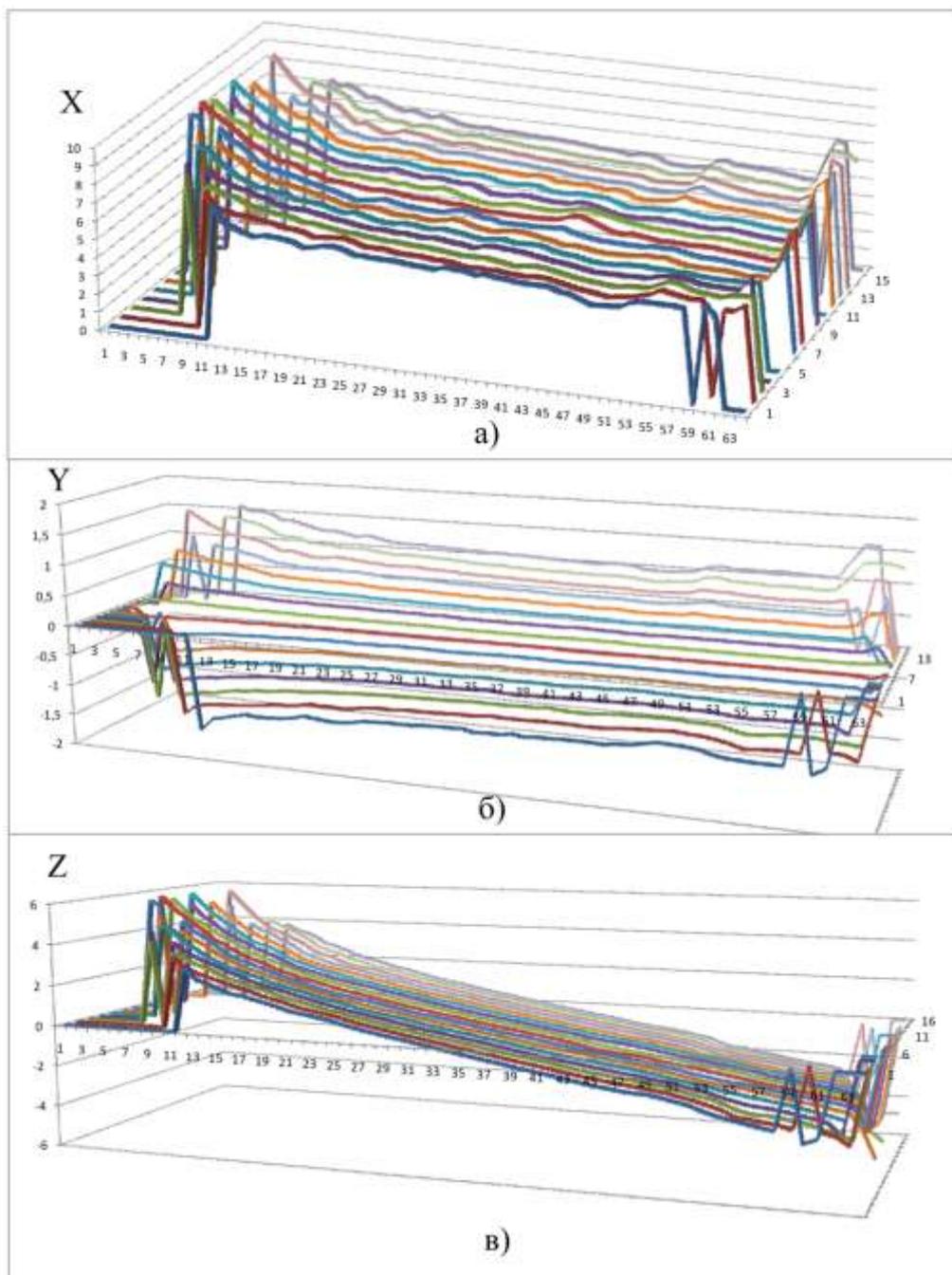


Рис. 4. Значения координат X, Y и Z изображения, полученного камерой ОЗМ150

Значения координат x_i , y_i и z_i , полученных непосредственно с камеры ОЗМ150 в ходе проведенного эксперимента, показаны в виде графиков на *рис. 4*. Значимыми являются значения для пикселей, находящихся в центральной части поля видимости. Нулевые значения, находящиеся по краям обусловлены несколькими причинами. Во-первых, нулевыми могут быть значения пикселей, на которые не попал свет от устройства подсветки. Во-вторых, объект или фон, находящийся на большом расстоянии может иметь нулевые значения координат. И наконец, программное обеспечение используемой камеры в случае обнаружения резко очерченной границы объекта отсекает пиксели, принадлежащие фону, приравнивая значения их координат нулю.

«Сырые» значения координат x_i , y_i и z_i неудобны для расчетов. Поэтому расстояние x_i , полученное с камеры, было преобразовано в значение высоты от камеры (от горизонтальной плоскости, в которой расположена камера) до поверхности металлолома. После проведения съемки пустого совка, была выяснена высота от камеры до дна совка. Далее при вычитании из расстояния до поверхности металлолома расстояния до дна совка были получены значения высоты поверхности металлолома над дном совка (обозначим эту высоту как h_i). Значения этой высоты для снятой части совка (*см. рис. 2*) приведены на *рис. 5*.

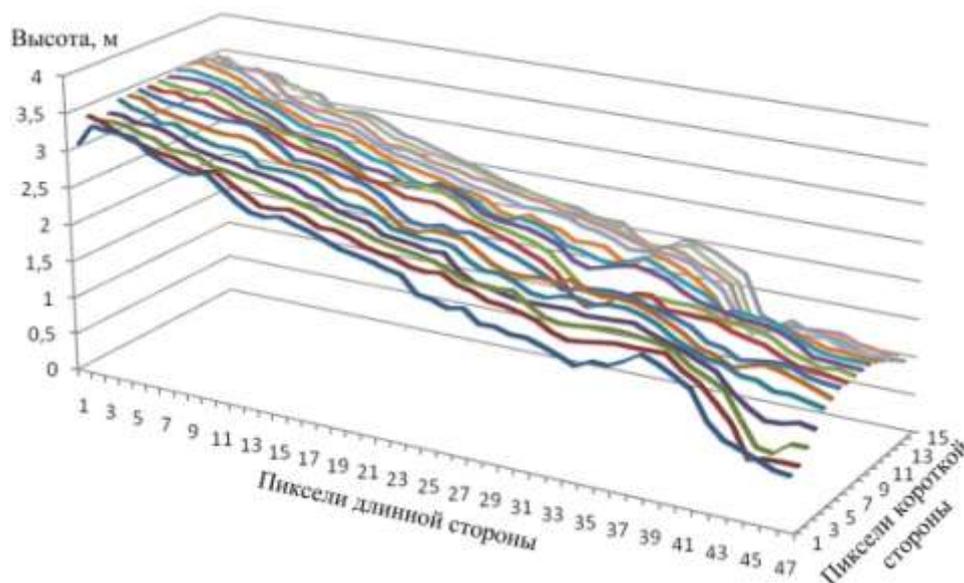


Рис. 5. Высота поверхности металлолома над дном совка

Для получения площади i -го пикселя, попадающего на поверхность металлолома, необходимо перемножить значения y_i и z_i . Умножением полученного таким образом значения площади на высоту i -го пикселя был вычислен объем параллелепипеда, образованного путем проекции этого пикселя на дно совка перпендикулярно горизонтальной плоскости.

Теперь общий объем металлолома можно вычислить как сумму отдельных объемов параллелепипедов для каждого из n пикселей, попадающих на поверхность металлолома [14]:

$$V = \sum_{i=1}^n h_i \cdot y_i \cdot z_i.$$

Для полного совка с металлоломом был произведен расчет объема по приведенному выше выражению. Рассчитанное значение объема составило $V = 50,6 \text{ м}^3$. Это значение соответствует паспортным данным для исследованного совка. Разброс значений измерения, вызванный погрешностью, вносимой измерительным оборудованием, не превышает 5% по результатам расчета для семи измерений одного полного совка, полученных с интервалом около тридцати секунд одно от другого.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что с помощью 3D-камеры можно в автоматическом режиме вычислять объем, а затем и насыпную плотность стального металлолома, используемого в кислородно-конвертерном процессе в качестве охладителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макарова Е.А. Проблемы конвертерного производства стали и пути решения дефицита металлолома / Е.А. Макарова, М.М. Перистый // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. докладов XXIII Всеукр. научн. Конф. аспирантов и студентов. Донецк: ДонНТУ, ДонНУ, – 2013. – Т.2. – С. 158-159.
2. Шелягович А.В. Разработка режимов формирования металлозавалки в кислородном конвертере с применением композиционных материалов и исследование их влияния на технологические показатели выплавки стали: дис. ... канд. техн. наук. М., – 2005. – 211 с.
3. T. Möller, H. Kraft, J. Frey, M. Albrecht and R. Lange, "Robust 3D measurement with PMD sensors," Proceedings of the 1st Range Imaging Research Day at ETH, Zurich, Switzerland, – 2005.
4. Q. Xu, Y. Huang, L. Xing, Z. Tian, Z. Fei and L. Zheng, "A fast method to measure the volume of a large cavity," IEEE Access, 2015, pp. 1555 – 1561. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2476661.
5. Y. D. Chincholkar and S. Bangadkar, "A Review of ToF PMD Camera," International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, vol. 4, Issue 5, 2015, pp. 4142-4149. DOI: 10.15662/ijareeie.2015.0405058.
6. Патерикин В.И. Оптические методы зондирования для наголовных средств измерения пространственных параметров поверхности трехмерных предметов в реальном времени // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – №2. – С. 44-48.
7. Крысин Д.Ю. Применение времяпролетных PMD-камер для определения дальности до водной поверхности / Д.Ю. Крысин, А.В. Небылов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – №2(84). – С. 33-39.
8. Рутковский В.О. Метод получения трехмерных цифровых моделей технических объектов, основанный на применении искусственных текстур / В.О. Рутковский, М.А. Рутковская // Вестник СибГАУ. – 2010. – №5. – С. 249-254.
9. G. Berkovic and E. Shafir, "Optical methods for distance and displacement measurements," Advances in Optics and Photonics 4, 2012, pp. 441-471. DOI: 10.1364/AOP.4.000441.
10. Y. R. Huddart, "Non-contact free-form shape measurement for coordinate measuring machines," dissertation, Heriot-Watt University, 2010.

11. Скляренко М.С. Оценка точности методов трекинга для определения 2D-координат и скоростей механических систем по данным цифровой фотосъемки // Компьютерная оптика. – 2015. – №1. – С. 125-135.
12. Борминский С.А. Метод оптоэлектронного контроля жидкости в резервуаре / С.А. Борминский, А.В. Солнцева, Б.В. Скворцов // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40. – №4. – С. 552-559.
13. ОЗМ150. Фотоэлектрические датчики для распознавания объектов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ifm.com/products/ru/ds/O3M150.htm> (дата обращения 05.05.2016).
14. Ишметьев Е.Н. Расчет насыпной плотности стального металлолома в совках для скрапа с использованием трехмерной камеры / Е.Н. Ишметьев, Д.В. Чистяков, А.Н. Панов, Е.Э. Бодров, Д.В. Рабаджи // Черные металлы. – 2017. – №4. – С. 22-28.

AUTOMATED CALCULATION OF SCRAP-METAL'S VOLUME IN OXYGEN CONVERTER PROCESS USING 3D-CAMERA

E.N. Ishmetyev¹, D.V. Chistyakov¹, A.N. Panov¹, E.E. Bodrov²

¹ CJSC «KonsOM SKS», Magnitogorsk, Russia

² Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. One of the important technological parameters of an oxygen converter process is bulk density of steel scrap-metal that is used as a refrigerant. Information about the weight of the scrap-metal that is loaded into a peel is provided by scales that is part of an automation process control system. Having data about the scrap-metal's volume and mass, the bulk density can be calculated using those two parameters. This paper describes a method of calculating the volume of steel scrap-metal using a 3D-camera with time-of-flight sensor. The obtained value of the volume then can be used to calculate bulk density of the scrap-metal.

Keywords: oxygen converter furnace, object's volume measurement, time-of-flight 3D-camera, scrap-metal, bulk density.

REFERENCES

1. Makarova E.A., Peristyj M.M. Problems of converter steel production and ways to solve scrap deficit [Problemy konvertornogo proizvodstva stali i puti reshenija defitsita metalloloma], Proc. "Ohrana okruzhajushhej sredy i racional'noe ispol'zovanie prirodnyh resursov: XXIII Vseukrainskaja nauchnaja konferencija aspirantov i studentov", Donetsk, DonNTU, DonNU, 2013, vol.2, pp. 158-159.
2. Sheljagovich A.V. Razrabotka rezhimov formirovanija metallozavalki v kislorodnom konvertere s primeneniem kompozicionnyh materialov i issledovanie ih vlijanija na tehnologicheskie pokazateli vyplavki stali: dissertacija kand. tehn. nauk [Development of modes for forming metal scrap in the oxygen converter with the use of composite materials and study of their effect on technological parameters of steel smelting: dissertation of Ph.D. (Eng.)], Moscow, 2005, 211 p.
3. T. Möller, H. Kraft, J. Frey, M. Albrecht and R. Lange, "Robust 3D measurement with PMD sensors," Proceedings of the 1st Range Imaging Research Day at ETH, Zurich, Switzerland, 2005.
4. Q. Xu, Y. Huang, L. Xing, Z. Tian, Z. Fei and L. Zheng, "A fast method to measure the volume of a large cavity," IEEE Access, 2015, pp. 1555 – 1561. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2476661.
5. Y. D. Chincholkar and S. Bangadkar, "A Review of ToF PMD Camera," International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, vol. 4, Issue 5, 2015, pp. 4142-4149. DOI: 10.15662/ijareeie.2015.0405058.
6. Paterikin V.I. Optical sounding methods used in head devices for measuring spatial parameters of three-dimensional objects' surface in real time [Opticheskie metody zondirovanija dlja nagolovnyh sredstv izmerenija prostranstvennyh parametrov poverhnosti trehmernyh predmetov v real'nom vremeni], Interjekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia], 2015, no.2, pp. 44-48.
7. Krysin D.Ju., Nebylov A.V. The use of time-of-flight PMD cameras to determine distance to the water surface [Primenenie vremjaproletnyh PMD-kamer dlja opredelenija dal'nosti do vodnoj poverhnosti], Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki [Scientific and Technical Herald of Information Technologies, Mechanics and Optics], 2013, no.2(84), pp. 33-39.
8. Rutkovskij V.O., Rutkovskaja M.A. The method of obtaining three-dimensional digital models of technical objects, based on the use of artificial textures [Metod poluchenija trehmernyh cifrovyh modelej tehnicheskikh ob'ektov, osnovannyj na primenenii iskusstvennyh tekstur], Vestnik SibGAU [Bulletin of Siberian State University of Management], 2010, no.5, pp. 249-254.
9. G. Berkovic and E. Shafir, "Optical methods for distance and displacement measurements," Advances in Optics and Photonics 4, 2012, pp. 441-471. DOI: 10.1364/AOP.4.000441.
10. Y. R. Huddart, "Non-contact free-form shape measurement for coordinate measuring machines," dissertation, Heriot-Watt University, 2010.
11. Skljarenko M.S. Estimation of the accuracy of tracking methods for determining 2D coordinates and speeds of mechanical systems based on digital photography data [Ocenka tochnosti metodov trekinga dlja opredelenija

-
- 2D-koordinat i skorostej mehanicheskikh sistem po dannym cifrovoj fotos'jomki], Komp'yuternaja optika [Computer Optics], 2015, no.1, pp. 125-135.
12. Borminskij S.A., Solnceva A.V., Skvorcov B.V. The method of optoelectronic control of a liquid in a tank [Metod optojelektronnogo kontrolja zhidkosti v rezervuare], Komp'yuternaja optika [Computer Optics], 2016, vol. 40, no.4, pp. 552-559.
 13. O3M150. Fotojelektricheskie datchiki dlja raspoznavanija ob'ektov [O3M150. Photoelectric sensors for object recognition]. Available at: <https://www.ifm.com/products/ru/ds/O3M150.htm> (accessed 5 may 2016).
 14. Ishmet'ev E.N., Chistjakov D.V., Panov A.N., Bodrov E.Je., Rabadzhi D.V. Calculation of the bulk density of steel scrap in scoops for scrap using a three-dimensional camera [Raschet nasypnoj plotnosti stal'nogo metalloloma v sovkah dlja skrapa s ispol'zovaniem trehmernoj kamery], Chernye metally [Stahl und Eisen], 2017, no.4, pp. 22-28.