



Научная статья

УДК 622.684

DOI: 10.26730/2618-7434-2022-3-41-52

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D-СКАНИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Исмаилова Ш.Я., Закрасовский Д.И.

Кузбасский государственный технический университет Т.Ф. Горбачева



Информация о статье

Поступила:

28 августа 2022 г.

Рецензирование:

22 сентября 2022 г.

Принята к печати:

30 сентября 2022 г.

Ключевые слова:

добыча полезных ископаемых,
горные машины, карьерный
самосвал, технология 3D-
сканирования, 3D-сканер,
обратное проектирование,
открытые горные работы

Аннотация.

В статье рассматривается возможность применения технологии 3D-сканирования при создании карьерных самосвалов. Кратко обоснована актуальность создания отечественных карьерных самосвалов большой грузоподъемности. Отмечается, что при создании новых самосвалов необходимо учитывать опыт их эксплуатации. Для исследования условий эксплуатации карьерного самосвала предложено применить технологии 3D-сканирования посредством ручных 3D-сканеров производства компании Artec 3D. Такими 3D-сканерами были отсканированы компоненты колес карьерных самосвалов Caterpillar и Komatsu грузоподъемностью 90 тонн. На основе 3D-сканов разработаны твердотельные модели компонентов колес, а также проведен контроль геометрии. Установлено, что по полученным моделям и сборкам компонентов колеса возможна разработка рабочей конструкторской документации для их изготовления; также возможен анализ конструкции (например, методом конечных элементов) для дальнейшего ее совершенствования. В заключении отмечено, что 3D-сканирование возможно применять при создании нового оборудования, в том числе карьерных самосвалов. Данная технология позволяет учитывать износ компонентов от эксплуатации, находя слабые места, которые подвергаются значительным износам или деформациям, и устранять их.

Для цитирования: Исмаилова Ш.Я., Закрасовский Д.И. Применение технологии 3D-сканирования при создании карьерных самосвалов // Техника и технология горного дела. 2022. № 3(18). С. 42-52. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-3-41-52

Введение

Введенные санкции в отношении к России не прошли бесследно. При значительной доле эксплуатируемого импортного оборудования остро встают вопросы по его обслуживанию. Запрет на поставки запасных частей и расходных материалов импортными поставщиками приводит к простоям техники. Любой простой оборудования оказывает влияние на объемы производства и, несомненно, на прибыль предприятия [1-3]. Поэтому государством поддерживаются направления, связанные с созданием отечественной техники, не уступающей по характеристикам импортным аналогам [4-6].

Одной из сфер производства, особо пострадавшей от санкций, является горнодобывающая промышленность, доля импортного оборудования в которой составляет более 60%. Остановка поставок импортных запчастей к эксплуатируемой технике и запрет поставок новой техники приводят к уменьшению объемов добычи полезных ископаемых. Основную долю ПИ добывают открытым способом (около 70%) [7-11]. Из всех видов техники на карьерах полностью

импортными являются карьерные самосвалы (КС) грузоподъемностью от 60 тонн, предназначенные для транспортирования ПИ и вскрышных пород.

Таким образом, создание отечественных КС большой грузоподъемности является актуальной задачей.

Для решения поставленной задачи Правительством РФ издано распоряжение от 11.05.2022 N 1144-Р «Об утверждении комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла "Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения"». Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева является исполнителем проекта на тему: «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. С применением цифровых технологий эксплуатации отечественных беспилотных карьерных самосвалов параллельно решается задача повышения безопасности рабочих на горнодобывающих предприятиях.

Основная часть

Карьерный самосвал – это сложная техника, состоящая из множества систем и компонентов [12-17]. Опыт эксплуатации существующих карьерных самосвалов необходимо учитывать при создании новых транспортных средств. К примеру, разные компоненты изнашиваются за разный период эксплуатации, либо компонент с одной геометрией оказывается надежнее того же компонента с другой геометрией.

Для исследования влияния условий эксплуатации карьерных самосвалов на их системы и компоненты нами предлагается применение технологии 3D-сканирования. 3D-сканирование – систематический процесс создания трехмерной модели реального объекта, с помощью специального устройства – 3D-сканера [18, 19]. Данная технология активно развивается во всем мире. В основном она направлена на обратное проектирование.

Обратное проектирование (reverse engineering) – процесс проектирования цифровой модели, которая описывает объект и его технологические свойства путем выполнения комплексного анализа его структуры и позволяющий значительно сократить время на разработку 3D-модели [20].

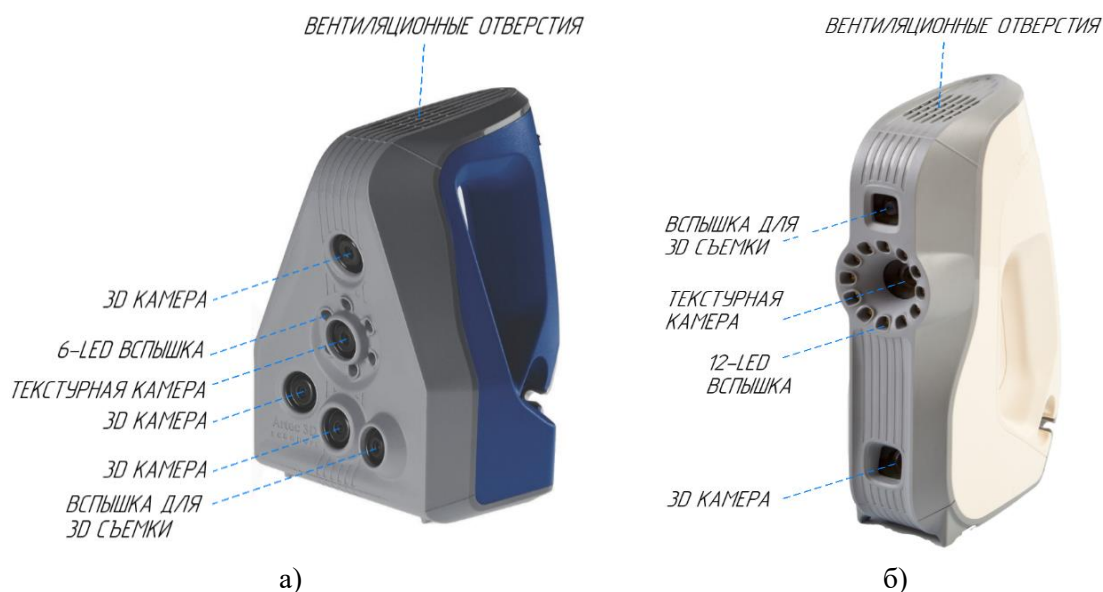


Рис. 1. Ручные сканеры Artec 3D: а – Artec Spider; б – Artec Eva
Fig. 1. Artec 3D hand scanners: a – Artec Spider; b – Artec Eva

Для оценки возможности применения технологии 3D-сканирования при создании карьерных самосвалов применялись ручные сканеры производства компании Artec 3D:



Таблица 1. Технические характеристики 3D-сканеров Artec 3D
Table 1. Technical characteristics of Artec 3D 3D scanners

Параметр	3D-сканер	
	Artec Spider	Artec EVA
3D-разрешение	0,1 мм	0,2 мм
3D-точность*	0,05 мм	0,1 мм
Площадь захвата детали при сканировании, до	180×140 мм	536×731 мм
Погрешность в зависимости от габаритов детали	0,03% на 1000 мм	0,03% на 1000 мм
Калибровка	Требуется	Не требуется

*допустимое отклонение каждой точки полученной 3D-модели от физического образца.

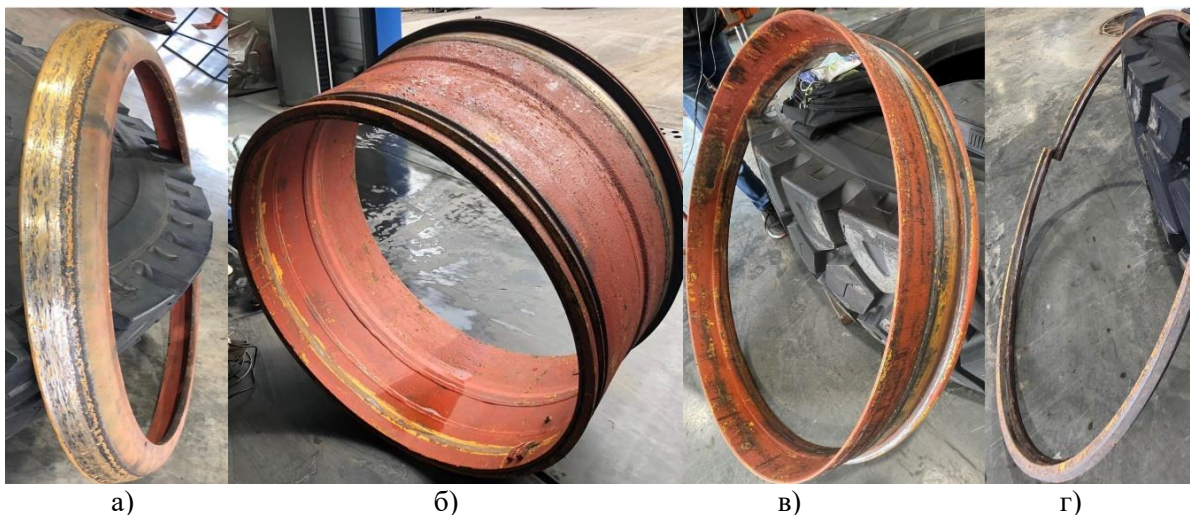


Рис. 2. Фотографии компонентов колеса Caterpillar: а – кольцо бортовое; б – обод; в – кольцо клиновое; г – кольцо стопорное

Fig. 2. Photos of Caterpillar wheel components: a – side ring; b – rim; c – wedge ring; d – locking ring



Рис. 3. Фотографии компонентов колеса Komatsu: а – кольца бортовые и клиновое; б – обод; в – кольцо стопорное

Fig. 3. Photos of Komatsu wheel components: a – side and wedge rings; b – rim; c – locking ring

– Artec Spider (рис. 1-а), сканер высокого разрешения применяется для сканирования мелких объектов [21].

– Artec Eva (рис. 1-б), который применяется для сканирования объектов средних размеров [4].

Оба сканера могут применяться как по отдельности, так и совместно. Технические характеристики сканеров приведены в таблице 1.

3D-сканерами сканировались компоненты колес КС Caterpillar (рис. 2) и Komatsu (рис. 3) грузоподъемностью 90 тонн.

Перед сканированием деталь необходимо подготовить, очистить поверхности от загрязнений. Далее для упрощения сканирования и дальнейшей обработки сканов детали возможно нанести метки.

Сам процесс сканирования выполнялся перемещением 3D-сканера на оптимальном для работы расстоянии в несколько маршрутов.

Для 3D-сканирования применяется программный комплекс Artec Studio 16 Professional. В нем в режиме реального времени отображается процесс 3D-сканирования. На изображении отображено то, что уже отсканировано. Итогом процесса 3D-сканирования является получение 3D-скана деталей (рис. 4).

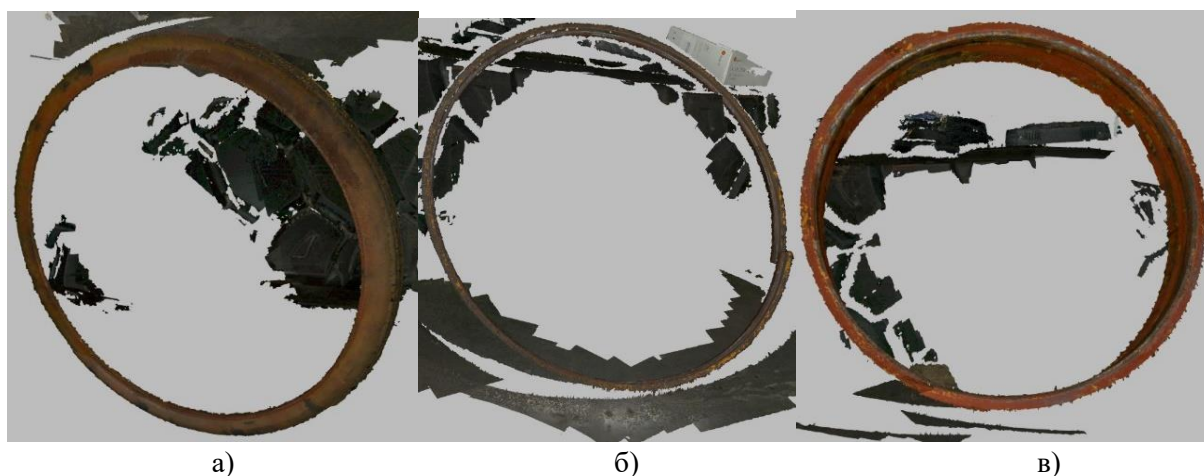


Рис. 4. Полученные 3D-сканы деталей: а – кольцо бортовое; б – кольцо стопорное; в – кольцо клиновое
Fig. 4. Obtained 3D scans of parts: a – side ring; b – locking ring; c – wedge ring

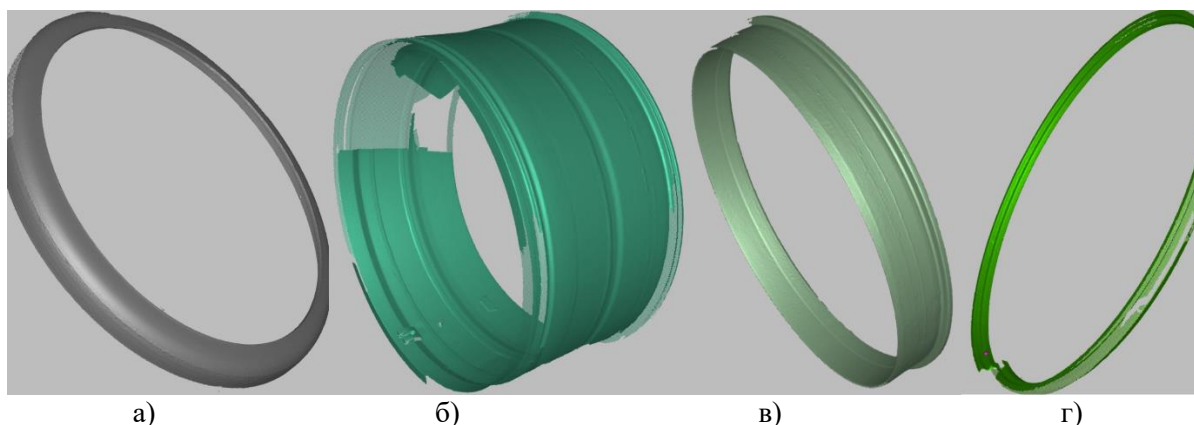


Рис. 5. Полигональные модели компонентов колеса Caterpillar:
а – кольцо бортовое; б – обод; в – кольцо клиновое; г – кольцо стопорное
Fig. 5. Polygonal models of Caterpillar wheel components:
a – side ring; b – rim; c – wedge ring; d – locking ring

Далее выполняется операция «Обработка». Отсканированные компоненты обрабатываются в программном комплексе Artec Studio 16 Professional путем следующих действий: выравнивание, глобальная регистрация, удаление полигонального шума, обработка фьюжн и

фильтрование мелких объектов. В результате обработки 3D-сканов были получены полигональные модели (рис. 5, 6).

На основе полигональных моделей компонентов колеса КС были разработаны твердотельные модели в системе трехмерного проектирования Siemens NX (рис. 7, 8). На данном этапе возник ряд проблем:

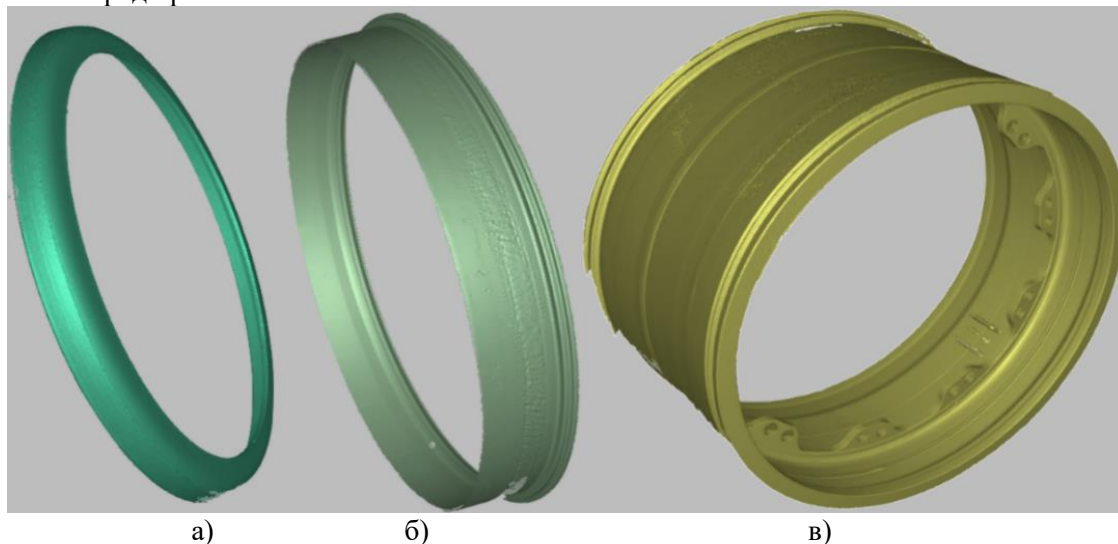


Рис. 6. Полигональные модели компонентов колеса Komatsu: а – кольцо бортовое; б – кольцо клиновое; в – обод

Fig. 6. Polygonal models of Komatsu wheel components: a – side ring; b – wedge ring; c – rim

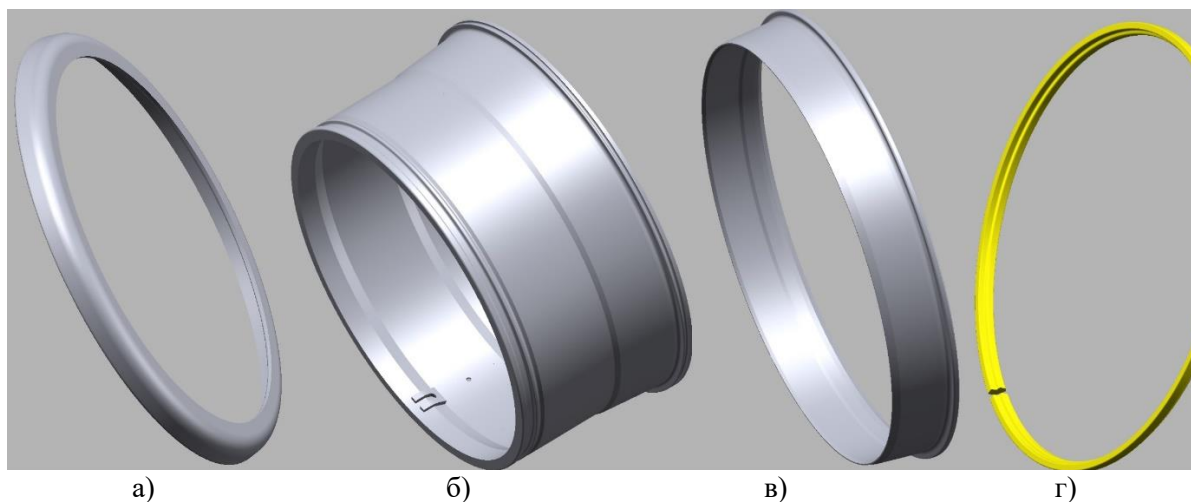


Рис. 7. Твердотельные модели компонентов колеса Caterpillar:

а – кольцо бортовое; б – обод; в – кольцо клиновое; г – кольцо стопорное

Fig. 7. Solid-state models of Caterpillar wheel components:

a - side ring; b – rim; c – wedge ring; d – locking ring

– часть отсканированных компонентов были после эксплуатации, поэтому пришлось учитывать различные дефекты на поверхности;

– компоненты изготавливались с учетом различных допусков, поэтому при разработке эталонных моделей пришлось опираться на различную найденную документацию, в том числе и ГОСТ 26147-84.

– для сканирования было предоставлено по одному экземпляру колеса, тем самым не было возможности анализировать геометрические параметры между несколькими экземплярами, что привело к лишним затратам времени на разработку.

Затем компоненты экспортировались в программный комплекс КОМПАС-3D, в котором объединялись в сборки (рис. 9, 10).

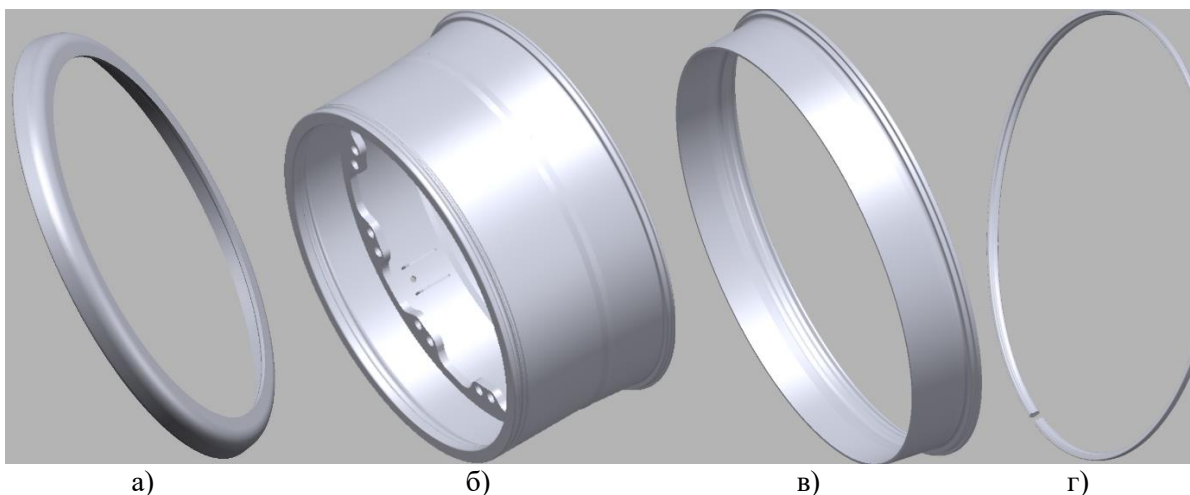


Рис. 8. Твердотельные модели компонентов колеса Komatsu: а – кольцо бортовое; б – обод; в – кольцо клиновое; г – кольцо стопорное

Fig. 8. Solid-state models of Komatsu wheel components: a - side ring; b - rim; c - wedge ring; d - locking ring

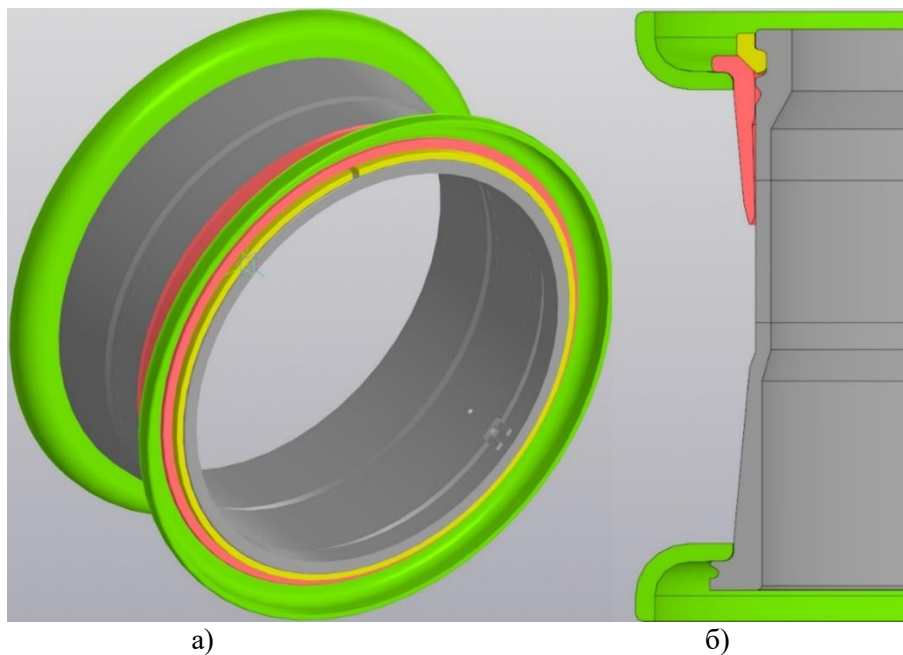


Рис. 9. Обод Caterpillar в сборе: а – изометрия; б – вид в разрезе

Fig. 9. Caterpillar rim assembly: a – isometry; b – sectional view

На основе полученных моделей и сборок компонентов колеса возможна разработка рабочей конструкторской документации для их изготовления. Также возможен анализ конструкции, например методом конечных элементов, для дальнейшего ее совершенствования.

Программный комплекс Artec Studio 16 Professional позволяет проводить контроль геометрии.

Контроль геометрии – анализ двух моделей на наличие отклонений. Для этого было проведено сравнение разработанных моделей с 3D-сканами на анализ отклонений в Artec Studio 16 Professional (Рисунок 11), которое выглядит в виде карты отклонений. На карте наглядно видно, где и насколько имеются отклонения размеров поверхностей одной модели от другой.

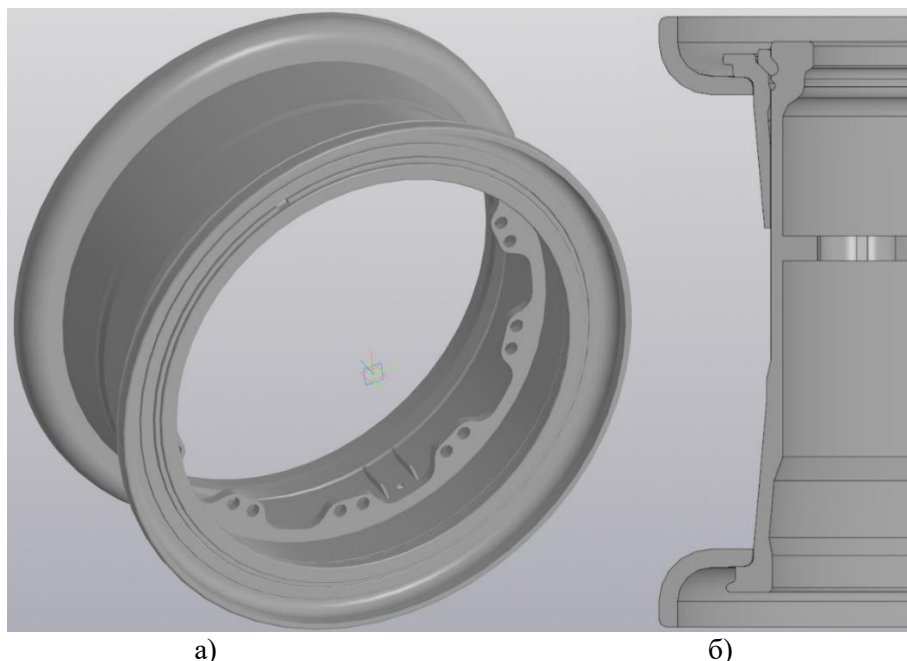


Рис. 10. Обод Komatsu в сборе: а – изометрия, б – вид в разрезе
Fig. 10. Komatsu rim assembly: a – isometry, b – sectional view

Выводы

Технологию 3D-сканирование возможно рассматривать не только для обратного проектирования, а также для анализа износа компонентов в период эксплуатации. Также методом конечных элементов, можно проводить анализ конструкции для дальнейшего ее совершенствования.

3D-сканирование возможно применять при создании нового оборудования, в том числе КС. Данная технология позволяет учитывать износ компонентов от эксплуатации, находя слабые места, которые подвергаются значительным износам или деформациям, и устранять их.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 г. №075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс») в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

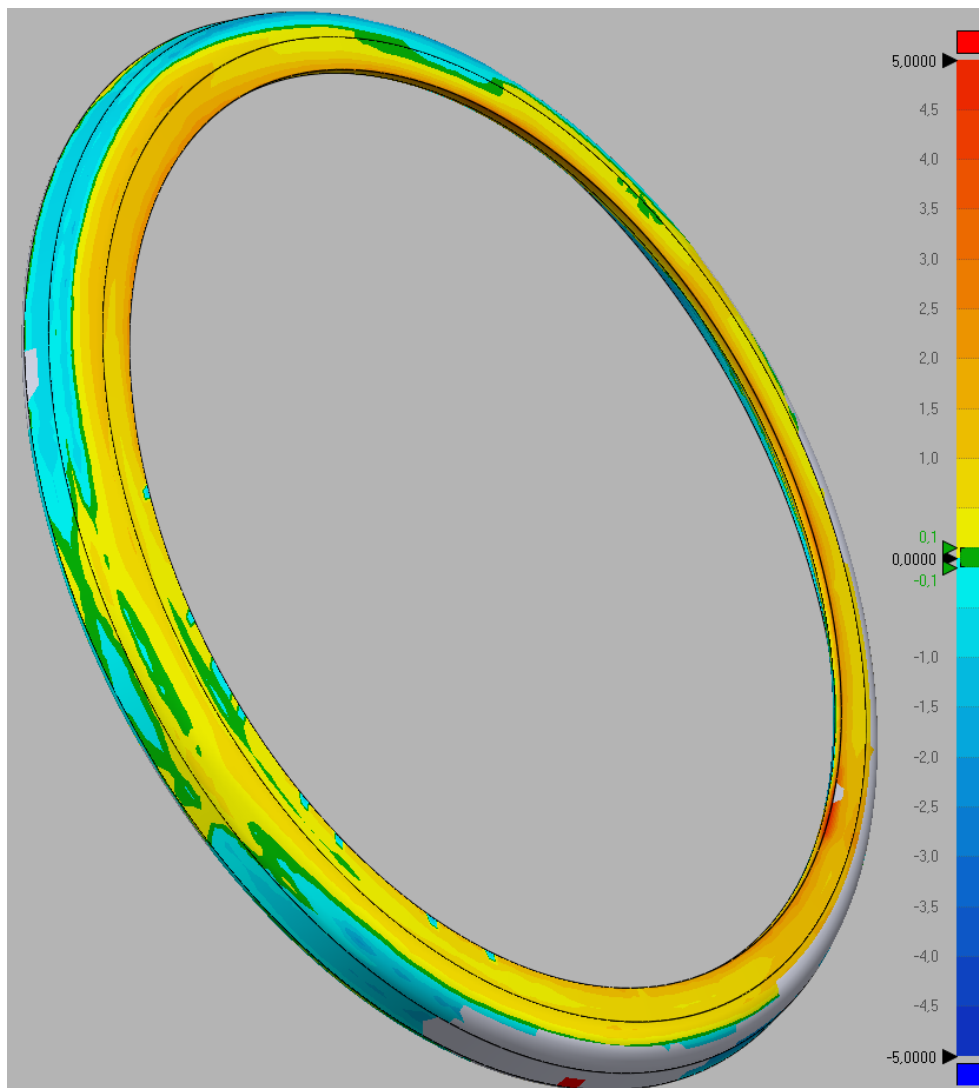


Рис. 11. Геометрический контроль кольца бортового
Fig. 11. Geometric control of the on-board ring

Список литературы

1. Дубинкин, Д. М. Перспективы высокотехнологичного производства карьерных самосвалов / Д. М. Дубинкин, Н. Н. Голофастова // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2022. – № 5. – С. 180-184.
2. Дубинкин Д., Голофастова Н. Инженерные решения в повышении экологической безопасности карьерного транспорта. Экология и промышленность России. 2022;26(11):8-12. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-11-8-12>.
3. Evaluating the impact of excavator bucket capacity on the output of a haul truck in different variants of their positioning / V. V. Aksenov, D. M. Dubinkin, A. A. Khoreshok [et al.] // Journal of Physics: Conference Series : 3, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. Vol. 2052. – RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012001. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012001.
4. Research of control algorithm of traction drive of a mining dump truck using simulation models of motion / A. S. Muravyev, V. A. Shishkina, N. V. Buzunov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series : 3, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. Vol. 2052. – RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012028. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012028.
5. Study of the control algorithm of the braking system of an autonomous haul truck braking system with the use of imitational models / D. Dubinkin, A. Kartashov, A. Muraviev [et al.] // E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. Vol. 315. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 03021.



6. Об изменении эффективной производительности экскаваторов при использовании карьерных самосвалов с различной вместимостью кузова / А. А. Хорешок, Д. М. Дубинкин, С. О. Марков, М. А. Тюленев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 6(148). – С. 85-93. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93.
7. Разработка имитационной модели динамики карьерного автосамосвала для определения нагрузок, действующих на несущую систему и грузовую платформу при загрузке и разгрузке дисперсного груза / Д. М. Дубинкин, И. В. Чичекин, Я. Ю. Левенков, Г. А. Арутюнян // Горная промышленность. – 2021. – № 6. – С. 117-126. – DOI 10.30686/1609-9192-2021-6-117-126.
8. Разработка варианта гидравлической системы поворота автономного карьерного самосвала / К. А. Ананьев, А. Н. Ермаков, Д. М. Дубинкин [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 5(157). – С. 3-9. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-5-3-9.
9. Разработка программы и методики предварительных испытаний автономного карьерного самосвала / Д. М. Дубинкин, А. Б. Карташов, Г. А. Арутюнян [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 6(158). – С. 59-65. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-6-59-65.
10. Simulation of operation of a sequential hybrid drive of a haul truck with a traction battery and a bilateral DC-to-DC converter / N. V. Buzunov, R. D. Pirozhkov, A. B. Kartashov [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIT'2020, Veliky Novgorod, 25–26 июня 2020 года. Vol. 939. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012017. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012017.
11. Design hydrodynamic analysis of cavitation in narrow channels of the open-pit dump truck's hydraulic system / D. A. Panasenkov, A. P. Zaycev, A. B. Kartashov [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering: The conference proceedings ISPCIT'2020, Veliky Novgorod, 25–26 июня 2020 года. Vol. 939. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012057. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012057.
12. Разработка критериев обеспечения гидравлических процессов в узких каналах гидросистемы при создании новых карьерных самосвалов / Д. А. Панасенков, А. П. Зайцев, Н. А. Пикалов [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 6(142). – С. 98-108. – DOI 10.26730/1999-4125-2020-6-98-108.
13. Using a wavelet medium for computer-aided controlling the movement of unmanned vehicles along quarry routes / I. Chicherin, B. Fedosenkov, I. Syrkin [et al.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – No 2. – P. 103-112. – DOI 10.21440/0536-1028-2021-2-103-112.
14. Developing the concept of autonomous control of the quarry vehicles movement / I. V. Chicherin, B. A. Fedosenkov, D. M. Dubinkin, W. Zhenbo // E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. Vol. 315. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 03023. – DOI 10.1051/e3sconf/202131503023.
15. Technogenic Rock Dumps Physical Properties' Prognosis via Results of the Structure Numerical Modeling / S. Markov, V. Martyanov, E. Preis, A. Abay // E3S Web of Conferences. – 2017. – Vol. 21. – Article 01021. – DOI 10.1051/e3sconf/20172101021. – EDN ZRMUUP.
16. Дубинкин, Д. М. Методика определения нагрузок, действующих при погрузке и разгрузке грузовой платформы (кузова) карьерного самосвала / Д. М. Дубинкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – № 3(161). – С. 31-49. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.
17. Дубинкин, Д. М. Основы цифрового создания автономных карьерных самосвалов / Д. М. Дубинкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – № 2(160). – С. 39-50. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50.
18. Все о 3d-сканерах: от разновидностей до применения // электронное: официальный сайт. – URL: <https://can-touch.ru/vse-o-3d-skanerax/>.
19. 3D-сканеры. История и применение // электронное: официальный сайт. – URL: <https://ria-stk.ru/mi/adetail.php?ID=205175> (3D-сканеры. История и применение).
20. Реверс-инжиниринг (обратное проектирование) // электронное: официальный сайт. – URL: <http://pgmk.ru/revers-inzhiniring-obratnoye-proyektirovaniye>
21. Professional 3D Scanners. Artec 3D. Best 3D Scanning // электронное: официальный сайт. – URL: <https://www.artec3d.com/>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



© 2022 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Исмаилова Шахназ Ямиловна, магистр гр. КТМ-211, инженер второй категории научного центра «Цифровые технологии»
e-mail: ismailovashja@kuzstu.ru

Закрасовский Дмитрий Иванович, магистр гр. МРМ-221, техник научного центра «Цифровые технологии»
e-mail: zakrasovskydi@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
Российская Федерация, Кемеровская область – Кузбасс, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

APPLICATION OF 3D-SCANNING TECHNOLOGY IN THE CREATION OF QUARRY DUMP TRUCKS

Shakhraz Y. Ismailova, Dmitry I. Zakrasovsky

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University



Article info

Received:
28 August 2022

Revised:
22 September 2022

Accepted:
30 September 2022

Keywords: mineral extraction,
mining machines, quarry dump
truck, 3D scanning technology,
3D scanner, reverse engineering,
open pit mining

Abstract.

The article considers the possibility of using 3D-scanning technology when creating dump trucks. The relevance of creating domestic large-capacity dump trucks is briefly justified. It is marked, that at creation of new dump trucks it is necessary to consider experience of their operation. For research of operating conditions of the mine dump truck it is offered to apply technologies of 3D-scanning by means of manual 3D-scanners of Artec 3D production. These 3D-scanning devices scanned the wheel components of dump trucks Caterpillar and Komatsu with payload capacity of 90 tons. On the basis of 3D-scans we developed solid models of wheel components and checked the geometry. It is established that according to the received models and assemblies of wheel components it is possible to develop working design documentation for their manufacturing; also, it is possible to analyze the design (for example, by the finite element method) for its further improvement. In conclusion it is noted that 3D-scanning can be applied when creating new equipment, including quarry dump trucks. This technology makes it possible to take into account wear and tear of components from operation, finding weak points that are subject to significant wear or deformations, and to eliminate them.

For citation Ismailova Sh., Zakrasovsky D. (2022) Application of 3D-scanning technology in the creation of quarry dump trucks, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 3(18):41. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-3-41-52

References

1. Dubinkin, D. M. Perspektivy vysokotekhnologichnogo proizvodstva kar'ernykh samosvalov / D. M. Dubinkin, N. N. Golofastova // Konkurentosposobnost' v global'nom mire: jekonomika, nauka, tehnologii. – 2022. – № 5. – S. 180-184.
2. Dubinkin D., Golofastova N. Inzhenernye reshenija v povyshenii jekologicheskoy bezopasnosti kar'ernogo transporta. Jekologija i promyshlennost' Rossii. – 2022. – Vol. 26(11). – pp. 8-12. DOI: 10.18412/1816-0395-2022-11-8-12.



3. Evaluating the impact of excavator bucket capacity on the output of a haul truck in different variants of their positioning / V. V. Aksenov, D. M. Dubinkin, A. A. Khoreshok [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 2052. – P. 012001. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012001.
4. Research of control algorithm of traction drive of a mining dump truck using simulation models of motion / A. S. Muravyev, V. A. Shishkina, N. V. Buzunov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. Vol. 2052. – RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012028. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012028.
5. Study of the control algorithm of the braking system of an autonomous haul truck braking system with the use of imitational models / D. Dubinkin, A. Kartashov, A. Muraviev [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 315. – Article 03021.
6. Ob izmenenii jeffektivnoj proizvoditel'nosti jekskavatorov pri ispol'zovanii kar'ernyh samosvalov s razlichnoj vmestimost'ju kuzova / A. A. Khoreshok, D. M. Dubinkin, S. O. Markov, M. A. Tyulenev // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2021. – № 6(148). – S. 85-93. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93.
7. Razrabotka imitacionnoj modeli dinamiki kar'ernogo avtosamosvala dlja opredelenija nagruzok, dejstvujushhih na nesushhuju sistemu i gruzovuju platformu pri zagruzke i razgruzke dispersnogo gruzha / D. M. Dubinkin, I. V. Chichekin, Ja. Ju. Levenkov, G. A. Arutjunjan // Gornaja promyshlennost'. – 2021. – № 6. – S. 117-126. – DOI 10.30686/1609-9192-2021-6-117-126.
8. Razrabotka varianta gidravlicheskoj sistemy povorota avtonomnogo kar'ernogo samosvala / K. A. Anan'ev, A. N. Ermakov, D. M. Dubinkin [i dr.] // Gornoe oborudovanie i jelektromehanika. – 2021. – № 5(157). – S. 3-9. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-5-3-9.
9. Razrabotka programmy i metodiki predvaritel'nyh ispytaniy avtonomnogo kar'ernogo samosvala / D. M. Dubinkin, A. B. Kartashov, G. A. Arutjunjan [i dr.] // Gornoe oborudovanie i jelektromehanika. – 2021. – № 6(158). – S. 59-65. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-6-59-65.
10. Simulation of operation of a sequential hybrid drive of a haul truck with a traction battery and a bilateral DC-to-DC converter / N. V. Buzunov, R. D. Pirozhkov, [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering. – 2020. – Vol. 939. – P. 012017. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012017.
11. Design hydrodynamic analysis of cavitation in narrow channels of the open-pit dump truck's hydraulic system / D. A. Panasenkov, A. P. Zajcev, A. B. Kartashov [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering. – 2020. – Vol. 939. – P. 012057. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012057.
12. Razrabotka kriteriev obespechenija gidravlicheskih processov v uzkih kanalakh gidrosistemy pri sozdanii novyh kar'ernyh samosvalov / D. A. Panasenkov, A. P. Zajcev, N. A. Pikalov [i dr.] // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2020. – № 6(142). – S. 98-108. – DOI 10.26730/1999-4125-2020-6-98-108.
13. Using a wavelet medium for computer-aided controlling the movement of unmanned vehicles along quarry routes / I. Chicherin, B. Fedosenkov, I. Syrkin [et al.] // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal. – 2021. – No 2. – P. 103-112. – DOI 10.21440/0536-1028-2021-2-103-112.
14. Developing the concept of autonomous control of the quarry vehicles movement / I. V. Chicherin, B. A. Fedosenkov, D. M. Dubinkin, W. Zhenbo // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 315. – Article 03023. – DOI 10.1051/e3sconf/202131503023.
15. Technogenic Rock Dumps Physical Properties' Prognosis via Results of the Structure Numerical Modeling / S. Markov, V. Martyanov, E. Preis, A. Abay // E3S Web of Conferences. – 2017. – Vol. 21. – Article 01021. – DOI 10.1051/e3sconf/20172101021. – EDN ZRMUUP.
16. Dubinkin, D. M. Metodika opredelenija nagruzok, dejstvujushhih pri pogruzke i razgruzke gruzovoj platformy (kuzova) kar'ernogo samosvala / D. M. Dubinkin // Gornoe oborudovanie i jelektromehanika. – 2022. – № 3(161). – S. 31-49. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.
17. Dubinkin, D. M. Osnovy cifrovogo sozdanija avtonomnyh kar'ernyh samosvalov / D. M. Dubinkin // Gornoe oborudovanie i jelektromehanika. – 2022. – № 2(160). – S. 39-50. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50.
18. Vse o 3d-skanerakh: ot raznovidnostej do primeneniya // jelektronnoe: oficial'nyj sajt. – URL: <https://can-touch.ru/vse-o-3d-skanerax/>.
19. 3D-skanery. Istoriya i primenenie // jelektronnoe: oficial'nyj sajt. – URL: <https://ria-stk.ru/mi/adetail.php?ID=205175> (3D-skanery. Istoriya i primenenie).
20. Revers-inzhiniring (obratnoe proektirovanie) // jelektronnoe: oficial'nyj sajt. – URL: <http://pgmk.ru/revers-inzhiniring-obratnoye-proektirovaniye>
21. Professional 3D Scanners. Artec 3D. Best 3D Scanning // jelektronnoe: oficial'nyj sajt. – URL: <https://www.artec3d.com/>.



Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2022 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Shakhnaz Ya. Ismailova, engineer of the Research Center «Digital Technologies», master student
e-mail: ismailovashja@kuzstu.ru

Dmitry I. Zakrasovsky, technician of the Research Center «Digital Technologies», master student

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
650000, Russian Federation, Kemerovo, 28 Vesennyaya St.

