

ISSN 1999-4125 (Print)

**ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
ENGINEERING TECHNOLOGY**

Научная статья

УДК 004.925.83

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-1-34-41

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-СКАНИРОВАНИЯ В РЕВЕРСИВНОМ
ИНЖИНИРИНГЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ****Петров Николай Викторович, Нозирзода Шодмон Салохидин,
Петрова Екатерина Дмитриевна**

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

*для корреспонденции: shoni_1997@mail.ru

**Информация о статье**

Поступила:

18 ноября 2022 г.

Одобрена после
рецензирования:

15 января 2023 г.

Принята к публикации:

28 февраля 2023 г.

Опубликована:

30 марта 2023 г.

Ключевые слова:*реверсивный инжиниринг, 3D-сканирование, поверхности, твердотельная модель, облако точек, моделирование, трубопроводная арматура, автомобильный тюнинг.***Аннотация.**

Реверсивный инжиниринг является одним из современных методов создания цифровых моделей по образцу физического объекта, который может стать ценным инструментом для разработки различных прототипов изделия наряду с другими традиционными технологиями. Реверсивный инжиниринг с использованием 3D-сканирования открывает множество возможностей для разработки и производства продукта. Различные области применения реверсивного инжиниринга можно разделить на три основных применения: для создания прототипов деталей, для создания вариаций существующих деталей или для разработки совершенно новых деталей на основе существующей среды или объекта. Одним из наиболее популярных применений данной технологии является воссоздание поврежденных или изношенных деталей, которые недоступны у оригинального поставщика или не имеют надлежащей документации. Это распространенная проблема при работе со старым оборудованием или старинными автомобилями, и в этом случае всегда сложно работать с ручными инструментами обратного проектирования. В статье приведены результаты разработки корпусных деталей на примере нефтегазовой и автомобильной промышленности методом 3D-сканирования. Рассмотрена возможность использования данной технологии в реверсивном инжиниринге при отсутствии конструкторской документации на конкретный компонент или сборочную единицу в рамках импортозамещения. Также приводятся результаты изготовленных деталей для тюнинга автомобиля посредством 3D-печати полимерами. По результатам работы сделаны соответствующие выводы об эффективности примененного метода в контексте экономической и временной составляющих.

Для цитирования: Петров Н.В., Нозирзода Ш.С., Петрова Е.Д. Применение технологий 3D-сканирования в реверсивном инжиниринге корпусных деталей // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 1 (155). С. 34-41. doi: 10.26730/1999-4125-2023-1-34-41

Актуальность работы.

На текущий момент в различных отраслях промышленности существует проблема подготовки технической документации для производства как отдельных деталей, так и сборочных единиц ввиду того, что многие зарубежные компании-изготовители ушли с российского рынка, обострив вопросы импортозамещения отдельных видов разрабатываемой продукции. Большое количество запасных частей продолжает храниться на складах, но рано или поздно они опустеют, что обернется серьезными проблемами с экономикой как отдельных предприятий, так и всей страны. Помимо этого, для сохранения объемов производства необходим метод, который позволит с необходимой скоростью обеспечивать прохождение технологического процесса от разработки чертежа до изготовления детали на станке и сборки готового продукта [1-5].

Таким образом, целью проведенного исследования являлся анализ возможности применения технологии 3D-сканирования для разработки конструкторской документации в рамках производственной деятельности компаний,

специализирующихся на использовании зарубежных деталей в технологических процессах изготовления конечного продукта на территории Российской Федерации.

Цель работы: исследование возможности применения технологий 3D-сканирования в реверсивном инжиниринге для изготовления корпусных деталей.

Для достижения поставленной задачи были рассмотрены следующие задачи:

- 1) Поверхностное сканирование деталей;
- 2) Обработка облака точек до получения поверхностей;
- 3) Разработка и коррекция твердотельной модели;
- 4) Разработка конструкторской документации конкретной детали;
- 5) Изготовление прототипа.

Методы исследования.

Основной инструмент для 3D-сканирования, предоставленный лабораторией «Прототипирования» центра «Междисциплинарных исследований и разработок» (Рис. 1), использует метод светового сканирования (LED) с объемной точностью 0,3 мм/м, зоной сканирования 209x160 мм – 310x240 мм и глубиной резкости ±100 мм. При этих параметрах



Рис. 1. Shining Einscan Pro HD
Fig. 2. Shining Einscan Pro HD

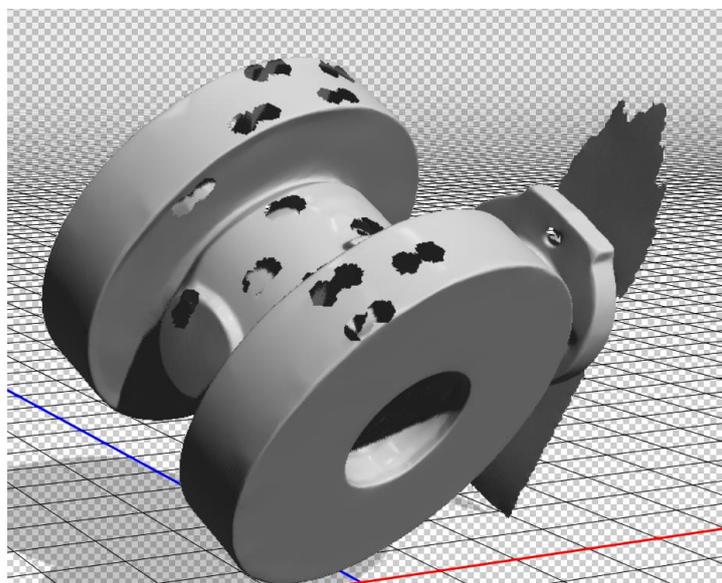


Рис. 2. Результаты сканирования регулирующей трубопроводной арматуры DN 80
Fig. 2. Results of scanning of regulating pipe fittings DN 80

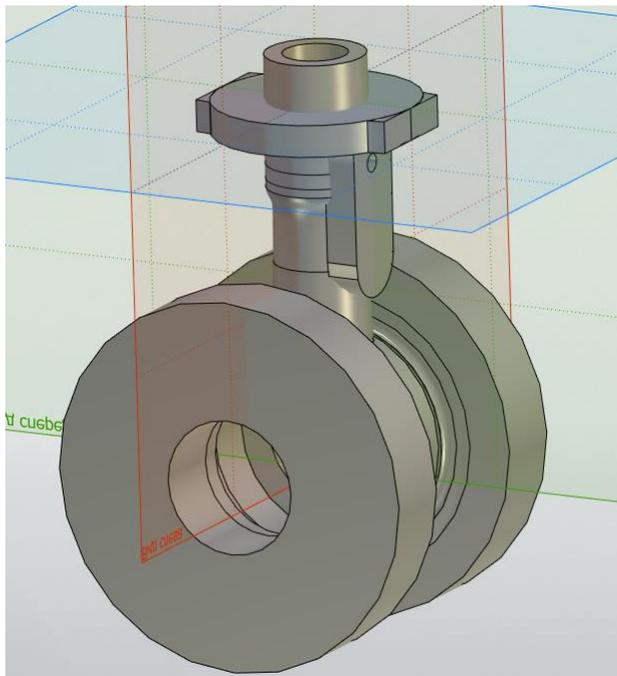


Рис. 3. Твердотельная 3D-модель трубопроводной арматуры DN 80

Fig. 3. Solid-state 3D-model of DN 80 pipe fittings

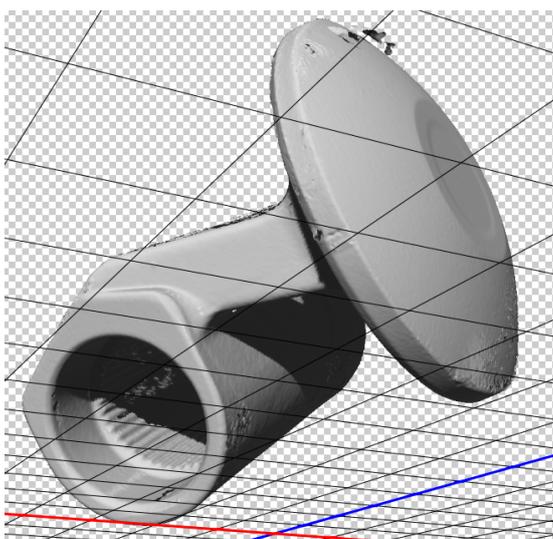


Рис. 4. Результаты сканирования плунжера с эксцентриковым смещением для трубопроводной арматуры

Fig. 4. Scanning results of the eccentric displacement plunger for pipe fittings

достигнутая точность 0,4 мкм соответствует заявленной производителем при использованном ручном режиме со скоростью 10 кадров/сек., 3 000 000 точек/сек [6-7].

Для проведения сканирования использовались реальные образцы деталей с заводов-изготовителей и поставщиков трубопроводной арматуры [8-9]. Для изготовления корпусных деталей в рамках тюнинга автомобиля были отсканированы отдельные участки BMW X3, а именно капот и бампер. На первом этапе были исследованы возможности получения облака точек с последующим объединением в поверхности. Результаты представлены на Рис. 2.

Так как деталь обладает отражающими свойствами ввиду того, что материалом, из которого она изготовлена, является нержавеющая сталь, образовались дефекты на получившихся плоскостях в виде отсутствующих точек для образования полигонов. Основная геометрия сохранилась, что позволило произвести коррекцию и создать твердотельную 3D-модель. Результат представлен на Рис. 3.

При использовании специализированных CAD систем, аналогичным образом, описанным в [9-10], были исправлены недоработки

объекта сканирования. Полученный результат позволяет производить дальнейшие работы по разработке конструкторской документации и ее внедрению в технологический процесс.

Сложная геометрия является наиболее востребованной в процессе реализации реверс-инжиниринга, так как в конкретных случаях не представляется возможным произвести обмеры поверхности с профильным контуром в виде параболы. Примером является исследование и моделирование корпуса плунжера с эксцентриковым смещением для ранее представленного корпуса трубопроводной арматуры [6]. В данном случае при сканировании была достигнута лучшая точность и меньшее количество дефектов, так как был использован специальный стол, на который устанавливается сканируемая деталь, а 3D-сканер закрепляется на штативе. Также

была отсканирована внутренняя часть в шлицевом исполнении. Результаты представлены на Рис. 4.

По результатам сканирования была скорректирована поверхностная модель и создана твердотельная 3D-модель. Результаты представлены на Рис. 5.

В рамках автомобильного тюнинга применялись аналогичные методы. При изготовлении капота возникла сложность в разработке решетки, располагаемой в центре (Рис. 6), ввиду сложной геометрии места, в которое необходимо произвести установку. Также достаточно важным был учет кастомизированного дизайна. Геометрия установочного места послужила ограничением, а элементы дизайна разрабатывались в процессе подготовки твердотельной модели.

Из Рис. 6 видно, что углубление имело дефекты и неровности в данном виде обработки, но именно на этом технологическом этапе были проведены работы, в ходе которых было произведено сканирование, в результате которого было получено облако точек поверхности с заданной точностью, позволившее с погрешностью $\pm 0,4$ мм создать необходимую твердотельную модель решетки, которую впоследствии изготовили посредством 3D-печати и установили на чистовую обработку капота (Рис. 8).

На Рис. 7 видно, что все дефекты также попали на поверхности после сканирования, однако в данном случае было необходимо получить именно геометрию, по которой проводилась разработка твердотельной модели с коррекцией.

Изучая современные подходы [12-15] в области реверсивного инжиниринга, можно заметить, что для быстрого прототипирования и восстановления единичных деталей в последнее время все чаще применяются инновационные технологические инструменты для повышения производительности и сокращения расходов.

Результаты.

Рассмотренные методы получения облака точек и плоских поверхностей с последующим созданием твердотельной 3D-модели позволяют в максимально короткие сроки получать

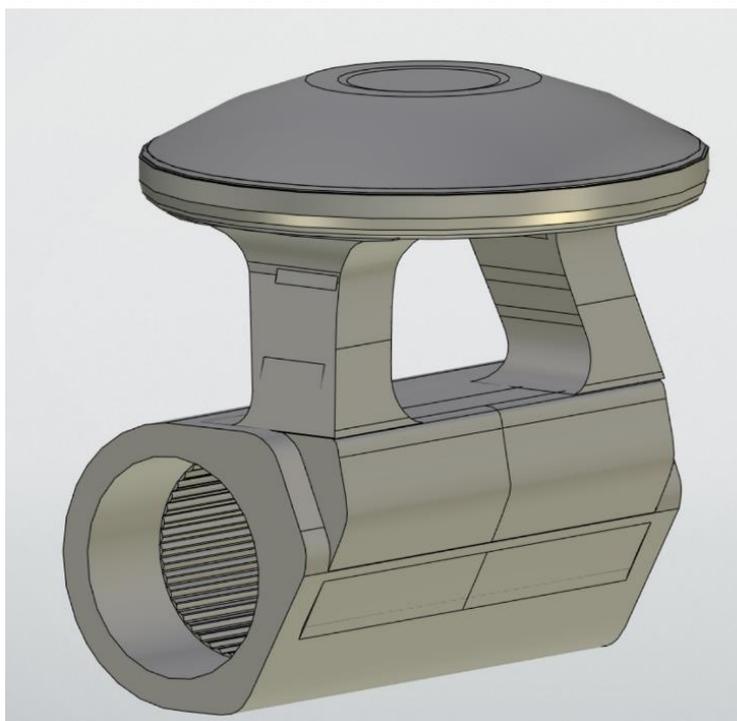


Рис. 5. Твердотельная 3D-модель плунжера трубопроводной арматуры

Fig. 5. Solid-state 3D-model of the plunger of pipe fittings



Рис. 6. Место установки решетки

Fig. 6. Grid installation location

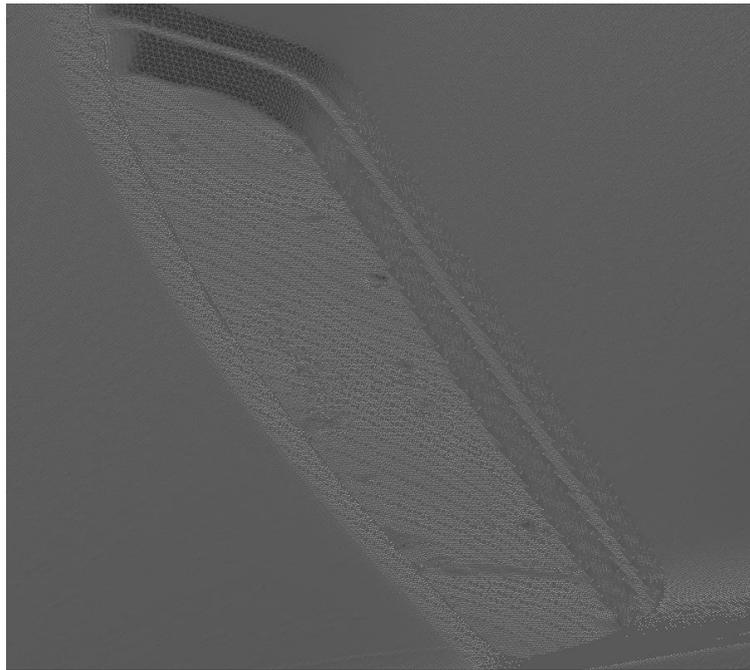


Рис. 7. Полученные результаты сканирования плоскости капота
Fig. 7. The obtained results of scanning the plane of the hood



Рис. 8. Напечатанная на 3D принтере твердотельная модель
после 3D-сканирования

Fig. 8. 3D printed solid-state model after 3D scanning

конструкторскую документацию при использовании современных систем автоматического проектирования, используемых на машиностроительных производствах. После разработки конструкторской документации возможна полноценная интеграция в технологический процесс без остановки производства конкретного вида продукции. Рассмотренный метод реверсивного инжиниринга позволяет сокращать экономические и временные издержки при разработке прототипов и проведении лабораторных исследований образцов.

Приведенные выше примеры использования демонстрируют центральную роль 3D-сканирования в реверсивном проектировании. Эффективность и точность данных, полученных с помощью 3D-сканирования, имеют решающие значения для успешного процесса реверсивного инжиниринга. Тем не менее, программные обеспечения, используемые для работы с 3D-моделями, необходимы для достижения желаемых результатов в реверсивном инжиниринге.

Таким образом, полученные результаты

свидетельствуют о необходимости внедрения методов 3D-сканирования для осуществления импортозамещения в рамках различных отраслей экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучеренко Н. А., Пикалов Я. Ю. Анализ технического и информационного обеспечения систем контроля геометрической точности деталей // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2014. № 4. С. 52-62.
2. Муклецов А. М., Золотов А. В., Федосова Л. О. Метод метрологического контроля деталей, изготовленных по аддитивной технологии, с использованием 3D-сканирования // Мир компьютерных технологий: сборник статей всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Севастополь, 05–09 апреля 2021 года. Севастополь : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет», 2021. С. 22-25.
3. Киселева А. Е., Корзин М. М., Спиридонов А. Ю. Цифровая трансформация конструкторско-технологической подготовки производства для строительства перспективной морской техники военного

назначения // Системы управления полным жизненным циклом высокотехнологичной продукции в машиностроении: новые источники роста: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 21 апреля 2021 года. Москва : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет), 2021. С. 117-126. DOI 10.18698/978-5-7038-5629-1-022.

4. Панин В. Е., Елсукова Т. Ф., Сурикова Н. С. [и др.] Роль поворотных мод деформации в процессах разрушения поликристаллов высококчистого алюминия при низкотемпературной ползучести // Деформация и разрушение материалов. 2016. № 12. С. 2–9.

5. Краюшкин П. А., Старостенко Т. Ю., Сулов А. А. Применение 3D сканирующих устройств в литейном производстве // Машиностроение. Тенденции развития современной науки: Материалы научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета, Липецк, 14–18 апреля 2018 года. Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2018. С. 8-10.

6. Официальный сайт прибора Shining Einscan Pro HD: сайт. 2022. URL: <https://www.einscan.com/handheld-3d-scanner/einscan-pro-hd/> (дата обращения: 05.10.2022).

7. Lagüela S., Martínez J., Armesto J., Arias P. Energy efficiency studies through 3D laser scanning and thermographic technologies // Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. No 6. P. 1216-1221. DOI 10.1016/j.enbuild.2010.12.031.

8. Masoneilan 35002 Series Camflex II Rotary Control Valves: сайт. 2022. URL: <https://dam.bakerhughes.com/m/6dd947ce8511c36e/original/BHMN-35002-TS-19376E-0720-English-pdf.pdf> (дата обращения: 05.10.2022).

9. Groenendyk M. Emerging data visualization technologies for map and geography libraries: 3-D printing, holographic imaging, 3-D city models, and 3-D model-based animations // Journal of Map and Geography Libraries. 2013. Vol. 9. No 3. P. 220-238. DOI 10.1080/15420353.2013.821436.

10. Белькович А., Власов В., Евченко К. PowerSHAPE Pro: новые возможности реверсивного инжиниринга // САПР и графика. 2009. № 1(147). С. 16-22.

11. Скрипничук Е. В., Решетникова Е. С. Реверсивный инжиниринг // Технологии металлургии, машиностроения и материалообработки. 2021. № 20. С. 238–245.

12. Винниченко А. В. Замещающие технологии реверсивного инжиниринга в аддитивных технологиях // Научные исследования молодых ученых: сборник статей V Международной научно-практической конференции, Пенза, 27 июля 2020 года. Пенза : «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г. Ю.), 2020. С. 54-58.

13. Несмиянова И. О. 3D сканирование в экспертной деятельности: понятие, сущность и возможности применения // Systems and Management. 2020. Т. 2. № 2. С. 50-67. DOI 10.47351/2658-7874_2020_2_2_50.

14. Лебедев Г. С., Шадркин И. А., Тертычный А. С., Шадркина А. И. Цифровая патоморфология: создание системы автоматизированной микроскопии // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2021. Т. 7. № 4. С. 28-47. DOI 10.29188/2712-9217-2021-7-4-27-47.

15. Евченко К., Веретнов А. Возможности реверсивного инжиниринга в САД-системе PowerSHAPE Pro компании Delcam // САПР и графика. 2014. № 3(209). С. 72-73.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Петров Николай Викторович, аспирант, ассистент, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, (173003, Россия, г. Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41), e-mail: fenrir09214576@gmail.com

Нозирзода Шодмон Салохидин, аспирант, ассистент, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, (173003, Россия, г. Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41), e-mail: shoni_1997@mail.ru

Петрова Екатерина Дмитриевна, магистрант, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, (173003, Россия, г. Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41), e-mail: petrowa.ket@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Петров Николай Викторович – создание программного обеспечения, визуализация, обработка результатов исследования, подготовка и редактирование текста.

Нозирзода Шодмон Салохидин – постановка задачи для достижения поставленной цели, обработка результатов исследования, обобщенный вывод, ресурсное обеспечение исследований.

Петрова Екатерина Дмитриевна – проведение экспериментов, анализ предварительных результатов с целью контроля условий исследования и возможного развития.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

APPLICATION OF 3D-SCANNING TECHNOLOGIES IN REVERSE ENGINEERING OF BODY PARTS

Nikolay V. Petrov, Shodmon S. Nozirezoda,
Ekaterina D. Petrova

Yaroslav the Wise Novgorod State University

*for correspondence: shoni_1997@mail.ru



Article info

Received:

18 November 2022

Accepted for publication:

15 January 2023

Accepted:

28 February 2023

Published:

30 March 2023

Keywords: reverse engineering, 3D scanning, surfaces, solid-state model, point cloud, modeling, pipeline fittings, car tuning

Abstract.

Reverse engineering is one of the modern methods of creating digital models based on the model of a physical object, which can become a valuable tool for developing various product prototypes along with other traditional technologies. Reverse engineering using 3D scanning opens up many opportunities for product development and production. The various applications of reverse engineering can be divided into three main applications: prototyping parts, creating variations of existing parts, and developing completely new parts based on an existing environment or object. One of the most popular applications of this technology is the recovery of damaged or worn parts that are not available from the original supplier or do not have proper documentation. This is a common problem when working with old equipment or vintage cars, and it is always difficult to work with hand tools reverse engineered. The article presents the results of the development of body parts on the example of the oil and gas and automotive industries by 3D scanning. The possibility of using this technology in reverse engineering in the absence of design documentation for a specific component or assembly unit within the framework of import substitution is considered. The results of manufactured parts for car tuning by means of 3D printing with polymers are also given. According to the results of the work, the relevant conclusions are made about the effectiveness of the applied method in the context of the economic and time component.

For citation: Petrov N.V., Nozirezoda S.S., Petrova E.D. Application of 3D-scanning technologies in reverse engineering of body parts. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 1(155):34-41. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2023-1-34-41

REFERENCES

1. Kucherenko N.A., Pikalov Ya.Yu. Analysis of technical and information support of control systems of geometric accuracy of parts. *Problems of mechanical engineering and automation*. 2014; 4:52-62.
2. Mukletsov A.M., Zolotov A.V., Fedosova L.O. Method of metrological control of parts manufactured by additive technology using 3D scanning. *The World of Computer technologies: a collection of articles of the All-Russian Scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists, Sevastopol, 05-09 April 2021*. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Sevastopol State University. Sevastopol: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Sevastopol State University»; 2021. Pp. 22-25.
3. Kiseleva A.E., Korzin M.M., Spiridonov A.Yu. Digital transformation of design and technological preparation of production for the construction of promising military marine equipment. *Control systems for the full life cycle of high-tech products in mechanical engineering: new sources of growth: Materials of the IV All-Russian Scientific and Practical*

Conference, Moscow, April 21 2021. Moscow: Bauman Moscow State Technical University (National Research University); 2021. Pp. 117-126. DOI 10.18698/978-5-7038-5629-1-022.

4. Panin V.E., Elskova T.F., Surikova N.S. [et al.] The role of rotary deformation modes in the processes of destruction of polycrystals of high-purity aluminum at low-temperature creep. *Deformation and destruction of materials*. 2016; 12:2–9.

5. Krayushkin P.A., Starostenko T.Yu., Suslov A.A. Application of 3D scanning devices in foundry production. *Mashinostroenie. Trends in the development of modern science: Materials of the scientific conference of students and postgraduates of Lipetsk State Technical University, Lipetsk, April 14-18, 2018*. Lipetsk: Lipetsk State Technical University; 2018. Pp. 8-10.

6. The official website of the Shining Einscan Pro HD device: website. 2022. URL: <https://www.einscan.com/handheld-3d-scanner/einscan-pro-hd/> (accessed: 05.10.2022).

7. Lagüela S., Martínez J., Armesto J., Arias P. Energy efficiency studies through 3D laser scanning and thermographic technologies. *Energy and Buildings*. 2011; 43(6):1216-1221. DOI 10.1016/j.enbuild.2010.12.031.

8. Masoneilan 35002 Series Camflex II Rotary Control Valves: website. 2022. URL: <https://dam.bakerhughes.com/m/6dd947ce8511c36e/original/BHMN-35002-TS-19376E-0720-English-pdf.pdf> (accessed: 05.10.2022).

9. Groenendyk M. Emerging data visualization technologies for map and geography libraries: 3-D printing, holographic imaging, 3-D city models, and 3-D model-based animations. *Journal of Map and Geography Libraries*. 2013; 9(3):220-238. DOI 10.1080/15420353.2013.821436.

10. Belkovich A., Vlasov V., Evchenko K. PowerSHAPE Pro: new possibilities of reverse engineering. *CAD and graphics*. 2009; 1(147):16-22.

11. Skripnichuk E.V., Reshetnikova E.S. Reverse engineering. *Technologies of metallurgy, mechanical engineering and material processing*. 2021; 20:238–245.

12. Vinnichenko A.V. Substitutive technologies of reverse engineering in additive technologies. *Scientific research of young scientists: collection of articles of the V International Scientific and Practical Conference, Penza, July 27, 2020*. Penza: «Science and Education» (IP Gulyaev G.Yu.); 2020. Pp. 54-58.

13. Nesmiyanova I. O. 3D scanning in expert activity: concept, essence and application possibilities. *Systems and Management*. 2020; 2(2):50-67. DOI 10.47351/2658-7874_2020_2_2_50.

14. Lebedev G.S., Shaderkin I.A., Tertychny A.S., Shaderkina A.I. Digital pathomorphology: creation of an automated microscopy system. *Russian Journal of Telemedicine and E-Health*. 2021; 7(4):28-47. DOI 10.29188/2712-9217-2021-7-4-27-47.

15. Evchenko K., Veretnov A. The possibilities of reverse engineering in the PowerSHAPE Pro CAD system of Delcam. *CAD and graphics*. 2014; 3(209):72-73.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Nikolay V. Petrov, Postgraduate, Assistant, Yaroslav the Wise Novgorod State University, (173003, Russia, Veliky Novgorod, Bolshaya St. Petersburg str., 41), e-mail: fenrir09214576@gmail.com

Shodmon S. Nozirzoda, Postgraduate, Assistant, Yaroslav the Wise Novgorod State University, (173003, Russia, Veliky Novgorod, Bolshaya St. Petersburg str., 41), e-mail: shoni_1997@mail.ru

Ekaterina D. Petrova, Undergraduate, Yaroslav the Wise Novgorod State University, (173003, Russia, Veliky Novgorod, Bolshaya St. Petersburg str., 41), e-mail: petrowa.ket@yandex.ru

Contribution of the authors:

Nikolay V. Petrov – creation of software, visualization, processing of research results, preparation and editing of text.

Shodmon S. Nozirzoda – statement of the task to achieve the goal, processing of research results, generalized conclusion, resource support of research.

Ekaterina D. Petrova – conducting experiments, analyzing preliminary results in order to control the conditions of research and possible development.

All authors have read and approved the final manuscript.

