

РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА КОМПРЕССОРА

Тараховский А.Ю., Смирнов И.А.

Севастопольский государственный университет, Севастополь

Ключевые слова: промышленное производство, 3d моделирование, 3d-сканирование, новые методы конструирования, обратный инжиниринг, облако точек, полигональная модель, импортозамещение.

Аннотация. В данной статье описывается технология обратного инжиниринга коленчатого вала с целью получения 3D для дальнейшего создания конструкторской документации и изготовления детали аналога. С помощью 3D сканера проводятся необходимые замеры, и создается облако точек – полигональная модель. Далее полигональная модель исправляется с помощью специализированного ПО: заполняются разрывы, мелкие отверстия, отсутствующие грани. Так как 3D сканер не в состоянии отсканировать глубину отверстий, то необходимо провести измерение таких отверстий. Размеры снимаются с изношенной детали, и это вносит свои коррективы в методику измерения линейных и диаметральных размеров. В общем случае обратный инжиниринг (Reverse engineering) означает процесс создания технической документации на основе имеющейся детали или конструкции. Иными словами, процесс проектирования идет в обратном направлении – от физического объекта к его абстрактному представлению.

REVERSE ENGINEERING OF THE COMPRESSOR CRANKSHAFT

Tarakhovskiy A.Yu., Smirnov I.A.

Sevastopol State University, Sevastopol

Keywords: industrial production, 3d modeling, 3d scanning, new design methods, reverse engineering, point cloud, polygonal model, import substitution.

Abstract. This article describes the technology of reverse engineering of the crankshaft in order to obtain 3D for further creation of design documentation and manufacturing of an analog part. With the help of a 3D scanner, the necessary measurements are carried out and a point cloud is created – a polygonal model. Then the polygonal model is corrected with the help of specialized software: gaps, small holes, missing faces are filled in. Since the 3D scanner is not able to scan the depth of the holes, it is necessary to measure such holes. The dimensions are removed from the worn part and this makes adjustments to the method of measuring linear and diametrical dimensions. In general, Reverse engineering means the process of creating technical documentation based on an existing part or design. In other words, the design process goes in the opposite direction – from a physical object to its abstract representation.

Введение

В условиях санкций вопрос импортозамещения выходит на первое место, так как многие изделия машиностроения оказались под санкциями, логистические цепочки нарушены, запасные детали узлы и агрегаты можно ждать достаточно длительное время и вовсе их не получить. Техника, купленная несколько лет назад, нуждается в техническом обслуживании, профилактике и ремонте [1-4]. Но на разработку новых изделий машиностроения необходим достаточно длительный период времени на НИР [5], изготовление опытного образца, доводку изделия до серийного производства, а на это зачастую нет времени. Бывает ситуация, когда новый агрегат должен полностью соответствовать импортному прототипу по техническим характеристикам, посадочным и присоединительным размерам [5]. В этой связи реверс-инжиниринг или обратный инжиниринг выходит на первое место. Он решает насущную задачу – реанимировать и поддерживать в рабочем состоянии объекты машиностроения до полного импортозамещения.

Основная часть

Промышленным партнером была поставлена задача – провести реверс-инжиниринг изношенных деталей – коленвала с шатунами и поршнями, входящих в состав двухпоршневого компрессора. Коленвал приводится во вращение электродвигателем, на шатунных шейках коленвала расположены шатуны с поршнями без вкладышей (рис. 1). Так

как был предоставлен коленвал с изношенными поверхностями, то необходимо было подготовить 3D модели и чертежи с полным восстановлением геометрии.



Рис. 1. Коленчатый вал компрессора

Порядок действия при реверс-инжинирнге детали следующий [6-10].

1. Для создания 3D модели необходимо снять все необходимые размеры с образца.
2. Провести материаловедческую экспертизу (лабораторное определение) материала.
3. Построить цифровые модели и чертежи детали;
4. Изготовить опытный образец изделия, при необходимости из более доступных материалов-аналогов.
5. Проверить геометрию деталей на месте установки, проверить на собираемость и работоспособность составных частей на готовом изделии, испытать.
6. Изготовить опытный образец.

Образмеривание

Так как при работе на коленчатый вал воздействуют знакопеременные нагрузки, силы трения и вибрация, то износ шатунных и коренных шеек происходит неравномерно, окружность превращается в овал, а цилиндрическая поверхность в конус [11]. Поэтому замер размеров шеек коленчатого вала производят в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 2).

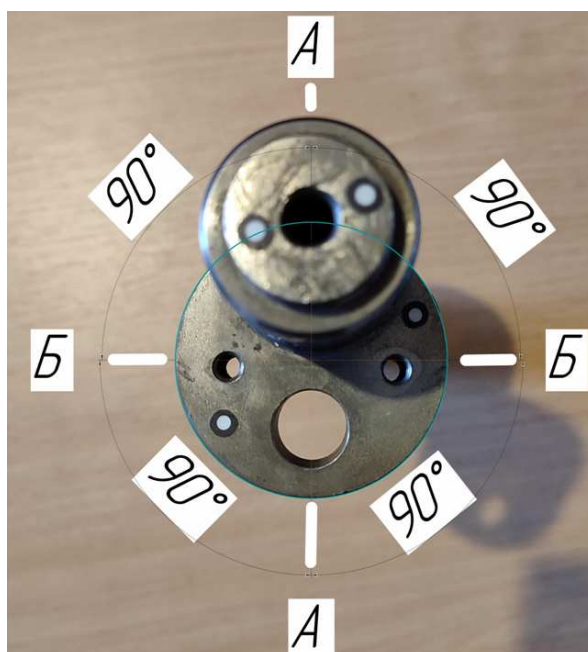


Рис. 2. Схема измерения шеек коленчатого вала

Расчет нецилиндричности (овальность и конусность) производится по формулам:

$$D_{ов} = dAA - dББ; \quad D_{кон} = dAA_{max} - dББ_{min} \quad (1)$$

где $D_{ов}$ - овальность; dAA - диаметр шейки по сечению АА, мм; $dББ$ - диаметр шейки по сечению ББ, мм; $D_{кон}$ - конусность; dAA_{max} - максимальный диаметр шейки по сечению АА, мм; $dББ_{min}$ - минимальный диаметр шейки по сечению ББ, мм.

Материаловедческая экспертиза

При выполнении измерений применяли Аппарат рентгеновский для спектрального анализа «СПЕКТРОСКАН МАКС», номер в госреестре № 22525-02 и № 22525-07 или Аппарат для спектрального анализа СПЕКТРОСКАН МАКС-GVM номер в госреестре №58305-14 (выпускаемые по ТУ 4276-001-23124704-2001) в комплекте со специальным программным обеспечением (ПО) QAV с версией не ниже 4.0.

Метод измерения на спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС» основан на измерении интенсивности определяемого элемента, возбуждаемой генерируемым в рентгеновской трубке первичным излучением. В методе РФА широко распространен алгоритм нестандартного расчета содержания элементов по способу фундаментальных параметров. В основу положен алгоритм, предусматривающий итерационный расчет влияния состава анализируемого материала на интенсивность аналитических линий рентгеновской флуоресценции.

По результатам материаловедческой экспертизы был подобран материал – аналог Сталь 40ХН ГОСТ 4543-2016.

Построение цифровой модели

Для построения цифровой модели использовали ручной 3D-сканер Scanform L5 (рис. 3). Точность сканера позволяет использовать его в качестве измерительного прибора (по положению маркеров в пространстве и расстоянии между ними. Повторяемость 0,04 мм). 3D-сканер позволяет производить весь цикл анализа деталей: диаметры, расстояния между отверстиями, скругления; углы; контроль припусков у заготовок, литых изделий; определение сдвиг половинок формы и многое другое.

Для сканирования на коленчатый вал были нанесены маркеры, сканирование производилось с 6-х сторон с последующей обработкой и сшивкой полигональной сетки (рис. 4) [12].

Маркеры (или позиционные метки) – это небольшие наклейки или магниты с круглой светоотражающей областью в центре и черным внешним кольцом. Они размещаются на объекте сканирования или рядом с ним перед началом оцифровки. 3D-сканер легко обнаруживает эти высококонтрастные «цели» и определяет свое местоположение в пространстве, что является ключом к портативности устройства и динамической привязке. В лазерных 3D-сканерах светоотражающие метки используются для отслеживания в реальном времени, что позволяет выполнять 3D-сканирование быстро и точно. В результате получается полигональная модель в формате stl (поверхность детали, состоящая из множества треугольников).

На скрин-шоте видны магнитные маркеры (позиционные метки) и дыры. В программном обеспечении, поставляемом со сканером, происходит сшивка сканов в одну модель, там же можно провести первичную очистку модели от мусора, шумов и дыр.

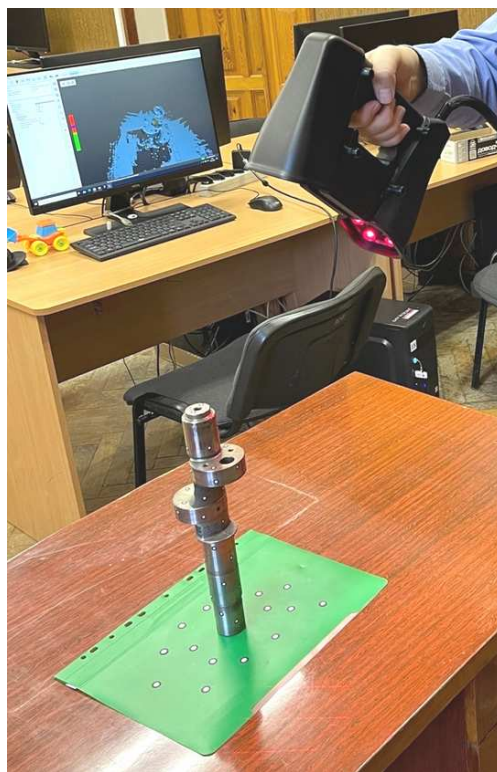


Рис. 3. Сканирование коленчатого вала

Далее полигональная модель была загружена в систему трехмерного моделирования Компас 3D V21 (рис. 5), где было проведено дальнейшее моделирование [13]. Для уточнения номинальных размеров опорных шеек были проведены замеры радиального биения (рис. 6).

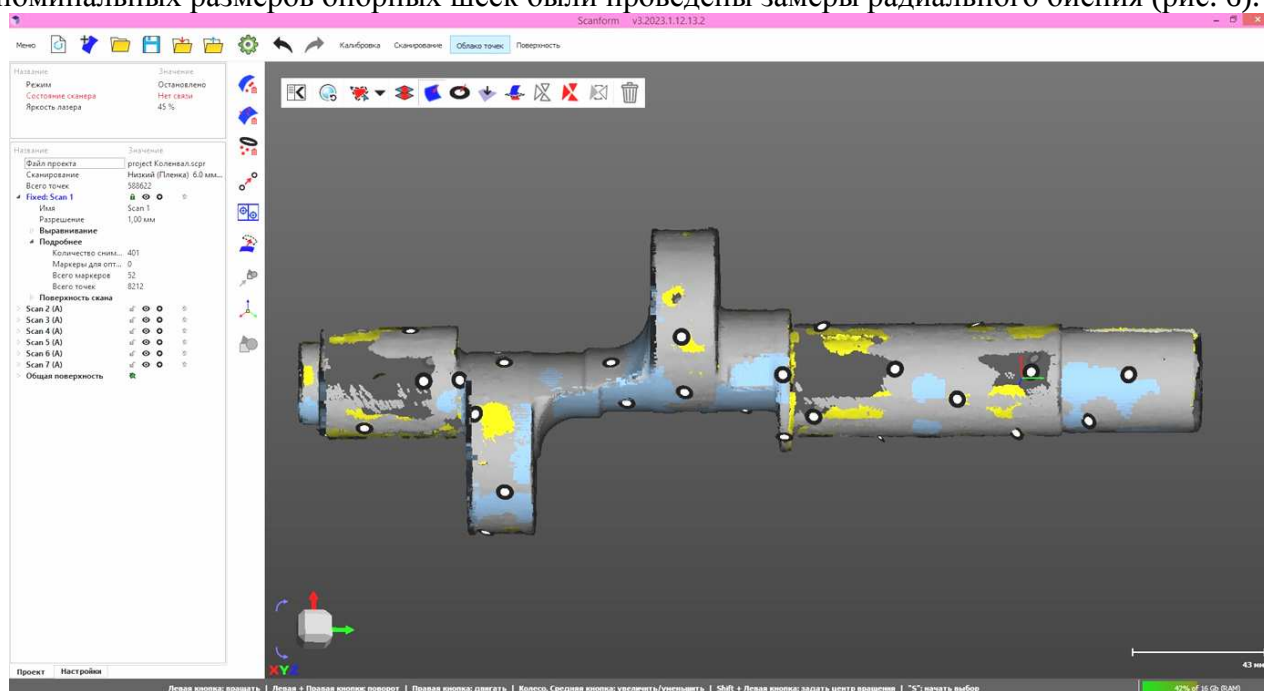


Рис. 4. Облако точек коленчатого вала

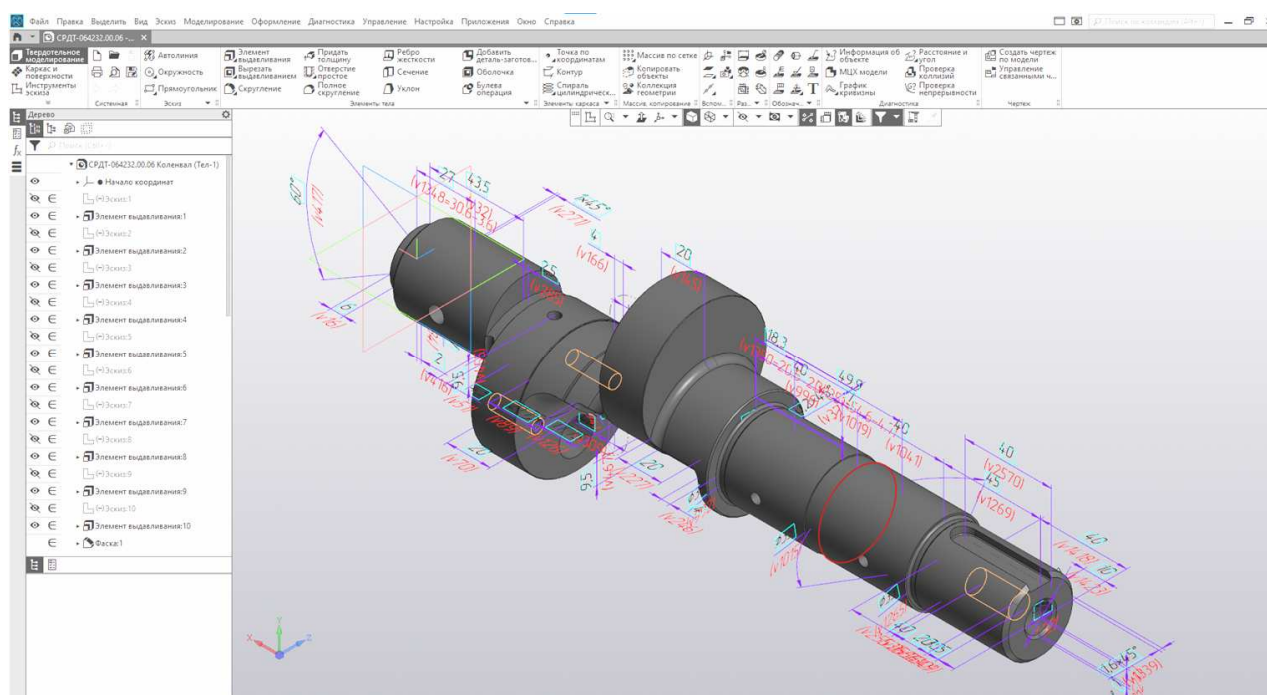


Рис. 5. 3D модель коленчатого вала

После создания 3D модели необходимо провести расчет коленчатого вала на прочность [14, 15] используя Руководство Р.008-2004. После расчета на прочность и внесения необходимых изменений в конструкции подготавливается рабочий чертеж (рис. 7) для дальнейшего изготовления опытного образца и испытания его в рабочих условиях.

После успешных рабочих испытаний изделие передается на производство, в противном случае вносятся необходимые изменения в конструкции, и новый цикл испытаний до удобоваримого результата.



Рис. 6. Измерение радиального биения опорных шеек коленчатого вала

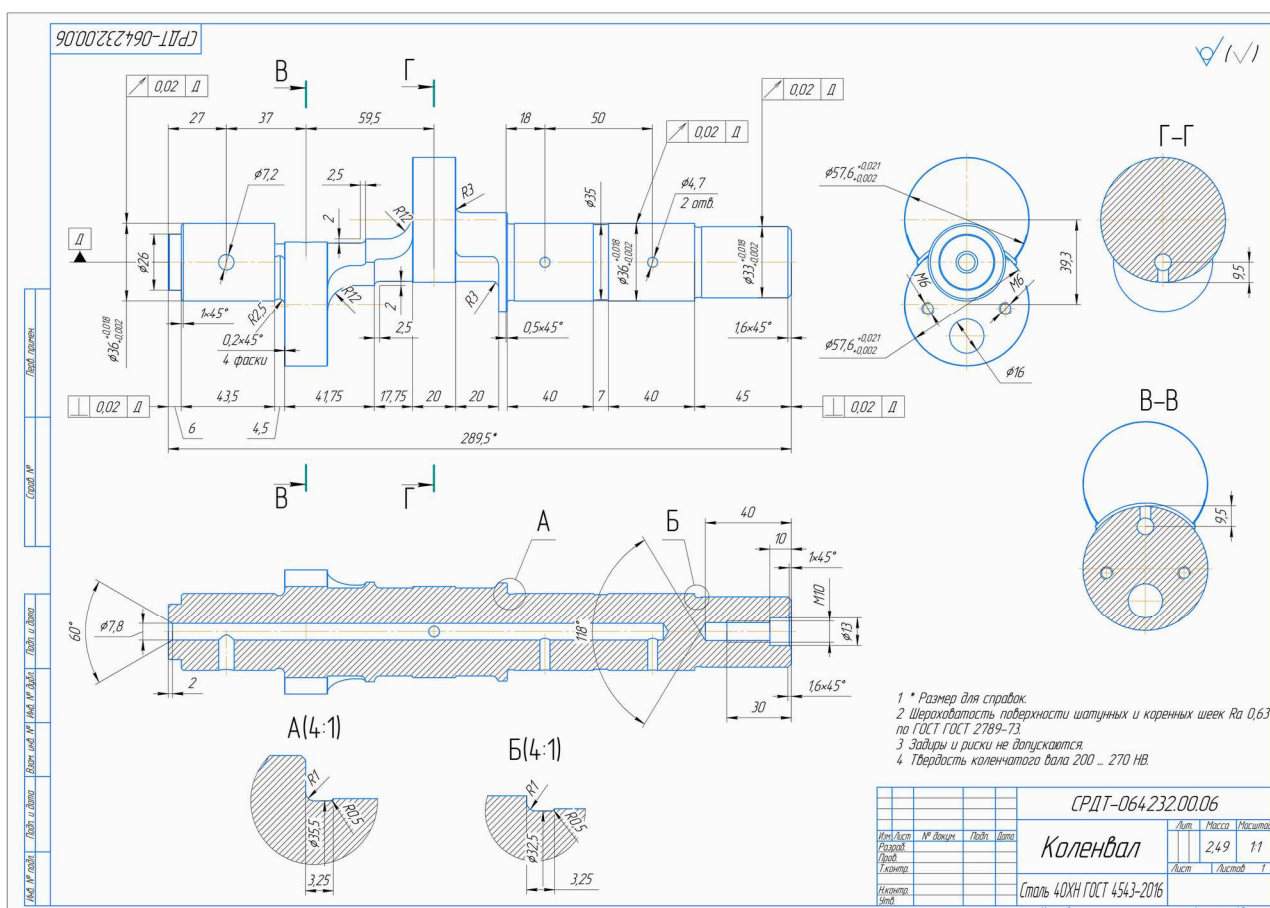


Рис. 7. Чертеж коленчатого вала

Результаты, выводы

Был произведен реверс-инжиниринг коленчатого вала компрессора.

Наибольшие затруднения при сканировании вызвала блестящая поверхность, дающая блики, для нейтрализации этого фактора был использован матирующий спрей и подбор мощности лазера.

При сканировании не прочитывается глубина отверстий, диаметр и глубину отверстий необходимо замерять мерительным инструментом.

Так же при сканировании не определяются номинальные размеры резьб, галтелей и фасок. Для определения этих размеров необходимо использовать резьбомеры и шаблоны.

В случае, когда производится реверс-инжиниринг детали, которая не была в работе и не изношена, то достаточно легко определить её номинальные размеры и создать 3D модель с последующей разработкой конструкторской документации. А если производится реверс-инжиниринг изношенной детали, то перед специалистом по реверс-инжинирингу стоит достаточно сложная и интересная задача: анализируя всю доступную информацию от сканирования до каталогов и фотографий из интернета найти номинальные размеры и правильно восстановить форму детали.

Список литературы

1. Бутакова Е.Р. Проектирование в машиностроении с помощью обратного инжиниринга // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. – СПб.: НИЦ МС, 2019. – №2. – С. 14-16. – DOI: 10.26160/2587-7577-2019-2-14-16.
2. Терехов М.В., Севостьянов Д.М. Использование реверс-инжиниринга в условиях импортозамещения товаров // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении: Сборник научных статей Всероссийской конференции. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2022. – С. 137-143.
3. Нечкин А.С., Ершова И.В. Обратный инжиниринг как способ решения проблемы импортозамещения в авиастроении // Технические науки: проблемы и решения: Сборник статей по материалам LXI международной научно-практической конференции. – М.: ООО "Интернаука", 2022. – Т. 6(56). – С. 34-42.
4. Рубанова К.А. Применения обратного инжиниринга на предприятиях промышленности в условиях новых санкций // Экономика и предпринимательство. – 2022. – № 4(141). – С. 1368-1372. – DOI: 10.34925/EIP.2022.141.4.258.
5. Ивлиев Г.П., Эриванцева Т.Н. Патентная информация – источник ценных знаний для реинжиниринга // Право и цифровая экономика. – 2022. – № 3(17). – С. 5-11. – DOI: 10.17803/2618-8198.2022.17.3.005-011.
6. Филиппова Л.Б., Филиппов Р.А., Сазонова А.С., Кузьменко А.А. Реверсивный инжиниринг сложнопрофильных спиральных изделий // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении: сборник научных статей Всероссийской конференции. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2021. – С. 182-188.
7. Саса Д.А., Тараховский А.Ю. Создание методики повышения производительности процесса создания твердотельной 3-D модели из реального объекта с помощью оптического сканера // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2021. – С. 49-55.
8. Тагаев С.Р., Гусев В.Н. 3D-сканирование и моделирование для контроля качества и обратного инжиниринга в производстве // Машиностроение: традиции и инновации (МТИ-2020): Материалы XIII всероссийской конференции с международным участием. – Москва: Московский государственный технологический университет "СТАНКИН", 2020. – С. 365-373.
9. Саса Д.А., Тараховский А.Ю. Использование многофункционального измерительного манипулятора для контроля параметров получаемых после механической обработки // Вестник современных технологий. – 2020. – № 3(19). – С. 54-59.
10. Солодилова Н.А. Новые технологии проектирования в рамках дисциплины «САПР в машиностроении» // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXIII Международной научно-практической конференции. – СПб.: Политех-Пресс, 2019. – Часть 3. – С. 391-397.
11. Тюшевская О.Ю. Метрология, обратный инжиниринг и контроль // Мир измерений. – 2022. – №3. – С. 54-57.
12. Ларских Е.Л., Трунов Д.И. 3D сканирование и 3D моделирование в литейном производстве // Тенденции развития современной науки: сборник трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2022. – С. 61-65.
13. Тараховский А.Ю., Тищенко И.В. Анализ различных методов построения шестерни в CAD-системах // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2020. – С. 214-219.
14. Стреляная Ю.О., Тараховский А.Ю. Конечно-элементный анализ шпиндельного вала на стадии проектирования // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2021. – №26. – С. 70-72. – DOI: 10.26160/2474-5901-2021-26-70-72.

15. Методы проектирования и оценки усталостной прочности коленчатых валов (материалы Конгресса CIMAC-2016) // Двигателестроение. – 2019. – №3(277). – С. 40-53.

References

1. Butakova E.R. Designing in mechanical engineering using reverse engineering // Machines, aggregates and processes. Design, creation and modernization: Materials of the International Scientific and Practical Conference. – SPb.: SRC MS, 2019. – No. 2. – P. 14-16. – DOI: 10.26160/2587-7577-2019-2-14-16.
2. Terekhov M.V., Sevostyanov D.M. The use of reverse engineering in the conditions of import substitution of goods // Automation and modeling in design and management: Collection of scientific articles of the All-Russian Conference. – Bryansk: Bryansk State Technical University, 2022. – P. 137-143.
3. Nechkin A.S., Ershova I.V. Reverse engineering as a way to solve the problem of import substitution in aircraft construction // Technical Sciences: problems and solutions: A collection of articles based on the materials of the LXI International Scientific and Practical Conference. – M.: Internauka Limited Liability Company, 2022. – Vol. 6(56). – P. 34-42.
4. Rubanova K.A. Application of reverse engineering at industrial enterprises in the context of new sanctions // Economics and entrepreneurship. 2022, no. 4(141), pp. 1368-1372. – DOI: 10.34925/EIP.2022.141.4.258.
5. Ivliev G.P., Erivantseva T.N. Patent information is a source of valuable knowledge for reengineering // Law and Digital Economy. 2022, no. 3(17), pp. 5-11. DOI: 10.17803/2618-8198.2022.17.3.005-011.
6. Filippova L.B., Filippov R.A., Sazonova A.S., Kuzmenko A.A. Reverse engineering of complex spiral products // Automation and modeling in design and management: collection of scientific articles of the All-Russian Conference. – Bryansk: Bryansk State Technical University, 2021. – P. 182-188.
7. Sasa D.A., Tarakhovsky A.Yu. Creation of a methodology for increasing the productivity of the process of creating a solid-state 3-D model from a real object using an optical scanner // Modern technologies: problems and prospects: collection of articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference for graduate students, students and young scientists. – Sevastopol: Sevastopol State University, 2021. – P. 49-55.
8. Tagaev S.R., Gusev V.N. 3D-scanning and modeling for quality control and reverse engineering in production // Mechanical Engineering: Traditions and innovations (MIT-2020): Proceedings of the XIII All-Russian Conference with international participation. – M.: Moscow State Technological University "STANKIN", 2020. – P. 365-373.
9. Sasa D.A., Tarakhovsky A.Yu. Using a multifunctional measuring manipulator to control the parameters obtained after mechanical processing // Bulletin of Modern Technologies. 2020, no. 3(19), pp. 54-59.
10. Solodilova N.A. New design technologies in the framework of the discipline "CAD in mechanical engineering" System analysis in design and management: collection of scientific papers of the XXIII International Scientific and Practical Conference. – SPb.: Polytech Press, 2019. – Part 3. – P. 391-397.
11. Tyushevskaya O.Yu. Metrology, reverse engineering and control // World of measurements. 2022, no. 3, pp. 54-57.
12. Larssikh E.L., Trunov D.I. 3D scanning and 3D modeling in foundry production // Trends in the development of modern science: proceedings of the scientific and practical conference of students and postgraduates of Lipetsk State Technical University. – Lipetsk: Lipetsk State Technical University, 2022. – P. 61-65.
13. Tarakhovsky A.Yu., Tishchenko I.V. Analysis of various methods of gear construction in CAD systems // Modern technologies: problems and prospects: collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference for graduate students, students and young scientists. – Sevastopol: Sevastopol State University, 2020. – P. 214-219.
14. Strelyanaya Yu.O., Tarakhovsky A.Yu. Finite element analysis of the spindle shaft at the design stage // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2021, iss. 26, pp. 70-72. DOI: 10.26160/2474-5901-2021-26-70-72.
15. Methods of designing and evaluating the fatigue strength of crankshafts (materials of the CIMAC-2016 Congress) // Engine building. 2019, no. 3(277), pp. 40-53.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Тараховский Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Цифровое проектирование»	Tarakhovskiy Aleksey Yuryevich – candidate of technical sciences, associate professor, head of the Department of "Digital design"
Смирнов Иван Анатольевич – доцент, кафедры «Цифровое проектирование»	Smirnov Ivan Anatolyevich – associate professor of the Department of "Digital design"
AYTarakhovskiy@sevsu.ru	

Получена 11.02.2023