

УДК 67.02:658.512:006.015.7:62-192

doi:10.18720/SPBPU/2/id-168

С.П. Ермаков¹, К.П. Помпеев²

ПОСТРОЕНИЕ ЭСКИЗА ДЕТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАКРОСОВ И УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИИ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА ТП



¹Сергей Павлович Ермаков,
Университет ИТМО
Россия, Санкт-Петербург
Тел.: +79219779727, E-mail Ermak1999@live.ru.



²Кирилл Павлович Помпеев,
Университет ИТМО
Россия, Санкт-Петербург
Тел.: +79110108265, E-mail: kir-pom@mail.ru

Аннотация

В данной работе рассматривается необходимость разработки модуля построения эскизов детали для автоматизации проведения размерного анализа при проектировании многооперационных ТП гарантированно обеспечивающего параметры заданной конструктором точности размеров и требований взаимного расположения обработанных поверхностей без брака.

Ключевые слова: размерные схемы, надежность ТП, размерный анализ, параметры точности, алгоритм, методика.

Введение

Механообрабатывающие технологические процессы являются ключевыми частями процесса производства изделий различного назначения в приборостроении. Они определяют качество изготовленных деталей, в частности, по точности их параметров.

Точность параметров деталей зависит от многих факторов, включая

качество материалов, инструментов, оборудования и сам ТП, при внедрении которого возможны случаи возникновения брака [1-3]. Поэтому в рамках данных технологий важно уделять особое внимание не только производительности и качеству изделий, в том числе за счет оптимизации параметров резания, о чем говорится в [4-14], но и надежности технологических процессов [1, 15, 16], поскольку от этого зависит их эффективность и рентабельность.

Согласно [1], под надежностью ТП механической обработки заготовок понимается свойство обеспечивать заданные чертежом точность и качество деталей на разных этапах изготовления, при условии сохранения на этих этапах требуемых технических параметров в установленных пределах, с учетом обработки заготовок в определенной последовательности, на выбранном оборудовании, в требуемой технологической оснастке, необходимым инструментом, при заданных режимах обработки. При этом надежность ТП можно выразить показателем запаса точности ($\psi = IT_{Xi}/\omega_{Xi}$), характеризующим отношение допустимой величины изменения (IT_{Xi}) точностного параметра (Xi) к погрешности (ω_{Xi}), ожидаемой при реализации ТП. Иными словами, надежность ТП, согласно [3], можно связать с надежностью обеспечения требуемой точности обработки заготовок. При условии $1,0 < \psi \leq 1,2$ (а тем более — $\psi > 1,2$) надежность ТП по обеспечению точности будет гарантирована. Чем этот показатель больше, тем выше ожидаемая надежность ТП (она будет зависеть только от настройки оборудования и технологической оснастки и их технического состояния при реализации ТП в производственных условиях). Оценить ожидаемую погрешность точностных параметров ω_{Xi} можно с использованием размерно-точностного анализа ТП, при котором расчет технологических размеров и их допусков осуществляется методом максимума-минимума при обеспечении точности методом полной взаимозаменяемости [1, 3]. Метод обеспечения точностной надежности ТП позволяет полностью исключить появление брака изготавливаемых деталей по вине технолога и создает условия для того, чтобы можно было вести обработку заготовок в автоматическом режиме, без предварительной выверки [1, 15-17].

Таким образом, одним из важнейших аспектов обеспечения точности механообрабатывающих техпроцессов является их надежность по гарантированному достижению параметров заданной конструктором точности размеров и требований взаимного расположения обработанных поверхностей без брака, которую можно оценить по результатам их размерно-точностного анализа. Но зачастую, инженеры технологи пренебрегают в своей работе применением методики размерно-точностного анализа, ввиду высокой трудоемкости и ограниченности по времени на разработку ТП. А также, возможны ошибки при проведении размерного анализа на этапе неправильного составления размерных схем и

последующих ошибочных расчетов.

Цель работы: создать модуль внутри CAD-системы для автоматизации процесса построения размерных схем для последующего расчета, при проведении размерного анализа, разрабатываемого ТП.

Методы

В основе работы модуля предполагается использование аннотированных 3D-моделей (Model-based definition). MBD — это цифровое представление изделия на основе его 3D-модели, которое отражает всю необходимую информацию для изготовления и проверки изделия, получаемую в ходе автоматизированного проектирования, и которую затруднительно взять в автоматизированном режиме с распечатанного чертежа (2D-модели) изделия. Аннотированная 3D-модель, фрагмент которой представлен на рисунке №1, содержит всю актуальную информацию о параметрах изделия. Для корректной работы модуля необходимо наличие 3D моделей готовой детали, первичной заготовки и промежуточных заготовок по операциям разрабатываемого ТП.

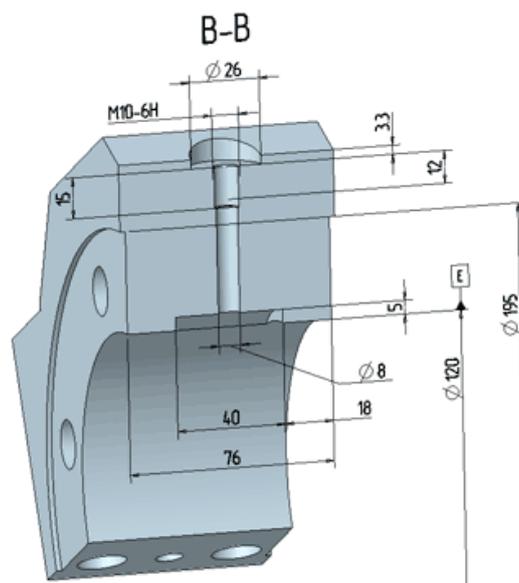


Рис. 1. Пример фрагмента представления аннотированной 3D-модели детали

В отличие от существующих методов автоматизации размерного анализа, где получение данных для построения размерных схем происходит с чертежа, в работе будут использоваться именно аннотированные 3D модели [18, 19]. Этому есть ряд причин.

3D-аннотации в модели являются семантическими, ассоциативно связанными с геометрией детали. Их может понимать совершенно разное программное обеспечение, что упрощает разработку модуля и дает возможность работы с существующей программой расчета размерных схем, работающей на базе MS-Excel. Так же, такой формат удобнее и

перспективнее для производства в целом. Вместо того, чтобы пересылать чертежи в формате PDF или печатать их для всех участников конструкторско-технологической цепочки подготовки производства, в совместное пользование всем заинтересованным сторонам предоставляется исходная аннотированная 3D-модель или нейтральный к САД-системе файл в нейтральном формате STEP. Когда эти файлы открывают в САМ-системе для автоматизированной разработки операций, выполняемых на станках с ЧПУ или в системе программирования координатно-измерительной машины (СММ) для автоматизированной разработки программ измерений, каждой из этих систем распознает 3D-аннотации и ссылки на геометрию. Это позволяет отказаться от ручного ввода информации с чертежей в программное обеспечение, используемое на последующих этапах. В результате вся цепочка работает быстро и без ошибок. Особое значение это приобретает при проведении изменений.

Получать информацию с аннотированной 3D-модели детали, разработанной в САД-системе планируется с помощью макросов.

Результаты

Так, макросы в КОМПАС-3D — это программные модули, в которых записывается последовательность действий пользователя. Доступ к созданию макроса следующий: Приложения > КОМПАС-Макро > Макросы (смотри рисунок 2).

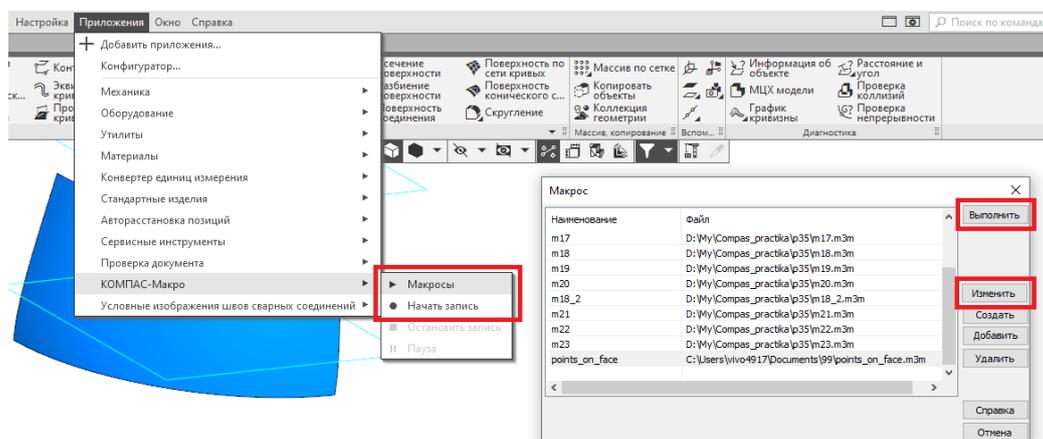
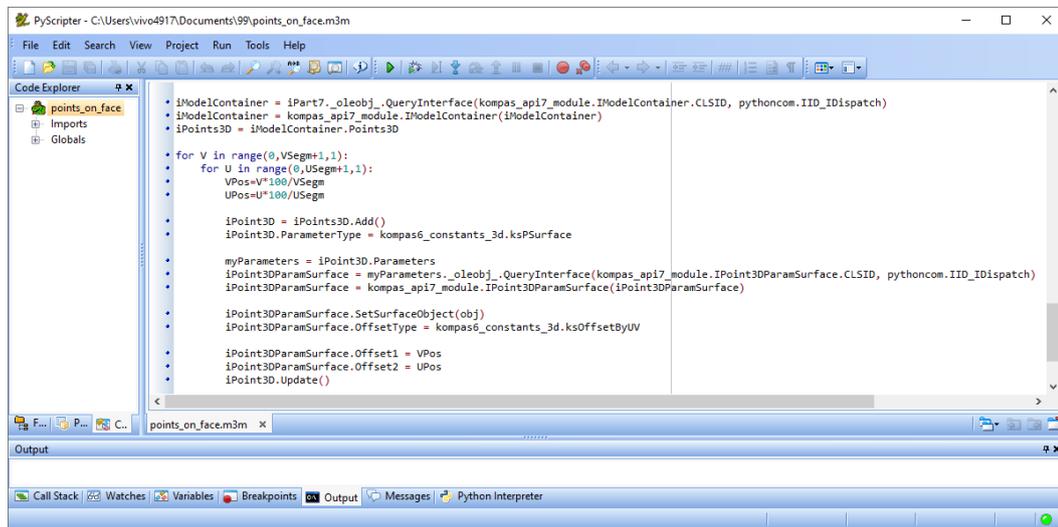


Рис. 2. Расположения вкладки «Макросы» для КОМПАС-3D

Работа с ними строится по классической схеме: последовательность действий пользователя записывается в виде программных модулей, список которых позволяет любой из них вызвать на выполнение, то есть осуществить записанные операции, и при необходимости отредактировать [18]. Таким образом, записав построение одного линейного размера под эскизом детали, мы получим базовый макрос, функционал которого

расширим для формирования целой размерной схемы в выбранной плоскости сечения 3D-модели.

Для корректного формирования конечной схемы линейных размеров следует создать скрипт в Python-коде модифицированного макроса для корректного переноса данных с 3D-моделей готовой детали, заготовки и межоперационных заготовок [16] (рисунок 3).



```
PyScripter - C:\Users\vivo4917\Documents\99\points_on_face.m3m
File Edit Search View Project Run Tools Help
Code Explorer
points_on_face
Imports
Globals
iModelContainer = iPart7_oleobj_QueryInterface(kompas_api17_module.IModelContainer.CLSID, pythoncom.IID_IDispatch)
iModelContainer = kompas_api17_module.IModelContainer(iModelContainer)
iPoints3D = iModelContainer.Points3D

for V in range(0, VSegm+1, 1):
    for U in range(0, USegm+1, 1):
        VPos=V*100/VSegm
        UPos=U*100/USegm

        iPoint3D = iPoints3D.Add()
        iPoint3D.ParameterType = kompas6_constants_3d.ksP5Surface

        myParameters = iPoint3D.Parameters
        iPoint3DParamSurface = myParameters._oleobj_QueryInterface(kompas_api17_module.IPoint3DParamSurface.CLSID, pythoncom.IID_IDispatch)
        iPoint3DParamSurface = kompas_api17_module.IPoint3DParamSurface(iPoint3DParamSurface)

        iPoint3DParamSurface.SetSurfaceObject(obj)
        iPoint3DParamSurface.OffsetType = kompas6_constants_3d.ksOffsetByUV

        iPoint3DParamSurface.Offset1 = VPos
        iPoint3DParamSurface.Offset2 = UPos
        iPoint3D.Update()

Output
Call Stack Watches Variables Breakpoints Output Messages Python Interpreter
```

Рис. 3. Фрагмент результата модификации макроса нахождения начальной и конечной точек линейного размера, полученного с помощью скрипта на языке «Python»

В поставку КОМПАС-3D помимо механизма записи кода в макросы входит также комплект справочной документации для разработчиков, содержащий описание элементов объектной модели системы (папка SDK в каталоге установки системы), которые необходимы для создания скрипта в среде CAD-системы.

Обсуждение

Результаты данной работы будут важны для предприятий, занимающихся производством деталей различного типа, что определяет их практическую значимость. Разрабатываемый модуль позволит повысить качество проведения размерного анализа и сократить риск возникновения ошибок при проведении расчетов размерных цепей. Это в свою очередь, улучшит качество и надежность конечного продукта, а также увеличит конкурентоспособность предприятия на рынке. Описанный выше модуль позволит инженерам-технологам, знакомым с методикой размерного анализа, но не владеющим ею на высоком уровне, проводить расчеты размерных цепей при разработке ТП. При этом значительно снизится риск возникновения неточностей в расчетах в следствие сокращения ошибок человека при выполнении этих расчетов. В целом проведение размерного

анализа за счет его автоматизации становится достаточно быстро решаемой задачей и менее трудозатратным этапом проектирования новых ТП [20-22].

Заключение

Таким образом, благодаря автоматизированному созданию размерных схем, моделированию и анализу, инженеры-технологи смогут быстрее создавать и проверять различные концепции и варианты маршрута обработки заготовок, способов их закрепления и базирования в приспособлениях и на станках. Также такой модуль в совокупности с уже автоматизированными расчетами позволит выявить потенциальные проблемы и ошибки, возникающие на операциях ТП, еще на ранних стадиях проектирования, что позволит снизить количество дорогостоящих исправлений, вносимых в технологию, на более поздних этапах производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Валетов В.А. Технология приборостроения: учеб. пособ. / В.А. Валетов, К.П. Помпеев. – СПб: НИУ ИТМО, 2014. – 234 с.
- [2] Наумова А.Н. Причины возникновения брака продукции на машиностроительном предприятии и пути его сокращения // САФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия – 2020. – Т. 12. – №. 1.
- [3] Маталин, А. А. Технология машиностроения: учебник для вузов / А. А. Маталин. – 2-е изд. – СПб.: Лань, 2010. – 512 с.
- [4] Timofeev D.Y., Kosheleva E.V. Improving the quality of manufacturing parts from titanium alloys using the method of preliminary local plastic deformation, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2017, Vol. 87, Iss. 8, 082048.
- [5] Maksarov V., Khalimonenko A. Forecasting performance of ceramic cutting tool, Key Engineering Materials, 2017, Vol. 736, pp. 86-90.
- [6] Kudryashov E.A., Smirnov I.M., Stepanov Y.S., Khizhnyak N.A. Improving Cutter Performance in Turning Complex Profiles, Russian Engineering Research, 2018, Vol. 38, Iss. 12, pp. 1003-1008.
- [7] Mavliutov A.R., Zlotnikov E.G. Optimization of cutting parameters for machining time in turning process, 2018, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 327(4) 042069.
- [8] Yang Y. Machining parameters optimization of multi-pass face milling using a chaotic imperialist competitive algorithm with an efficient constraint-handling mechanism, CMES – Computer Modeling in Engineering and Sciences, 2018, Vol. 116, Iss. 3, pp. 365-389.

- [9] Yuan M., Wang, M. A feature selection method based on an improved fruit fly optimization algorithm in the process of numerical control milling, *Advances in Mechanical Engineering*, 2018, Vol. 10, Iss. 5.
- [10] Кранаренков Ю.Б. Повышение точности и производительности многолезвовой токарной обработки / Ю.Б. Кранаренков, С.А. Атаманов, Е.А. Шаев// *Станки и инструменты*.- № 8, 1974.- Сс. 28-30
- [11] Астахов С.А., Сидоркин А.В., Маликов А.А. Экспериментальное определение жесткости технологической системы и ее влияние на точность обработки/ *Известия ТулГУ, Серия «Технические науки»*, 2011, 4 вып., с. 302-306.
- [12] Ребрин Ю.И. Управление качеством [Текст]: учеб. пособ. / Ю.И. Ребрин – М.: Изд-во ТРТУ, 2004.– 174 с.
- [13] Балла О. М. Обработка деталей на станках с ЧПУ. Оборудование. Оснастка. Технология. – 2015.
- [14] Шаш Н.Н. Управление качеством на предприятии; под редакцией А.В. Касьянова (малый бизнес) [Текст]:/ Н.Н. Шаш, А.В. Касьянов// М.: ГроссМедиа, 2014. – Сс. 80-85.
- [15] Ермаков С. П., Помпеев К. П. Методика исследования возможности автоматического обеспечения точности технологических процессов изготовления деталей // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2025. Т. 68, № 2. сс. 176–183. DOI: 10.17586/0021-3454-2025-68-2-176-183.
- [16] Ермаков С.П., Помпеев К.П. Оценка надежности внедряемых в производство технологий по параметрам точности // *Современное машиностроение: наука и образование 2024: материалы 13-й Международной научной конференции, 20 июня 2024 года / Под ред. А.Н. Евграфова и А.А. Поповича. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024, сс. 582-595. DOI:10.18720/SPVPU/2/id24-123.*
- [17] Иващенко, И. А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации / И. А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1975. – 222 с
- [18] Камнев А. Интерфейс прикладного программирования геометрического ядра СЗД. Его применение и главное отличие от API системы КОМПАС-3D // *САПР и графика*. 2016. № 5.
- [19] Modeling a 3D surface roughness of mating parts produced with lathe turning // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2018. N 194(2). P. 022005.
- [20] Масыгин В.Б. Автоматизация технологических размерных расчётов деталей типа тел вращения с применением программы «NORMAL» / *Современные наукоемкие технологии*, № 10, 2015., с. 52-57.
- [21] Масыгин В.Б. Автоматизация размерного анализа технологических процессов механической обработки деталей типа тел вращения // *Омский научный вестник. Серия «Приборы, машины и технологии»*. – 2008. – № 3(70). – С. 40-44.

- [22] Борботько В.А., Помпеев К.П., Плешков А.А. Интерактивный синтез технологических размерных схем // Современное машиностроение. Наука и образование: матер. 9-й Междунар. науч.-практ. конф. / Под ред. А.Н.Евграфова и А.А. Поповича. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. С. 1049-1058. DOI: 10.1872/MMF-2020-28.

S.P. Ermakov, K.P. Pompeev

**CONSTRUCTION OF A SKETCH OF A PART USING MACROS
AND TAKING INTO ACCOUNT THE TECHNOLOGY OF ITS
MANUFACTURING TO CONDUCT A DIMENSIONAL ANALYSIS
OF THE TP**

ITMO University, St. Petersburg, Russia

Abstract

This paper discusses the need to develop a module for constructing sketches of a part to automate dimensional analysis when designing multi-operation TPs that are guaranteed to provide the parameters of the designer-specified dimensional accuracy and requirements for the relative position of machined surfaces without defects.

Key words dimensional diagrams, TP reliability, dimensional analysis, accuracy parameters, algorithm, methodology.

REFERENCES

- [1] Valetov V.A. Technology of instrument making: studyguide / V.A.Valetov, K.P.Pompeev. – SPb.: NRU ITMO, 2013. – 234 p. (rus.)
- [2] Naumova A.N. Causes of product defects at a mechanical engineering enterprise and ways to reduce them // NArFU named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia – 2020. – Vol. 12. – No. 1. (rus.)
- [3] Matalin, A. A. Mechanical engineering technology: textbook for universities / A. A. Matalin. – 2nd ed. – SPb: Lan, 2010. – 512. (rus.)
- [4] Timofeev D.Y., Kosheleva E.V. Improving the quality of manufacturing parts from titanium alloys using the method of preliminary local plastic deformation, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2017, Vol. 87, Iss. 8, 082048.
- [5] Maksarov V., Khalimonenko A. Forecasting performance of ceramic cutting tool, Key Engineering Materials, 2017, Vol. 736, pp. 86-90.

- [6] Kudryashov E.A., Smirnov I.M., Stepanov Y.S., Khizhnyak N.A. Improving Cutter Performance in Turning Complex Profiles, Russian Engineering Research, 2018, Vol. 38, Iss. 12, pp. 1003-1008.
- [7] Mavliutov A.R., Zlotnikov E.G. Optimization of cutting parameters for machining time in turning process, 2018, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 327(4) 042069.
- [8] Yang Y. Machining parameters optimization of multi-pass face milling using a chaotic imperialist competitive algorithm with an efficient constraint-handling mechanism, CMES – Computer Modeling in Engineering and Sciences, 2018, Vol. 116, Iss. 3, pp. 365-389.
- [9] Yuan M., Wang, M. A feature selection method based on an improved fruit fly optimization algorithm in the process of numerical control milling, Advances in Mechanical Engineering, 2018, Vol. 10, Iss. 5.
- [10] Kranarenkov Yu.B. Improving the accuracy and productivity of multi-cutter turning / Yu.B. Kranarenkov, S.A. Atamanov, E.A. Shaev // Machine tools and instruments. – No. 8, 1974. – Pp. 28-30. (rus.)
- [11] Astakhov S.A., Sidorkin A.V., Malikov A.A. Experimental determination of the rigidity of the technological system and its influence on the accuracy of processing / Bulletin of Tula State University, Series "Technical Sciences", 2011, 4th issue, pp. 302-306.
- [12] Rebrin Yu.I. Quality management [Text]: textbook. manual / Yu.I. Rebrin - M.: Publishing house of TRTU, 2004. – 174 p. (rus.)
- [13] Balla O. M. Processing of parts on CNC machines. Equipment. Tooling. Technology. – 2015. (rus.)
- [14] Shash N. N. Quality management at the enterprise; edited by A. V. Kasyanov (small business) [Text]: / N. N. Shash, A. V. Kasyanov // M.: GrossMedia, 2014. – Pp. 80-85. (rus.)
- [15] Emakov S. P., Pompeev K. P. Methodology for studying the possibility of automatic accuracy of manufacturing processes of parts // News of universities. Instrument-making. 2025. Vol. 68, No. 2, pp. 176-183. DOI: 10.17586/0021-3454-2025-68-2-176-183. (rus.)
- [16] Ermakov S.P., Pompeev K.P. Evaluation of the reliability of technologies introduced into production by accuracy parameters // Modern mechanical engineering: science and education 2024: proceedings of the 13th International Scientific Conference, Russia, June 20 / Ed. by A.N. Evgrafov and A.A. Popovich. – SPb.: POLITECH-PRESS, 2024, pp. 582-595. DOI:10.18720/SPBPU/2/id24-123. (rus.)
- [17] Ivashchenko I.A. Technological dimensional calculations and methods for their automation. – M.: Mechanical Engineering, 1975. – 222 p. (rus.)
- [18] Kamnev A. Application programming interface of the C3D geometric kernel. Its application and main difference from the KOMPAS-3D system API // CAD and graphics. 2016. No. 5. (rus.)

- [19] Modeling a 3D surface roughness of mating parts produced with lathe turning // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. N 194(2). P. 022005.
- [20] Masyagin VB Automation of technological dimensional calculations of parts such as bodies of revolution using the program "NORMAL" / Modern science-intensive technologies, No. 10, 2015., pp. 52-57. (rus.)
- [21] Masyagin VB Automation of dimensional analysis of technological processes of mechanical processing of parts such as bodies of revolution // Omsk Scientific Bulletin. Series "Devices, Machines and Technologies". – 2008. – No. 3 (70). – P. 40-44. (rus.)
- [22] Borbotko V. A., Pompeev K.P., Pleshkov A. A. Interactive synthesis of technological dimensional schemes // Modern mechanical engineering. Science and education: materials. 9th Int. scientific-practical. conf. / Ed. by A.N. Evgrafov and A.A. Popovich. – SPb.: POLITECH-PRESS, 2020. pp. 1049-1058. DOI: 10.1872/MMF-2020-28. (rus.)