

6. Lineitsev V.Yu., Il'nykh V.A. Imitatsionnoe modelirovanie detalei konicheskogo soedineniya na osnove RK-3 profil'nykh krivykh [Simulation modeling of details of conical connections on the basis of P-3-profile curves] // *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern technology. System analysis. Modeling]*, No. 2 (46). Irkutsk: IrGUPS Publ., 2015. Pp. 51–55. (The journal is listed in HAC under No. 1819).

7. Lineitsev V.Yu., Il'nykh V.A., Yarilov V.E. Issledovanie konicheskikh RK-3 profil'nykh soedinenii na tochnost' i zhestkost' [The accuracy and stiffness study of conical P-3-profile connections] // *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern technology. System analysis. Modeling]*. Irkutsk: IrGUPS Publ., No. 1 (53), 2017. Pp. 36–39 (The journal is listed in HAC under No. 1819).

8. Il'nykh V.A. *Shpindel'-instrumental'naya opravka [The spindle-tool mandrel]* // Utility model patent: No.184076, State register of utility models. Patent application for utility model No. 2018109190 dated March 14, 2018. The term of the patent is until March 14, 2028.

9. Il'nykh V. A., Yarilov V. E., Rozhkova E. A. Otsenka tochnosti i prochnosti modul'noi sistemy vspomogatel'nogo instrumenta na osnove profil'nykh soedinenii [Evaluation of the accuracy and strength of the modular system of auxiliary tools based on profile connections] // *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Proceedings of the Irkutsk State Technical University]*, 2019; 23(3):451–462. DOI: 10.21285/1814-3520-2019-3-451-462.

10. Il'nykh V. A. Otsenka tochnosti konicheskikh profil'nykh soedinenii vspomogatel'nogo instrumenta mnogotselovogo stanka pri vysokoskorostnoi obrabotke [Evaluation of the accuracy of conical profile joints of auxiliary tools of a multi-purpose machine tool for high-speed processing]. *Materialovedenie. Energetika. [Materials science. Power engineering]*, 2020. Vol. 26, No. 2. Pp. 140–147. DOI: 10.18721/JEST. 26211

11. Il'nykh V.A. Primenenie konicheskikh profil'nykh soedinenii shpindel'-opravka v mnogotselovykh stankakh [The use of conical profile spindle-mandrel connections in multi-purpose machines] // *Omskii nauchnyi vestnik [Omsk Scientific Bulletin]*, 2021. No. 1 (175). Pp. 12–16. DOI: 10.25206/ 1813-8225-2021-175-12-16.

12. Solomentssev Yu.M., Kosov M.G., Mitrofanov V.G. Modelirovanie tochnosti pri avtomatizirovannom proektirovanii metallovezhushchego oborudovaniya [Modeling accuracy in automated design of metal-cutting equipment]. Moscow: NIIMASH Publ., 1985. 68 p.

13. Iosilevich G. B. Kонтсentratsiya napryazhenii i deformatsii v detalyakh mashin [Concentration of stresses and deformations in machine parts]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1981. 116 p.

14. Il'nykh V.A. Raschet i vybor konstruktivnykh parametrov profil'nykh soedinenii s ravnoosnym konturom: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.02.02 [Calculation and selection of structural parameters of profile connections with an equiaxed contour: Ph.D. (Engineering) diss.: 05.02.02]. Moscow: MVTU Publ., 1987. 285 p.

15. Kosov M. G. Modelirovanie tochnosti pri avtomatizirovannom proektirovanii i ekspluatatsii metallovezhushchego oborudovaniya: avtoreferat ... dokt. tekhn. nauk [Modeling accuracy in automated design and operation of metal-cutting equipment: author's abstract of D. Sc. (Engineering) diss.]. Moscow: Stankin Publ., 1985. 48 p.

16. Il'nykh V. Experimental study of profile connections of auxiliary tool multi-purpose machines in cyclic loading. *Materials Science and Engineering* 760, 012025 (2020) SibTrans – 2020.

17. Il'nykh V., Pichuev E. Evaluation of quality parameters of the torque transmission connections of the multi-purpose machine spindle joints. *Materials Science and Engineering* 896 (2020) 012102 doi:10.1088/1757-899X/896/1/012102 MPCPE – 2020.

18. Il'nykh V. Evaluation of quality parameters of conical profile com-pounds in nodes of multi-purpose machines. *E3S Web of Conferences* 140, 02003 (2019) EECЕ – 2019.

Информация об авторах

Ильиных Виктор Анатольевич – доцент, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, канд. техн. наук., г. Чита, e-mail: ilinykh.viktor5@mail.ru

Information about the authors

Viktor A. Ilynykh – Zabaikalsky railway transport institute, Chita, e-mail: ilinykh.viktor5@mail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2021.1(69).17-23

УДК 621.398.001.2

Интеграция этапов подготовки производства высокоточных малогабаритных деталей на станках с числовым программным управлением

Ю. И. Карлина ✉

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ karlinigor@mail.ru

Резюме

Для проведения интеграции этапов технологической подготовки производства высокоточных малогабаритных деталей коаксиальных радиокомпонентов на станках с числовым программным управлением проведено исследование особенностей производства деталей и стандартных функциональных возможностей САМ-систем. В работе использовались теоретические методы – классификационный анализ и обобщение для дальнейшего моделирования методики создания и ве-

рификации управляющих программ. Разработана классификация этих деталей по типу оборудования, типовым конструкциям, серийности, параметрам конструктивного исполнения, инструменту. Рассмотрены возможности расширения функций САМ-систем, существующие методики создания, проверки и отладки управляющих программ. Приведен пример успешного расширения функциональных возможностей стандартной САМ-системы в радиоэлектронной промышленности – модуль повышения точности обработки без изменения режима резания за счет настройки взаимного позиционирования инструмента и заготовки. Выработаны требования к разработке специализированной комбинированной методики создания и верификации управляющих программ с применением существующих возможностей верификации и минимальным использованием отладки и верификации непосредственно на станке. Методика включает формирование и использование справочников отработанных режимов обработки, при которых количество и размер заусенцев минимальны, а также библиотеки управляющих программ, оснащенной системой поиска по параметрам различия исполнений деталей, применяемым материалам, инструменту. Методика предназначена для минимизации трудозатрат технолога-программиста на создание, проверку и отладку управляющих программ, и снижения станкоемкости опытных работ по проведению натуральных экспериментов для верификации управляющих программ.

Ключевые слова

технологическая подготовка производства, САМ-система, управляющая программа, станки с числовым программным управлением, автоматизация технологической подготовки производства

Для цитирования

Карлина Ю.И. Интеграция этапов подготовки производства высокоточных малогабаритных деталей на станках с числовым программным управлением / Ю.И. Карлина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 1 (69). – С. 17–23. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).17-23

Информация о статье

поступила в редакцию: 10.01.2021, поступила после рецензирования: 12.02.2021, принята к публикации: 22.02.2021

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90184

Integration of stages of preparation of production of high-precision small parts on CNC machines

Yu. I. Karlina✉

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ karlinigor@mail.ru

Abstract

To integrate the stages of technological preparation of the production of high-precision small-sized parts of coaxial radio components on CNC machines, the features of the production of parts and the standard functionality of Computer-Aided Manufacturing (CAM) systems were studied. The study was carried out using theoretical methods - classification analysis and generalization to further simulate the methodology of creating and verifying control programs. A classification of these parts has been developed by the type of equipment, standard designs, serial production, design parameters, and tool. The possibilities of the extensibility of the functions of CAM systems, the existing methods of creating, testing and debugging control programs are considered. An example of a successful expansion of the functionality of a standard CAM system in the radio-electronic industry is given – a module for increasing machining accuracy without changing the cutting mode by adjusting the mutual positioning of the tool and the workpiece. Requirements for the formulation of a specialized combined methodology of creating and verifying control programs using the existing verification capabilities and minimal use of debugging and verification directly on the machine have been developed. The methodology includes the creation and use of reference books of job-proved processing modes, in which the number and size of burrs are minimal, as well as a library of control programs equipped with a search system for the parameters of differences in the design of parts, the materials used, and the tool. The methodology is intended to minimize the labor costs of the programmer technologist to create, verify and debug control programs, and to reduce the machining content of experimental work on conducting field experiments for verification of control programs.

Keywords

technological preparation of production, CAM system, control program, CNC machines, automation of technological preparation of production

For citation

Karlina Yu. I. Integratsiya etapov podgotovki proizvodstva vysokotochnykh malogabaritnykh detalei na stankakh s CHPU [Integration of the stages of preparation of production of high-precision small-sized parts on CNC machines]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 1 (69), pp. 17–23. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).17-23

Article info

Received: 10.01.2021, Revised: 12.02.2021, Accepted: 22.02.2021

Acknowledgements

The reported study was funded by RFBR, project number 19-38-90184

Введение

Детали коаксиальных радиокомпонентов являются малогабаритными, высокоточными и изготавливаются из труднообрабатываемых материалов. Точность изготовления достигает 7 квалитета, габаритные размеры от 0,39 до 6 мм в диаметре и длиной до 15 мм. Выбор материалов для изготовления ограничен техническими требованиями [1, 2]. Для выпуска внутренних и наружных проводников герметичных коаксиальных радиокомпонентов используют ковар, что позволяет получить герметичный спай со стеклом С52-1 благодаря согласованным по величине коэффициентам термического расширения этих материалов [3]. Детали негерметичных коаксиальных радиокомпонентов выпускают из латуни или бериллиевой бронзы, что обусловлено пружинящими свойствами этих материалов, необходимыми для плотного обжатия ламелей при сборке. При лезвийной механообработке на поверхностях деталей из материалов образуются заусенцы, предотвратить появление которых не получается. Однако контроль параметров заусенцев позволяет значительно снизить издержки на их удаление. Для минимизации количества и размеров заусенцев необходимо проводить подбор инструмента и режимов лезвийной обработки, а во время обработки периодически производить замеры как габаритных размеров, так и заусенцев. Такой этап подготовки производства требует изучения рекомендованных диапазонов для режимов обработки, установки конкретных значений и проведения испытаний на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Испытание проводится до получения допустимого количества и размеров заусенцев на протяжении периода времени, позволяющего оценить выполнение требования обеспечения износостойкости инструмента и допустимых параметров заусенцев. Издержки на создание управляющих программ и натурные испытания можно сократить благодаря применению ряда мероприятий по интеграции процессов разработки технологических процессов и обработки на станках с ЧПУ.

Для проведения интеграции процессов разработки технологических процессов и обработки деталей на станках с ЧПУ необходимо провести исследование следующих вопросов [8–11]:

- классификация деталей по типу оборудования, видам, серийности, изменяемым параметрам внутри вида, материалам, инструменту;
- расширяемость функциональных возможностей САМ-систем;

- методики верификации управляющих программ;
- методики создания управляющих программ с учетом классификации деталей.

Классификация деталей по типу оборудования, серийности, типовым конструкциям с изменяемыми параметрами, материалам, инструменту

По труднодоступности поверхностей для удаления заусенцев детали коаксиальных радиокомпонентов можно разделить на две группы: внутренние проводники – детали, не имеющие внутренних труднодоступных поверхностей, наружные проводники – детали, имеющие внутренние труднодоступные поверхности (пазы, карманы, канавки и т. п.). Удаление заусенцев с внутренних проводников (оси, втулки и т. п.) легко производится в галтовочном барабане, и допустимо достаточно большое количество более крупных заусенцев. Удалить заусенцы и скруглить острые кромки деталей, имеющих внутренние труднодоступные поверхности, сложнее. Отказаться от удаления заусенцев вручную можно за счет применения термоимпульсного метода удаления заусенцев [4, 5]. Для качественного термоимпульсного удаления заусенцев необходимо контролировать их размер. Максимальный размер удаляемого заусенца зависит от вида материала детали, а также от наличия тонкостенных элементов. Соотношение размера заусенца и минимальной толщины детали не должно превышать 1:4, в противном случае тонкостенные элементы конструкции будут деформированы из-за отжигания [6, 7].

По серийности детали необходимо различать на серийные и разовые заказы малых объемов. Разовые заказы с перспективой дальнейшего серийного производства целесообразно относить к серийным. Верификацию серийных деталей необходимо проводить с учетом обеспечения плановой износостойкости инструмента, для разовых заказов достаточно убедиться, что инструмент сохраняет стойкость, конструкторские размеры и качество поверхности соответствуют чертежу на протяжении нескольких циклов выполнения управляющей программы.

По типовым конструкциям с наличием различных исполнений, детали можно сгруппировать по наименованию детали и параметрам исполнений, которые указываются в чертеже. Исполнения деталей могут иметь различные длину, диаметр, резьбу, геометрию торца, дополнительные конструктивные элементы. Например, деталь токовывод радиочастотного соединителя имеет 52 исполнения, отлич-

чающихся длиной токовывода L (мм), длиной вылета l (мм), наличием радиуса на торце токовывода. Далее приведен фрагмент чертежа детали, имеющей множественное исполнение, демонстрирующий различие по размерам (рис. 1).

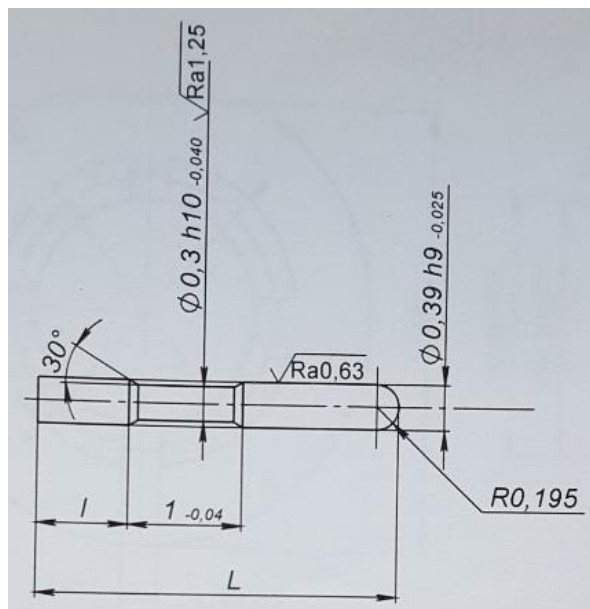


Рис. 1. Фрагмент чертежа детали, имеющей множественное исполнение с различием по длинам L и l

Fig. 1. Fragment of a drawing of a part having a multiple design with a difference in lengths L and l

Приведен также фрагмент чертежа детали, имеющей множественное исполнение, демонстрирующий различие по геометрическим элементам конструкции (рис. 2).

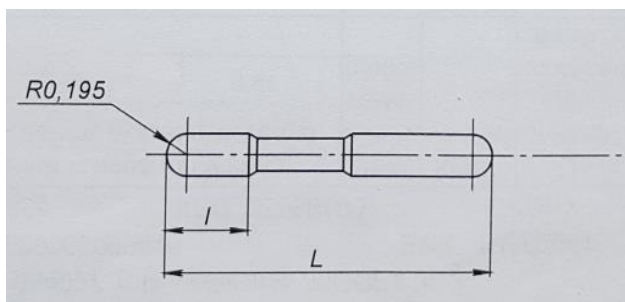


Рис. 2. Фрагмент чертежа детали, имеющей множественное исполнение с различием по наличию радиуса на торце токовывода

Fig. 2. Fragment of a drawing of a part having a multiple design with a difference in the presence of a radius at the end of the terminal

Применение материалов и инструментов из списка допустимых заменителей также приводит к необходимости корректировки управляющей программы с последующей ее верификацией. Напри-

мер, изменение диаметра проволоки для изготовления детали (см. рис. 1) приведет к изменению глубины резания, объема снимаемого материала и нормы расхода. Замена инструмента на допустимый по технологической документации аналог, или даже замена производителя инструмента с тем же каталожным номером приводит к необходимости изменения плановой износостойкости и корректировке режимов резания. Режимы резания и набор инструмента также могут зависеть от особенностей конкретного оборудования.

Набор функциональных возможностей САМ-систем и возможность их расширения

Многообразие существующих САМ-систем обусловило их специализацию по отраслям применения и набору функциональных возможностей. На данном этапе развития САМ-систем целесообразно подразделить их по степени автоматизации, виду оборудования, количеству координат обработки, способу выбора стратегии обработки.

По степени автоматизации САМ-системы можно разделить на следующие классы:

- ручное программирование, когда технолог-программист составляет управляющую программу в текстовом редакторе общего назначения;
- с автоматизированной функцией расчета координат опорных точек и построения траектории движения инструмента, например, как компас ЧПУ;
- с автоматизированными функциями расчета режимов резания и формирования технологии обработки на основе созданной вручную технологом-программистом схемы обработки, перечней оборудования и инструмента, детализации операции, например, как Гемма;
- с автоматизированной функцией создания технологии обработки при участии программиста-технолога, например, как СпрутСАМ.

По типам оборудования САМ-системы может быть для фрезерной, электроэрозионной, токарной обработки, обрабатывающих центров, деревообработки и гравировки.

По количеству координат и сложности выполняемой операции выделяют 2-, 2,5-, 3-, 4-, 5-координатные САМ-системы.

По способу формирования стратегии обработки:

- САМ-системы на основе операций, которые требуют выполнения технологом-программистом множества операций по выбору технологии обработки всех поверхностей заготовки;
- САМ-системы на основе конструктивных элементов используют набор элементов обработки для описания законченной детали;
- САМ-системы на основе процесса применяются, как правило, для программирования типовых процессов и операций [12].

Выбор САМ-системы существенно ограничивается совместимостью с используемой на предприятии САД-системы. Электронные модели, созданные в САД-системе, должны быть читаемы САМ-системой. Современные САМ-системы имеют модульную структуру [13, 14]. Состав модулей по функциональным возможностям и расширяемости можно подобрать под потребности конкретного вида производства. Наличие встроенных средств программирования облегчает настройку САМ-системы под нужды производства: описать постпроцессоры, подключить модули расширения, написанные на высокоуровневых языках программирования.

Заусенцы и острые кромки на деталях коаксиальных радиокомпонентов недопустимы, их наличие приводит к необходимости подбора параметров обработки и верификации управляющих программ для проверки качества обработки и его стабильности при различной степени износа инструмента с помощью натурного эксперимента. Решение такой задачи не может быть реализовано типовыми средствами САМ-систем общего назначения, поэтому возникает необходимость в разработке дополнительных программных продуктов для автоматизации и снижения издержек на составление, проверку и отладку управляющих программ.

Автоматизация процедур проверки и отладки управляющих программ

После создания управляющей программы необходимо провести процедуру ее проверки и отладки. Снизить издержки на этом этапе можно, применив средства автоматизации отладки.

Простейшая методика проверки и отладки управляющих программ подразумевает использование встроенной функции проверки синтаксиса и исправления синтаксических ошибок управляющей программы средствами программирования и отладку управляющей программы на станке путем проведения натуральных экспериментов по выпуску деталей с дальнейшей корректировкой управляющих программ. Такая методика отладки не требует затрат на приобретение дополнительных средств автоматизации процесса подготовки управляющих программ, но характеризуется повышенной трудоемкостью, станкоемкостью, вследствие чего является неэффективной.

Целесообразно использовать САМ-системы, имеющие встроенные верификаторы или дополненные симулятором для воспроизведения результатов работы управляющей программы, которые имеют возможность графического построения, воссоздания траектории движения инструмента по управляющей программе [15]. Далее симулятор производит моделирование обработки согласно управляющей программе и показывает возникающие ошибки. Возможно применение режима расширенной верификации, при котором производится как отладка, так и анализ, и оптимизация

управляющей программы. Использование таких модулей расширения функционала САМ-системы значительно повышает эффективность процесса разработки управляющих программ.

Однако оценка размеров, количества заусенцев на протяжении всего жизненного цикла инструмента, и их контроль не охвачены существующими функциональными возможностями САМ-систем. Поэтому необходимо разработать специализированную комбинированную методику верификации управляющих программ с использованием всех существующих возможностей верификации и минимальным использованием отладки и верификации непосредственно на станке с ведением справочников отработанных режимов обработки, при которых количество и размер заусенцев минимальны, а также библиотеки управляющих программ, параметризованной по параметрам классификации по типовым конструкциям с наличием различных исполнений.

Технологии подготовки управляющих программ

Для создания управляющих программ в рамках процесса технологической подготовки производства предприятия могут воспользоваться следующими технологиями:

1. Ручная подготовка управляющих программ непосредственно на станке.

2. Автоматизированное создание управляющих программ, для реализации которого требуется оснастить рабочее место компьютером с установленной САМ-системой общего назначения или специализированной САМ-системой, дополненной модулями расширения функциональных возможностей, а также постпроцессорами для используемых станков.

3. Создание программ без использования расширенной верификации.

4. Создание программ с применением симуляторов для проверки и отладки:

- встроенных средств верификации САМ-системы;
- специализированных верификаторов;
- интегрированных средств анализа и оптимизации [16, 17], таких как «Тесноматix».

На выбор технологии подготовки управляющих программ оказывают влияние следующие особенности производства:

- размер серии выпуска;
- сроки поставки продукции;
- характеристики применяемых станков с ЧПУ;
- применяемое программное обеспечение;
- сложность проектируемого изделия;
- технические требования проектируемого изделия;
- уровень компетентности разработчиков.

В качестве примера расширения функциональных возможностей САМ-систем можно привести модуль повышения точности обработки без измене-

ния режима резания за счет настройки взаимного позиционирования инструмента и заготовки. В процессе разработки управляющих программ для станков с ЧПУ технолог-программист производит расчет оптимальных параметров позиционирования [18]. Для автоматизации проведения этих расчетов в радиоэлектронной промышленности создано дополнительное программное обеспечение, расширяющее стандартные возможности САМ-системы [19, 20].

Заключение

Исследование особенностей производства деталей коаксиальных радиокомпонентов и функциональных возможностей САМ-систем позволило

классифицировать детали типу оборудования, видам, серийности, изменяемым параметрам внутри вида, материалам, инструменту. Выработать требования к созданию специализированной комбинированной методики верификации управляющих программ с применением всех существующих возможностей верификации и минимальным использованием отладки и верификации непосредственно на станке с ведением справочников отработанных режимов обработки, при которых количество и размер заусенцев минимальны, а также библиотеки управляющих программ.

Список литературы

1. ОСТ 4 ГО.070.014-79. Детали радиоэлектронной аппаратуры. Общие технические условия. Введ. 01–09–1975. М. : Радиостандарт-ЦНИИРЭС. 1992. 15 с.
2. STD-01. WBTC.1996. draft. DeburringTechnologyInternational, Inc., KansasCity, MO.
3. Джурицкий К.Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. Соединители, коаксиально-микрополосковые переходы, адаптеры, СВЧ-вводы, низкочастотные вводы, изоляционные стойки, фильтры помех. М. : Техносфера, 2006. 216 с.
4. Хрипунов В., Кравчик А. Современные технологии удаления заусенцев в отверстиях малых диаметров при изготовлении деталей гидравлического оборудования // СтанкоАрена : сайт. URL: <https://stankoarena.ru/article/sovremennye-tekhnologii-udaleniya-zausentsev-v-otverstiyakh-malykh-diametrov.html> (дата обращения 20.01.2020).
5. John Halladay. Практическое применение методов термического и электрохимического удаления заусенцев // Станкофорвард : сайт. URL: <http://stankoforward.ru/tehnologii-udaleniya-zausentsev> (дата обращения 20.01.2020).
6. Инженерия поверхности деталей / под ред. А.Г. Сулова. М. : Машиностроение. 2008. 320 с.
7. Титов С.Н. Снятие заусенцев термоимпульсной установкой Pulsar TI-576 // Вестник научных конференций. 2016. № 12-4. С. 176–177.
8. Куликов Д.Д., Падун Б.С., Яблочников Е.И. Перспективы автоматизации технологической подготовки производства // Изв. вузов. Сер.: Приборостроение. 2014. № 8 (57). С. 7–12.
9. Зильбербург Л.И., Молочник В.И., Яблочников Е.И. Информационные технологии в проектировании и производстве. СПб. : Политехника, 2008. 304 с.
10. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы данных интеллектуальных систем. СПб. : Питер, 2000. 384 с.
11. Применение многоагентных технологий для реализации системы управления виртуальным предприятием / М.Я. Афанасьев и др. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2011. № 5(75). С. 105–111.
12. Куликов Д.Д., Яблочников Е.И. Применение оценочных метрик для анализа технологической подготовки производства // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2011. № 6 (76). С. 109–112.
13. Яблочников Е.И., Фомина Ю.Н., Саломатина А.А. Организация технологической подготовки производства в распределенной среде // Изв. вузов. Сер.: Приборостроение. 2010. Т. 53, № 6. С. 12–15.
14. Аверин В.В., Гусельников В.С. Автоматизация проектирования управляющих программ / Изв. вузов. Сер.: Приборостроение. 2010. № 6 (53). С. 67–71.
15. Вороненко В.П., Седых М.И., Шашин А.Д. Проектирование и эффективная эксплуатация производственных участков многономенклатурного машиностроительного производства // Вестник РГАТУ имени П.А. Соловьева. 2017. № 1 (40). С. 182–189.
16. Вороненко В.П., Шашин А.Д. Планирование опытного производства с учетом его текущего состояния // Автоматизированное проектирование в машиностроении : материалы V междунар. заочной науч.-практ. конф. Новокузнецк : НИЦ МС, 2017. № 5. 134 с.
17. Маданов А.В. Анализ проблем при обработке деталей сложной геометрии и путей их решения на этапе технологической подготовки производства // Проблемы науки. 2015. № 1 (1). С. 14–16.
18. Будущее машиностроения России // Сб. тр. Всерос. конф. молодых ученых и специалистов. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2008. С. 48.
19. Либерман Я.Л., Черногорова С.А. Повышение точности систем ЧПУ // СТИН. 2008. № 1. С. 6–9.
20. Ловыгин А.А., Васильев А.В., Кривцов С.Ю. Современный станок с ЧПУ и САД/САМ-система. М. : Эльф ППР, 2006. 286 с.

References

1. OST 4GO.070.014-79. Detali radioelektronnoi apparatury [OST 4GO.070.014-79. Details of electronic equipment]. Moscow: "Radiostandard-TsNIRES" OOO. Moscow, 1992. 15 p.

2. STD-01. WBTC.1996, draft. Deburring Technology International, Inc., Kansas City, MO.
3. Dzhurinskii K.B. Miniaturnyye koaksial'nye radiokomponenty dlya mikroelektroniki SVCh. Soediniteli, koaksial'no-mikropoloskovye perekhody, adaptery, SVCh-vvody, nizkochastotnye vvody, izolyatsionnye stoiki, fil'try pomekh [Miniature coaxial radio components for microwave microelectronics. Connectors, coaxial-microstrip transitions, adapters, microwave inputs, low-frequency inputs, isolation racks, noise filters]. Moscow: Tekhnosfera Publ., 2006. 216 p.
4. Sovremennyye tekhnologii udaleniya zausentsev v otverstiyakh malykh diametrov pri izgotovlenii detalei gidravlicheskogo oborudovaniya [Modern technologies for deburring small-diameter holes in the manufacture of hydraulic equipment parts] [Electronic media]. URL: <https://stanko-arena.ru/article/sovremennyye-tekhnologii-udaleniya-zausentsev-v-otverstiyakh-malykh-diametrov.html>. Accessed January 20, 2020.
5. Halladay J. Prakticheskoe primeneniye metodov termicheskogo i elektrokhimicheskogo udaleniya zausentsev [Practical application of thermal and electrochemical deburring methods] [Electronic media]. URL: <http://stankoforward.ru/tekhnologii-udaleniya-zausentsev>. Accessed January 20, 2020.
6. Inzheneriya poverkhnosti detalei [Engineering of the surface of parts]. In Suslov A.G. (ed.) Moscow: Mashinostroenie Publ., 2008. 320 p.
7. Titov S.N. Snyatie zausentsev termopul'snoi ustanovkoi Pulsar TI-576 [Deburring with the Pulsar TI-576 thermal pulse installation]. *Vestnik nauchnykh konferentsii [Bulletin of scientific conferences]*, 2016. No. 12-4. Konsaltingovaya Kompaniya OOO Publ. (Tambov). Pp. 176–177.
8. Kulikov D.D., Padun B.S. Yablochnikov E.I. Perspektivy avtomatizatsii tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva [Prospects for the automation of technological preparation of production]. *Izv. vuzov. Priborostroenie [Journal of Instrument Engineering]*, 2014. No. 8 (57). Pp. 7–12.
9. Zilberburg L.I., Molochnik V.I., Yablochnikov E.I. Informatsionnyye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve [Information technologies in design and production]. Saint Petersburg: Politehnika Publ., 2008. 304 p.
10. Gavrilova T.A., Khoroshevskii V.F. Bazy dannykh intellektual'nykh sistem [Databases of intelligent systems]. Saint Petersburg: Piter Publ., 2000. 384 p.
11. Afanas'ev M.Ya., Salomatina A.A., Alyoshina E.E., Yablochnikov E.I. Primeneniye mnogoagentnykh tekhnologii dlya realizatsii sistemy upravleniya virtual'nym predpriyatiem [Application of multi-agent technologies for the implementation of a virtual enterprise management system]. *Nauch.-tekhn. vestn. Informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki [Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics]*, 2011. No. 5 (75). Pp. 105–111.
12. Kulikov D.D., Yablochnikov E.I. Primeneniye otsenochnykh metrik dlya analiza tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva [Application of evaluative metrics for the analysis of technological preparation of production]. *Nauch.-tekhn. vestn. Informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki [Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics]*, 2011. No. 6 (76). Pp. 109–112.
13. Yablochnikov E.I., Fomina Yu.N., Salomatina A.A. Organizatsiya tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva v raspredelennoi srede [Organization of technological preparation of production in a distributed environment]. *Izv. vuzov. Priborostroenie [Journal of Instrument Engineering]*, 2010. Vol. 53. No. 6. Pp. 12–15.
14. Averin V.V., Gusel'nikov V.S. Avtomatizatsiya proektirovaniya upravlyayushchikh programm [Design automation of control programs]. *Izv. vuzov. Priborostroenie [Journal of Instrument Engineering]*, 2010. No. 6 (53). Pp. 67–71.
15. Voronenko V.P., Sedykh M.I., Shashin A.D. Proektirovanie i effektivnaya ekspluatatsiya proizvodstvennykh uchastkov mnogonomenklaturnogo mashinostroitelnogo proizvodstva [Design and efficient operation of production areas of multi-product machine-building production]. *Vestnik RGATU imeni P.A. Solov'eva [Vestnik of P. A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University]*, 2017. No. 1 (40). Pp. 182–189.
16. Voronenko V.P., Shashin A.D. Planirovanie opytного proizvodstva s uchetom ego tekushchego sostoyaniya [Planning a pilot production taking into account its current state]. *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii: Materialy V mezhdunarodnoi zaochnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Computer-aided design in mechanical engineering: Proceedings of the V international correspondence scientific and practical conference]*. Novokuznetsk: SRC MS Publ., 2017. No. 5. 134 p.
17. Madanov A.V. Analiz problem pri obrabotke detalei slozhnoi geometrii i putei ikh resheniya na etape tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva [Analysis of problems in processing parts of complex geometry and ways to solve them at the stage of technological preparation of production]. *Problemy nauki [Problems of Science]*, 2015. No. 1 (1). Pp. 14–16.
18. Budusheee mashinostroeniya Rossii [The future of mechanical engineering in Russia]. *Sbornik trudov Vserossiiskoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov [Proceedings of the All-Russian conference of young scientists and specialists]*. Bauman MSTU Publ., 2008. Pp. 48.
19. Liberman Ya.L., Chernogolova S.A. Povysheniye tochnosti sistem ChPU / STIN [Improving the accuracy of CNC / STIN systems], 2008. No. L. Pp. 6–9.
20. Lovygin A.A., Vasil'ev A.V., Krivtsov S.Yu. Sovremennyyi stanok s ChPU i CAD/CAM-sistema [The modern machine with CNC and CAD/CAM-system]. Moscow: El'f PPR Publ., 2006. 286 p.

Информация об авторах

Карлина Юлия Игоревна – научный сотрудник Научно-исследовательской части, аспирант, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: karlinigor@mail.ru

Information about the authors

Yuliya I. Karlina, Researcher of Research Department, Ph.D. student, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: karlinigor@mail.ru