

УДК 621.9.048.4

А.П. Суворов

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОД-ИНСТРУМЕНТА

*Воронежский государственный технический университет,  
Воронеж, Россия*

*Данная статья направлена на раскрытие возможностей использования современных средств автоматизированного проектирования и технологий быстрого прототипирования в данной предметной области. В связи с этим предлагается алгоритм реализации сложнопрофильного комбинированного электрода-инструмента на основе аддитивных технологий, позволяющий комплексно рассмотреть возможность использования современных технологий для удешевления и упрощения технологии изготовления комбинированного электрода-инструмента для единичного и мелкосерийного производства. В статье представлена методика проектирования и изготовления комбинированного электрода-инструмента на основе использования возможностей современных САПР и языков программирования, встроенных в них в качестве инструмента для контроля параметрических параметров машиностроительного производства на примере проектирования и изготовления электрода-инструмента для электрических методов обработки, выявлены закономерности параметризации электрода-инструмента с помощью современных САПР и описана технология его изготовления с использованием аддитивных технологий.. Материалы статьи представляют практическую ценность для предприятий машиностроительного комплекса в связи с упрощения процесса изготовления электрода-инструмента для электрических методов обработки и его удешевлением.*

**Ключевые слова:** среда программирования, интерактивные приложения, программный интерфейс, макрос, объектная модель.

### **Введение**

Изготовление ответственных деталей, работающих в условиях значительных знакопеременных нагрузок в современном машиностроительном комплексе сопряжено с тенденцией усложнения формы. Эта тенденция обусловлена учетом ряда конструктивных, прочностных, массогабаритных и эргономических причин.

Сложные поверхности в современном машиностроении можно классифицировать на основании геометрии профиля:

Поверхности с числовыми отметками – форма которых подчинена отдельным точкам, а координаты таких точек заданы в виде чисел, обычно сведенных в таблицу;

Конструктивные поверхности – форма которых определяется конструктивными необходимостями;

Поверхности, подчиненные математическим уравнениям, определенной формы и с определенным расположением в пространстве, называемые алгебраическими/

Процессы усложнения формы промышленных объектов наблюдаются на всех этапах становления промышленного производства. Однако в современной действительности они приобрели лавинообразный характер, обусловленный следующими факторами:

- Работы в области теории прочности показали возможность повышения прочностных свойств деталей и изделий в целом за счет повышения «степени кривизны поверхности». Под кривизной поверхности в данном случае понимается математическое определение гладкости между двумя кривыми и поверхностями;

- Конструктивные особенности детали, механизма, устройства или изделия в целом, обусловленные функциями, на достижение которых направлено его создание;

- Эстетическими особенностями детали обусловлены приданием оригинального внешнего вида при проектировании для придания большей выразительности и привлекательности. В связи с этим современный машиностроительный комплекс неотъемлемо связан с автоматизацией производства на основе использования современных информационных технологий, что является необходимым условием повышения качества выпускаемой продукции и конкурентоспособности предприятия.

Особенностями использования информационных технологий являются:

- Сокращение затрат;
- Минимизация трудовых и экономических ресурсов;
- Быстрая смена номенклатуры [1].

Одним из наиболее распространенных средств автоматизации являются системы автоматизированного проектирования (САПР), позволяющие сократить время и трудозатраты на проектирование изделия и активно развивающиеся аддитивные технологии, позволяющие получать высококачественные и дешевые прототипы изделия еще на этапе проектирования.

Большинство современных САПР состоят из нескольких модулей: моделирования трехмерных объектов, сборки, оформления чертежей и конструкторской документации. Объединение модулей позволяет конструировать детали с учетом технологичности и используемого материала с меньшими финансовыми затратами и в короткие сроки. Модульность современных САПР облегчает возможности расширения системы и адаптируемость ее под требования пользователя.

Существует большое количество САПР, но их можно условно разделить на три основные группы (Рисунок 1):

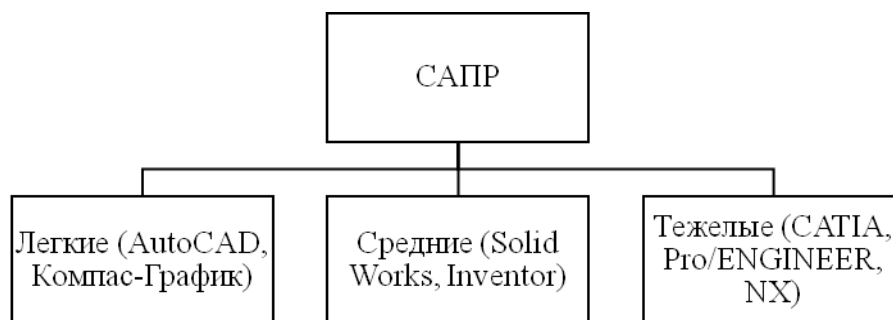


Рисунок 1 – Классификация САПР

На основе трехмерной модели в кратчайшие сроки может быть получен макет детали, изделия или опытный образец с помощью аддитивных технологий. В настоящее время трехмерная печать имеет достаточно широкую сферу применения от изготовления опытного образца изделия до доработки конструктивных особенностей деталей перед запуском в серийное производство. Основные направления технологии трехмерной печати укрупнено, можно представить в следующем виде (Рисунок 2):



Рисунок 2 – Классификация технологий трехмерной печати

- Экструзия материала. Технология экструзии материала использует пастообразный полимер или композит, который выдавливается через разогретое сопло на рабочую поверхность. Примерами реализации данной технологии являются: Fused Deposition Modeling (FDM), Multiphase Jet Solidification (MJS), Contour Crafting (CC) и т. д.

- Струйная подача материала. Технология струйной печати основана на принципе работы струйного принтера, но в качестве чернил тут выступает фото-полимер, воск или металл. При этом количество сопел может достигать более 400 штук. Примерами реализации данной технологии являются: Multi Jet Modeling (MJM), Liquid Metal Jetting (LMJ), Ballistic Particle Manufacturing (BPM) и т. д.

- Струйная подача связующего. Данная технология похожа на предыдущую, однако вещества для реализации уже находятся в зоне построения модели, а через сопла осуществляется подача связующего реагента. Примерами реализации данной технологии являются: Three – Di-

mensional Printing (3DP), Pro Metal, Direct Shell Production Casting (DSPC) и т. д.

- Ламинация листов. В основе данной технологии лежит послойное склеивание любого листообразного материал, а затем обработка лишнего материала. Примерами реализации данной технологии являются: Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM), Laminated object manufacturing (LOM), Selective Deposition Lamination (SDL)

- Фотополимеризация в ванне. Данная технология основана на затвердевании жидкой фотополимерной смолы под воздействием специального излучения. Примерами реализации данной технологии являются: Stereolithography (SLA) и Digital Light Processing (DLP).

- Сплавление порошка. Эта технология основана на сплавлении тонкого слоя порошка на поверхности в нужных местах мощным лазером. Примерами реализации данной технологии являются: Selective Laser Sintering (SLS), Electron Beam Melting (EBM), Direct Metal Laser Sintering (DMLS) и т. д [2].

- Направленное подведение энергии. Данная технология основана на одновременном подведении в печатающую головку и материала для печати, и энергии для его плавления. Примерами реализации данной технологии являются: Engineered Net Shaping (LENS) и Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM).

На сегодняшний день технология трехмерной печати еще не идеальна, но активно развивающаяся и все больше затрагивающая различные направления производства.

### **Материалы и методы**

Многие современные САПР имеют в своем арсенале встроенный язык программирования, что позволяет создавать собственные специализированные модули или надстройки на функциональные модули.

Одним из наиболее удобных и гибких способов контроля параметров при проектировании является модуль Prolog, входящий в состав Autodesk Inventor. Prolog представляет собой мощное средство автоматизации процессов проектирования, основанное на написании правил, записываемых на языке VB.NET. С помощью VB.NET пользователь может задавать правила для управления параметрами, элементами или компонентами Autodesk Inventor собственного объекта с помощью: условных операторов (if – then – else, Select Case и т.д.), циклов (for-next, Do-While и т. д.) и т. д. (Рисунок 3).

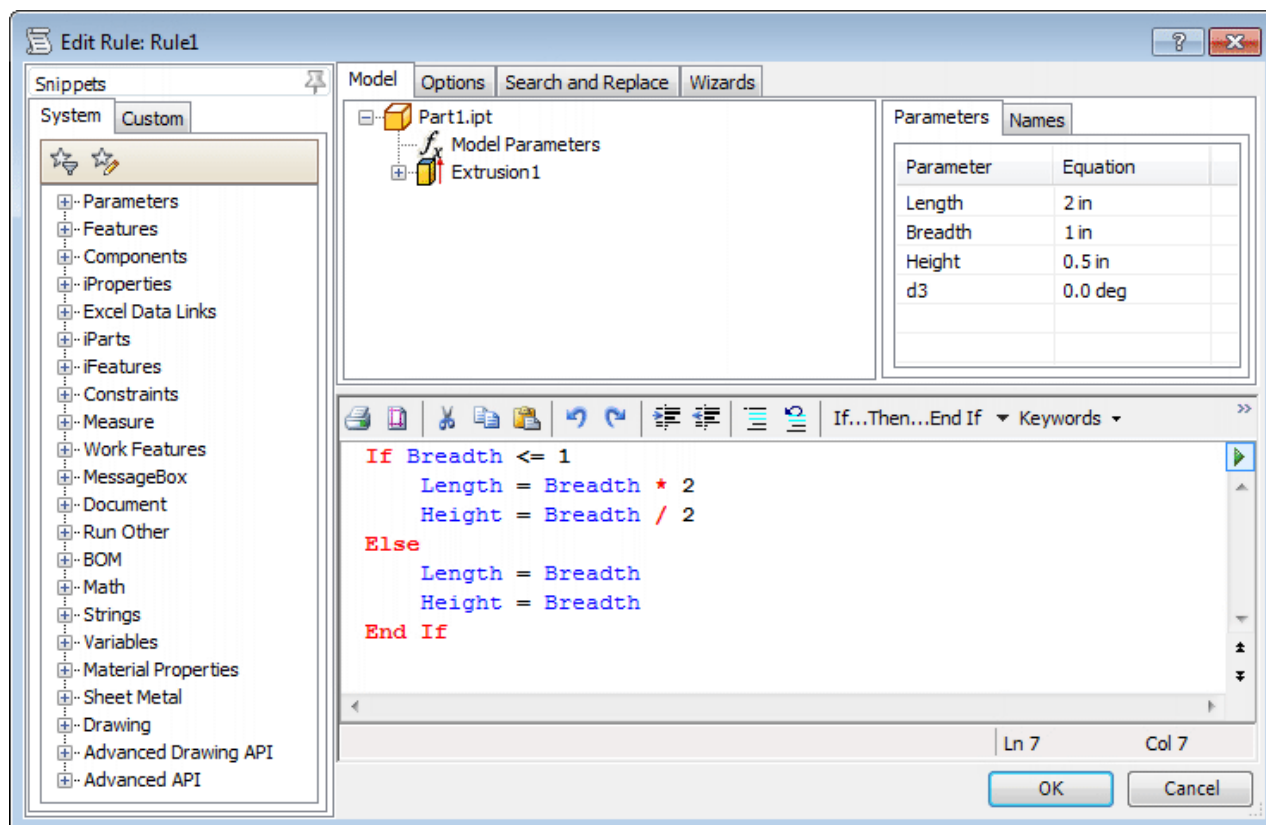


Рисунок 3 – Использование VB.NET для построения правил в Prolog

Использование модуля Prolog позволяет стандартизировать и автоматизировать процессы проектирования, внедрять правила для контроля параметров разрабатываемого изделия в виде объектов непосредственно в деталь, сборку и техническую документацию, что позволяет оперировать значениями параметров и атрибутов проекта для определения их поведения.

Использование модуля Prolog позволяет:

- Автоматизировать процессов поиска и изменения конфигурации параметрических сборок и их элементов на основе условных операторов, определенных в правилах сборки;
- Автоматизировать элементы деталей или сборок, а также компонентов и зависимостей сборки на основе правил с использованием условных аргументов;
- Автоматически обновлять и применять определенные резьбы при изменении размеров отверстий или диаметра стержня;
- Читать и записывать свойства материалов или представления в документах проекта, массу или объем детали и параметры проекта, а также реагировать на них;
- Обновлять спецификации при изменении конфигурации модели;

- Ограничивать или автоматически исправлять вводимые пользователем значения, чтобы итоговая конфигурация была допустима и соответствовала спецификации и стандартам проекта;

- Выполнять чтение и запись в электронные таблицы Excel.

В свою очередь, использование аддитивных технологий позволяет в короткие сроки получить готовый образец разрабатываемого объекта даже не на очень дорогостоящем оборудовании и из недорогого и широко используемого сырья (Рисунок 4) [6].

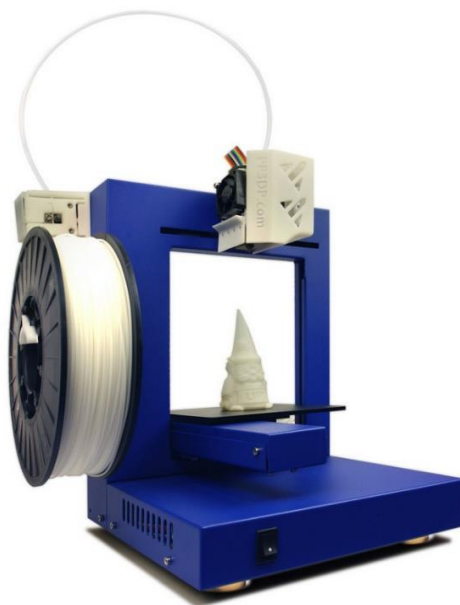


Рисунок 4 – Внешний вид принтера UP! 3D Printer

### Результаты

В качестве примера использования модуля iLogic авторами предлагается метод определения параметров при проектировании и разработки комбинированного электрода-инструмента (ЭИ) [3]. В зависимости от требуемых технических параметров профиля ЭИ формы поверхности могут характеризоваться значительной кривизной. Параметризация ЭИ может с помощью модуля iLogic позволять повысить уровень автоматизации разработки и учесть особенности разработки и проектирования, комбинированного ЭИ для электрических методов обработки (толщину токопроводящего покрытия с учетом межэлектродного зазора (МЭЗ) и особенностей использования ЭИ, обработку токонепроводящей основы для снятия поверхностных напряжений и т. д.) (Рисунок 5).

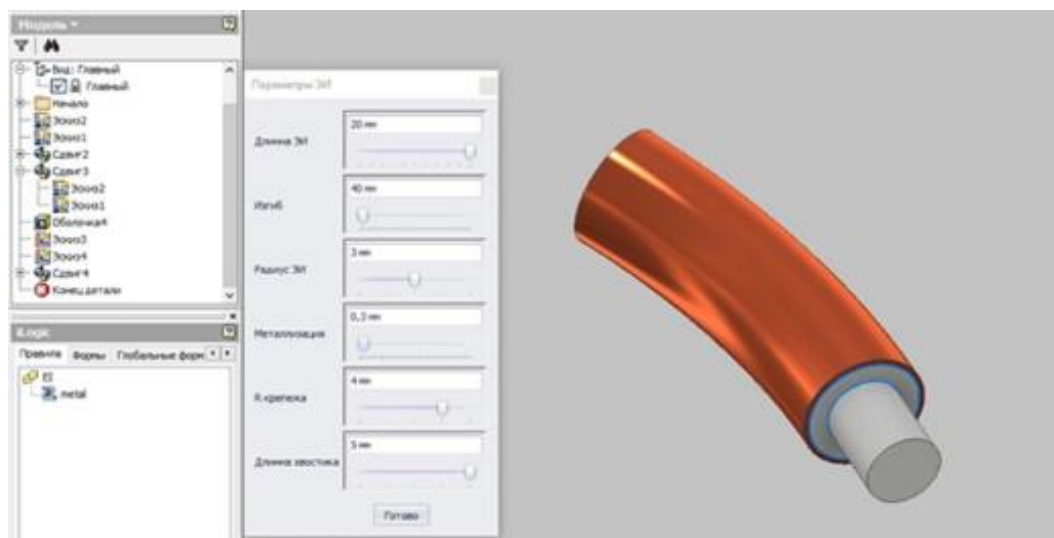


Рисунок 5 – Параметры изменения ЭИ заданные с помощью модуля ProGic

Изменяя эти значения можно контролировать поведение атрибутов, элементов и компонентов модели и осуществлять проектирование инструмента для формообразования еще на этапе создания собственного цифрового прототипа готовой детали.

Основываясь на описанных выше правилах автором был разработан алгоритм параметризации электрода-инструмента для электрических методов обработки в единичном и мелкосерийном производстве на основе теоретических сведений о расчете величины межэлектродного зазора и толщины токопроводящего покрытия (Рисунок 6).

Использование современных аддитивных технологий в современном машиностроении не только в качестве технологии изготовления деталей, но и для получения сложнопрофильных инструментов и оснастки для традиционных методов позволит сократить время и стоимость проведения научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы [5].

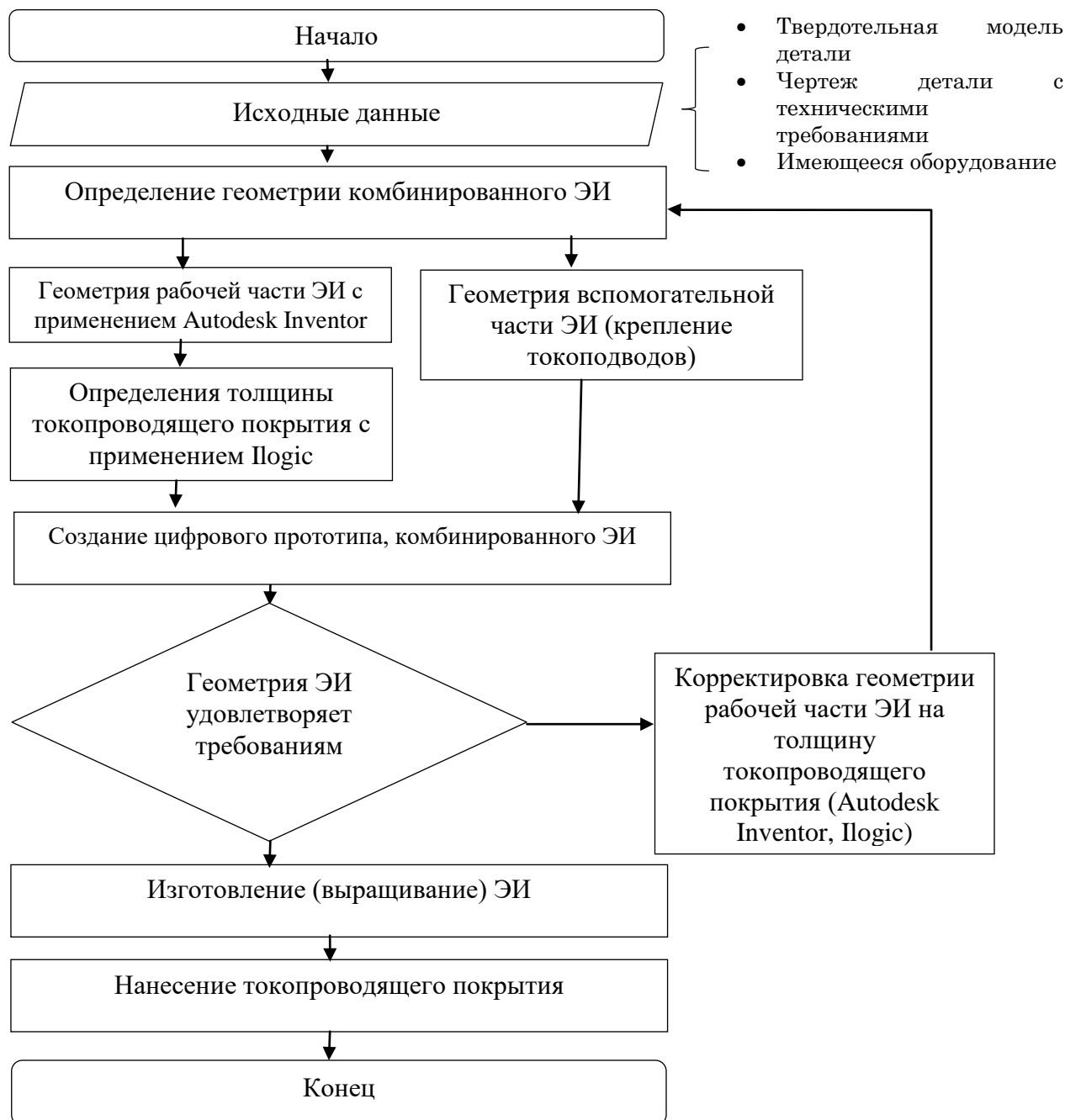


Рисунок 6 – Алгоритм реализации сложнопрофильного комбинированного электрода-инструмента на основе аддитивных технологий

Предложенный авторами алгоритм технологии реализации сложнопрофильного комбинированного электрода-инструмента на основе аддитивных технологий можно проиллюстрировать следующим образом:



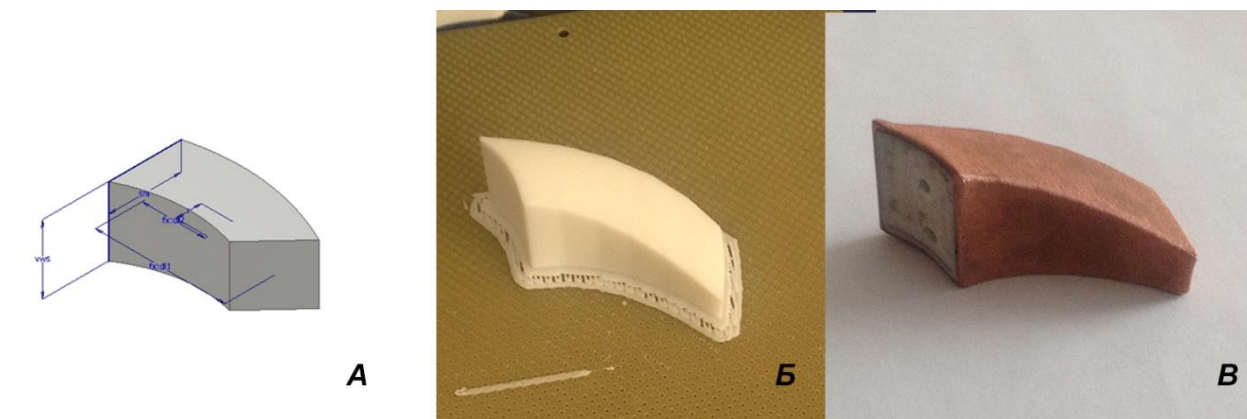


Рисунок 7 – Этапы получения сложнопрофильного комбинированного электрода-инструмента. А – разработка цифрового прототипа, Б – создание заготовки ЭИ из токонепроводящих материалов, В – нанесение металлического покрытия

В экспериментальных условиях была проведена проверка работоспособности комбинированного ЭИ при электроэрозионной обработке (ЭЭО) труднодоступных участков рабочих колес турбонасосных агрегатов: сила тока 4 А, частота 440 кГц, скважность 2, площадь обработки 100 мм<sup>2</sup>. При этом стойкость инструмента составила более 30 минут, а шероховатость обработанной поверхности соответствовала значению  $R_z = 1,25 - 0,63$  мкм.

### Заключение

Подводя итог можно отметить что современные информационные технологии могут использоваться в современном производстве для изготовления сложнопрофильных деталей и инструментов.

Использование аддитивных технологий предполагает прохождение несколько этапов и начинается с создания математической модели изделия, а заканчивается процессом создания готовой модели с использованием одной из возможных методик.

Следовательно, имея возможности 3D печати, низкий износ ЭИ в процессе работы и возможность нанесения токопроводящего покрытия на ЭИ выращенный из нетокопроводящих и дешевых материалов, открывается возможность изготовления ЭИ под любую деталь с какой угодно кривизной поверхности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузовкин А. В. Разработка технологии изготовления фасонного инструмента на основе быстрого прототипирования / А. В. Кузовкин, А. П. Суворов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Том 10. – № 1. – 2014. – С. 35-37.
2. Суворов А. П. Использование аддитивных технологий в производстве фасонных поверхностей / А. П. Суворов, А. В. Кузовкин // Вестник

- Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. – 2017. – № 2 (41). – С. 9-15.
3. Суворов А. П. Проектирование комбинированного инструмента для обработки сложнопрофильных поверхностей / А. П. Суворов, А. В. Кузовкин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – № 5 (53). – С. 16-22.
  4. Кузовкин А. В. Технологические возможности комбинированных и аддитивных процессов в формообразовании проточных поверхностей гидрооборудования / А. В. Кузовкин, Г. А. Сухочев, А. О. Родионов, А. П. Суворов // Насосы. Турбины. Системы. – Воронеж, 2014. – № 1 (10). – С. 53-60.
  5. Суворов А. П. Методика изготовления сложнопрофильного электрода-инструмента по технологии быстрого прототипирования / А. П. Суворов, А. В. Кретинин, А. В. Кузовкин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2015. – Т. 11. – № 2. – С. 11-14.
  6. Зеленина А. Н. Принципы моделирования и макетирование детали цапфа / А. Н. Зеленина, Ю. Д. Яицких // Наука и образование в жизни современного общества. – 2015. – С. 82-85.

A.S. Suvorov

## USE OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES FOR THE DEVELOPMENT OF A COMPLEX ELECTRODE INSTRUMENT

*Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia*

*The relevance of the study is due to the need to simplify the technology of manufacturing an electrode tool for electrical processing methods. In this regard, this article is aimed at revealing the possibilities of using modern computer-aided design tools and rapid prototyping technologies. In this regard, as an approach to the study of this problem is the development of an algorithm for the implementation of a composite electrode tool based on additive technologies that allows to consider the possibility of using modern technologies in order to reduce the cost and simplify the technology of manufacturing a combined electrode tool for single and small-scale production. The article presents a technique for designing and manufacturing a combined electrode tool based on the capabilities of modern CAD systems and programming languages embedded in them as a tool for monitoring parametric parameters of machine-building production using the example of designing and manufacturing an electrode tool for electrical processing methods, the regularities of the parameterization of the electrode-tool with the help of modern CAD systems are revealed and the technology of its manufacturing with the use of additive technologies is described. The materials of the article are of practical value for the enterprises of the machine-building complex in connection with the simplification of the process of manufacturing the electrode-tool for electrical processing methods and its reduction in cost.*

**Keywords:** programming environment, interactive applications, program interface, macro, object model.

## REFERENCES

1. Kuzovkin AV Development of the technology for manufacturing the shaped tool on the basis of rapid prototyping / AV Kuzovkin, AP Suvorov // Bulletin of the Voronezh State Technical University. - Volume 10. - No. 1. - 2014. pp. 35-37.
2. Suvorov AP, Kuzovkin A.V. Use of additive technologies in the production of shaped surfaces / A.P. Suvorov, A.V. Kuzovkin // Bulletin of the Rybinsk State Aviation Technological Academy. P.A. Solovyov. 2017. No. 2 (41). Pp. 9-15.
3. Suvorov AP, Kuzovkin A.V. Designing a combined tool for processing complex surfaces / A.P. Suvorov, A.V. Kuzovkin // Bulletin of Bryansk State Technical University. 2016. No. 5 (53). pp. 16-22.
4. Kuzovkin, A., "Technological Capabilities of Combined and Additive Processes in Forming the Flowing Surfaces of Hydraulic Equipment," AV Kuzovkin, GA Sukhochev, AO Rodionov, AP Suvorov. Pumps. Turbines. Systems. - Voronezh, 2014. - No. 1 (10). - pp. 53-60.
5. Suvorov AP Technique of manufacturing a composite electrode tool with rapid prototyping technology / AP Suvorov, AV Kretinin, AV Kuzovkin // Vestnik Voronezh State Technical University. - 2015. - Vol. 11. –No. 2. - pp. 11-14.