

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

УДК 620.1.08

DOI 10.21685/2307-5538-2019-2-10

*Е. А. Печерская, П. Е. Голубков, О. В. Карпанин,
Д. В. Артамонов, А. М. Бибарсова, А. В. Лысенко*

**АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ СИНТЕЗА ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ¹**

*E. A. Pecherskaya, P. E. Golubkov, O. V. Karpanin,
D. V. Artamonov, A. M. Bibarsova, A. V. Lysenko*

**THE ALGORITHM OF FUNCTIONING OF THE INTELLECTUAL
SYSTEM SYNTHESIS OF OXIDE COATINGS**

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Актуальным направлением создания высокопрочных защитных покрытий на металлических деталях приборостроительной отрасли является процесс микродугового оксидирования. С целью повышения эффективности технологического процесса требуется его автоматизация, для осуществления которой авторами разработаны модель взаимодействия аппаратной части и программного обеспечения и алгоритм функционирования предложенной интеллектуальной системы синтеза оксидных покрытий. **Материалы и методы.** Рассмотрен алгоритм функционирования автоматизированного метода синтеза оксидных покрытий на образцах из вентильных металлов. При разработке алгоритма использованы методы системного анализа, что позволило реализовать два варианта работы интеллектуальной системы: исследование синтезированных покрытий и синтеза покрытий с заданными свойствами. **Результаты.** Создан алгоритм работы интеллектуального приложения управляемого синтеза оксидных покрытий, который анализирует полученные данные о технологических параметрах и свойствах синтезируемого покрытия, и при отклонении их от требуемых оптимальных значений, выявленных ранее, осуществляет корректировку технологического режима, управляя микроконтроллером. **Выводы.** Особенностью предложенного интеллектуального приложения является возможность реализации как задачи исследования параметров оксидных покрытий, так и синтеза покрытий с заданными свойствами. Благодаря этому интеллектуальная автоматизированная система может быть использована в научных исследованиях взаимосвязей разнородных технологических параметров и свойств оксидных покрытий и в производственных технологических процессах при синтезе МДО покрытий с требуемыми свойствами.

A b s t r a c t. Background. The actual direction of creating high-strength protective coatings on metal parts of the instrument-making industry is the process of microarc oxidation. In

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-08-00425.

order to increase the efficiency of the technological process, its automation is required, for which the authors have developed a model of interaction between hardware and software and an algorithm for the functioning of the proposed intelligent system for the synthesis of oxide coatings. **Materials and methods.** The algorithm of functioning of an automated method for the synthesis of oxide coatings on samples from valve metals is considered. In developing the algorithm, systems analysis methods were used, which made it possible to implement two variants of the operation of an intelligent system: the study of synthesized coatings and the synthesis of coatings with desired properties. **Results.** An algorithm has been created for the operation of an intelligent application of controlled synthesis of oxide coatings, which analyzes the obtained data on technological parameters and properties of the synthesized coating, and if they deviate from the required optimal values identified earlier, it corrects the technological mode, controlling the microcontroller. **Conclusions.** A feature of the proposed intelligent application is the ability to implement both the task of studying the parameters of oxide coatings and the synthesis of coatings with desired properties. Due to this, an intelligent automated system can be used in scientific research on the interrelationships of heterogeneous technological parameters and properties of oxide coatings and in industrial technological processes in the synthesis of MAO coatings with the required properties.

К л ю ч е в ы е с л о в а: процесс микродугового оксидирования, аппаратная часть, алгоритм, свойства оксидных покрытий, формовочная кривая.

Key words: microarc oxidation process, hardware, algorithm, properties of oxide coatings, molding curve.

Введение

На современном этапе развития техники и технологий актуальной представляется проблема автоматизации процесса микродугового оксидирования (МДО), в частности, до сих пор остается нерешенной проблема его управляемости. Решению данной проблемы посвящено значительное количество теоретических и экспериментальных работ [1–10]. Основной трудностью, с которой сталкиваются при этом ученые, является большое количество факторов, которые в совокупности влияют на свойства МДО-покрытий и, как следствие, на параметры качества выпускаемых изделий. В работах [11, 12] на основе методологии управления качеством приведены результаты систематизации влияния технологических параметров на свойства оксидных покрытий.

Модель взаимодействия аппаратного и программного обеспечения интеллектуальной системы

В работе [13] представлена структура интеллектуальной автоматизированной системы управляемого синтеза (ИАСУС) МДО-покрытий, в состав которой входит аппаратная часть, программное обеспечение (ПО) и информационное наполнение. Реализованные методы измерений параметров изложены, в частности, в работах [14, 15].

Модель взаимодействия аппаратного и программного обеспечения ИАСУС показана на рис. 1.

В процессе работы системы клиентское ПО, интеллектуальное приложение управляемого синтеза (ИПУС), серверное ПО и ПО микроконтроллера обмениваются пакетами данных. ПО микроконтроллера посредством аналоговых сигналов управляет работой источника технологического тока (ИТТ) и принимает сигналы с измерительных преобразователей, которые после аналого-цифрового преобразования и передачи через USB-интерфейс становятся доступны ИПУС. ИПУС анализирует полученные данные о технологических параметрах и свойствах синтезируемого покрытия и при отклонении их от требуемых оптимальных значений, выявленных ранее, осуществляет корректировку технологического режима, управляя микроконтроллером (рис. 1,а).

Такое поведение аналогично наличию обратной связи между измерительными преобразователями, ИПУС и ИТТ (рис. 1,б), позволяющей гарантировать поддержание оптимальных технологических параметров процесса МДО на протяжении всего времени обработки.

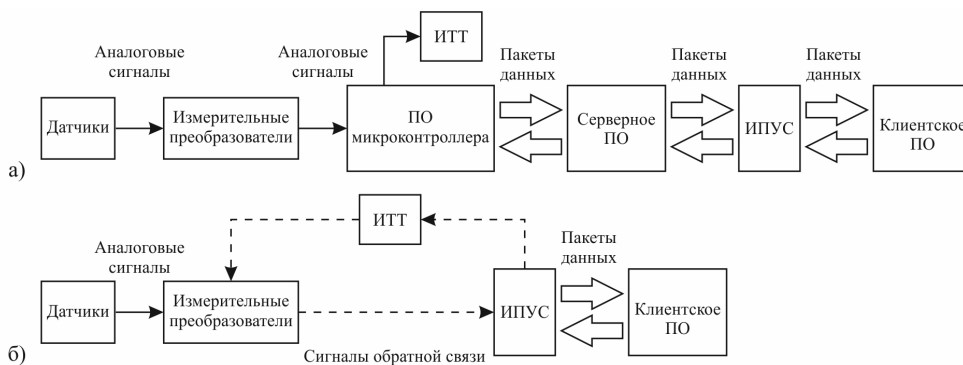


Рис. 1. Модель взаимодействия аппаратного и программного обеспечения интеллектуальной системы

Алгоритм функционирования интеллектуальной системы

Общий алгоритм функционирования ПО ИАСУС представлен на рис. 2.

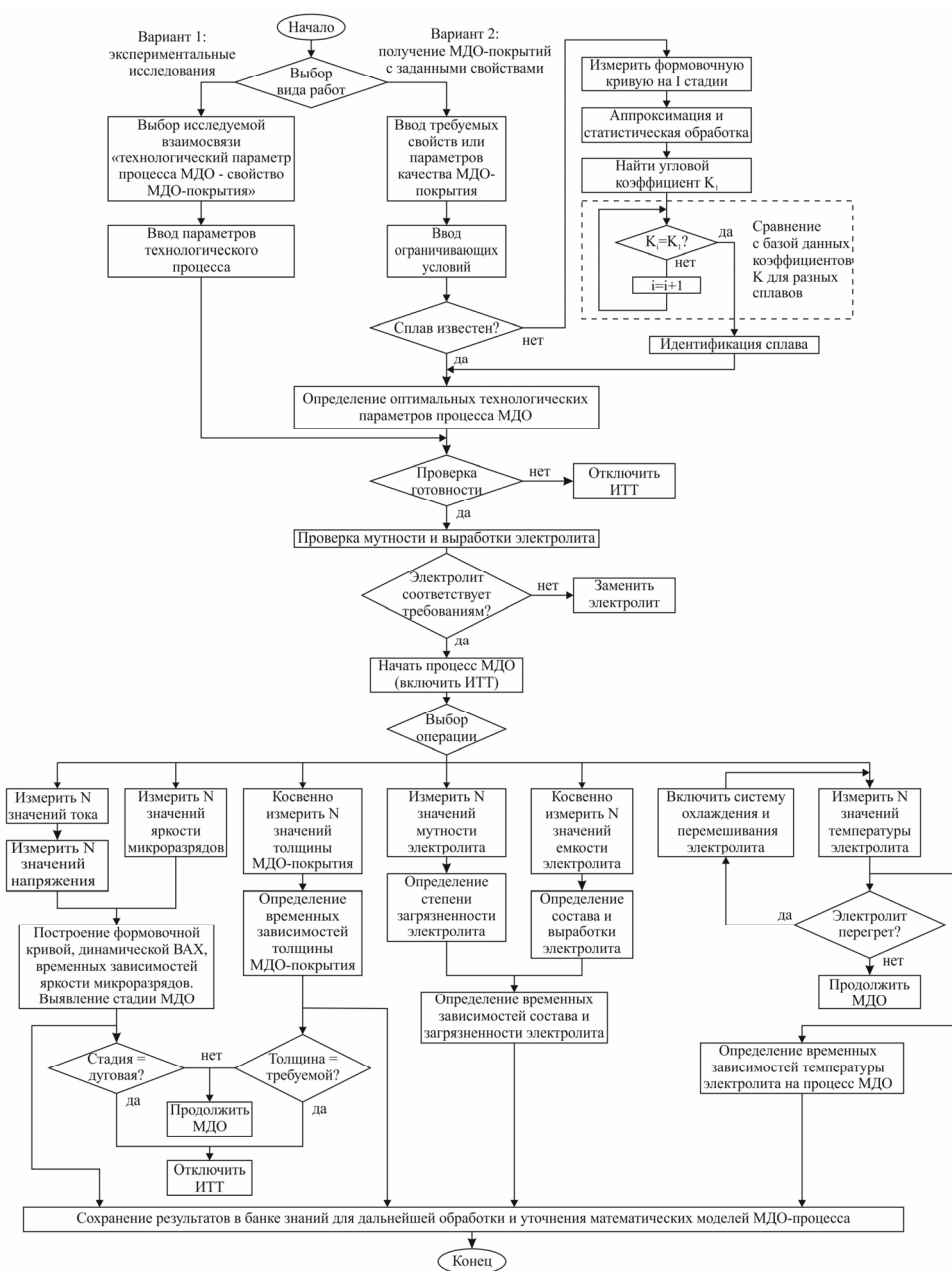


Рис. 2. Укрупненный алгоритм функционирования интеллектуальной системы

В начале работы оператору необходимо задать вид выполняемых работ: экспериментальные исследования (вариант 1) или получение МДО-покрытий с заданными свойствами (вариант 2). Если выбран вариант 1, оператору будет предложен выбор исследуемой взаимосвязи «технологический параметр процесса МДО – свойство МДО-покрытий» на графовом интерфейсе [16]. При этом процесс МДО будет осуществляться по технологическим параметрам, заданным пользователем, которые в общем случае не являются оптимальными и служат лишь для уточнения математических моделей процесса МДО. Если выбран вариант 2, интеллектуальное приложение на основе анализа данных, имеющихся в базе знаний (БЗ), предложит оператору несколько оптимальных режимов обработки, исходя из конструктивно-технологических и технико-экономических требований.

Далее система предлагает оператору ввести необходимые параметры технологического процесса (плотность тока, время обработки, соотношение анодного и катодного токов, частоту импульсов ИТТ, формовочное напряжение, температуру и начальный состав электролита) (для варианта 1) либо требуемые свойства (толщину, микротвердость, пористость) или параметры качества покрытия (износостойкость, коррозионная стойкость, электрическая прочность, тепловое сопротивление), характеристики детали (площадь поверхности, название сплава (если известно), или по крайней мере его основной компонент, шероховатость поверхности (если известна).

Также требования к покрытию для варианта 2 можно ввести с помощью ограничивающих условий. Например, если требуется получить коррозионно-стойкое покрытие, необходимо явно задать значение коррозионной стойкости и толщины, а пористость при этом должна быть минимально возможной. Задаваемая площадь поверхности детали неявно ограничивает минимально допустимую плотность тока, ниже которой процесс МДО практически не выполняется. Ограничивающими условиями также могут выступать технико-экономические показатели. Например, параметр «количество обработанных деталей за смену» ограничивает максимальное время обработки 1 дм^2 поверхности заготовки, а себестоимость 1 дм^2 покрытия ограничивает расход электроэнергии (в кВт·ч) за время обработки одной детали.

Рассмотрим алгоритм получения оптимальных технологических параметров процесса МДО интеллектуальным приложением управляемого синтеза на примере конкретной задачи синтеза коррозионно-стойкого МДО-покрытия. Имеем следующие исходные данные:

- коррозионная стойкость $CR = CR1$;
- толщина МДО-покрытия $h = h1$;
- начальный состав электролита. Обозначим концентрацию первого компонента (например, Na_2SiO_3) $C1$, а второго компонента (KOH) – $C2$. Состав электролита можно определить и автоматически, измерив выработку;
- шероховатость поверхности детали S (определяется конструктивно-технологическими требованиями на заготовку и параметрами станка);
- состав сплава (или его основной компонент).

Кроме того, имеем следующие ограничивающие условия (j_{\min} , j_{\max} , T_{\min} , T_{\max} – минимальные и максимальные допустимые значения технологических параметров):

- условие минимальной пористости;
- условие минимального времени обработки;
- диапазон плотностей тока $j \in [j_{\min}; j_{\max}]$;
- диапазон температур электролита $T \in [T_{\min}; T_{\max}]$.

Если точный состав сплава неизвестен, а известен только его основной компонент (например, алюминиевый, титановый сплав), запускается алгоритм идентификации сплава. Его работа основана на том факте, что зависимость формовочного напряжения U от времени МДО-обработки t (формовочная кривая, ФК) имеет разные угловые коэффициенты для разных сплавов (рис. 3) (каждую стадию процесса МДО на ФК можно аппроксимировать прямыми линиями).

Таким образом, для идентификации сплава достаточно измерить ФК исследуемого образца при минимально допустимой плотности тока на стадии анодирования (область 1 на рис. 3), продолжительностью в несколько секунд, аппроксимировать ее методом наименьших квадратов и определить угловой коэффициент получившейся прямой через производную

$$k = \frac{\partial U}{\partial t}.$$

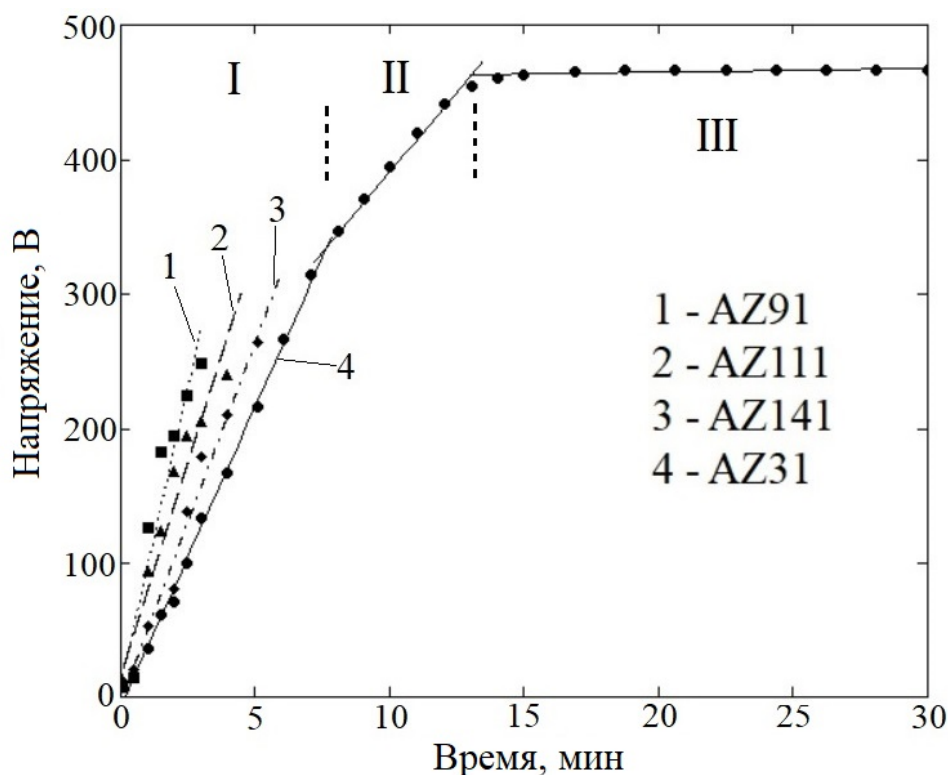


Рис. 3. Зависимость формовочного напряжения U от времени МДО-обработки t

Далее происходит сравнение полученного углового коэффициента со значениями угловых коэффициентов для разных сплавов из БЗ математических моделей (ММ) процесса МДО с учетом погрешности измерения, и при равенстве этих коэффициентов определяется соответствующий сплав.

Затем с помощью разработанных алгоритмов управляемого синтеза происходит определение оптимальных технологических параметров процесса МДО для данного сплава по имеющимся исходным данным и с учетом ограничивающих условий с использованием информации, содержащейся в банке знаний. В результате работы подпрограммы управляемого синтеза получаем совокупность значений технологических параметров, при которых достигается требуемая толщина h_1 (разные способы нанесения покрытия):

$$\text{Way } 1: j_1, t_1, T_1, (I_C/I_A)_1, U_{F_1}, f_1, p_{Al}, C_1, C_2,$$

$$\text{Way } 2: j_2, t_2, T_2, (I_C/I_A)_2, U_{F_2}, f_2, p_{Al}, C_1, C_2,$$

$$\text{Way } i: j_i, t_i, T_i, (I_C/I_A)_i, U_{F_i}, f_i, p_{Al}, C_1, C_2,$$

$$\text{Way } n: j_n, t_n, T_n, (I_C/I_A)_n, U_{F_n}, f_n, p_{Al}, C_1, C_2,$$

где j – плотность тока; t – время МДО-обработки; T , C_1 , C_2 – температура и концентрация компонентов электролита соответственно; I_C/I_A – соотношение анодного и катодного токов; U_F – формовочное напряжение; f – частота импульсов технологического тока; p_{Al} – процентное содержание алюминия в исходном сплаве, а индекс 1, 2, i , n – номер набора технологических параметров. Затем эти выражения в виде, удобном для восприятия, отображаются на экране компьютера, и оператор, исходя из своих предпочтений, выбирает один из способов нанесения покрытия и запускает процесс МДО.

После этого полученные данные о выбранном оптимальном режиме обработки передаются серверному ПО и ПО микроконтроллера, которое и осуществляет управление технологическим оборудованием. После ввода параметров необходимо проверить готовность системы по состоянию конечного выключателя защитного ограждения. Если защитное ограждение открыто, ИТТ отключается, а на экран выводится соответствующее сообщение, и работа программы продолжится только при закрытии защитного ограждения.

Далее проверяется состояние электролита путем измерения выработки, и если электролит не соответствует требованиям, выводится сообщение о его замене.

После проведения подготовительных процедур начинается непосредственно процесс МДО. При этом возможно выполнение нескольких независимых задач:

- МДО-обработка;
- измерение тока;
- измерение напряжения;
- измерение толщины МДО-покрытия;
- измерение яркости микроразрядов;
- измерение температуры электролита;
- измерение выработки электролита;
- измерение мутности электролита.

При этом основной задачей является МДО-обработка, так как она задействует ИТТ, а все остальные задачи выполняются одновременно с ней. Такое количество задач свидетельствует о необходимости разработки для микроконтроллера собственной операционной системы, причем номер задачи будет задаваться ИПУС.

Измерение тока и напряжения на образце позволяет строить формовочные кривые процесса МДО и динамические вольтамперные характеристики (ВАХ) (зависимости напряжения от тока за один период сигнала ИТТ), а также определять по ним стадию процесса МДО, напряжение зажигания и гашения микроразряда. При этом если МДО-процесс достиг начала дуговой стадии, ИТТ отключается и на экран компьютера выводится сообщение об окончании МДО-обработки. Также возможно определение стадийности процесса МДО на основе измерения яркости микроразрядов.

Измерение толщины МДО-покрытий в реальном времени дает возможность строить ее временные зависимости и на их основе выводить математические модели процесса МДО, пополняя таким образом банк знаний. Толщина МДО-покрытий определяется путем измерения емкости МДО-покрытия с использованием частотного интегрирующего развертывающего преобразователя (ЧИРП) оригинальной конструкции [16].

Измерение временных зависимостей выработки электролита позволит установить срок его службы, а также разработать рекомендации по корректировке состава электролита по мере его обеднения ионами. Выработка электролита определяется путем измерения емкости конденсатора с электролитом в качестве диэлектрика при помощи второго ЧИРП. Следует отметить, что перед каждой МДО-обработкой ИПУС осуществляет корректировку данных о составе электролита, измеряя его выработку.

Температура электролита измеряется интегральным диодным датчиком типа LM35 и поддерживается на оптимальном уровне ИПУС, управляющей также системой охлаждения и перемешивания электролита. Если необходимо получить временные зависимости температуры электролита либо температурные зависимости свойств МДО-покрытия, система охлаждения и перемешивания электролита должна быть отключена либо температура должна изменяться дискретно с малым шагом соответственно.

Измерение мутности электролита дает возможность установить зависимость интенсивности шламовыделения от мощности микроразрядов, а также оценить эффективность работы системы охлаждения и перемешивания электролита [17].

После завершения процесса МДО все полученные зависимости и режимы обработки сохраняются в соответствующих базах знаний для дальнейшей обработки и уточнения математических моделей МДО-процесса.

Заключение

Предложена модель взаимодействия аппаратного и программного обеспечения интеллектуальной системы синтеза оксидных покрытий, которая служит основой для разработки алгоритма ее функционирования. Особенностью рассматриваемой системы является возможность реализации как задачи синтеза покрытий с заданными свойствами, так и задачи исследования параметров оксидных покрытий. Благодаря этому интеллектуальная автоматизированная система может быть использована в научных исследованиях взаимосвязей разнородных технологических параметров и свойств МДО покрытий, а также в производственных технологических процессах при синтезе покрытий с требуемыми свойствами.

Библиографический список

1. *Wei, F.* Effect of variations of Al content on microstructure and corrosion resistance of PEO coatings on Mg-Al alloys / F. Wei, W. Zhang, T. Zhang, F. Wang // *J. of Alloys and Compounds*. 2017. – Vol. 690. – P. 195–205. – DOI 10.1016/J.JALLCOM.2016.08.111.
2. *Mohedano, M.* Role of particle type and concentration on characteristics of PEO coatings on AM50 magnesium alloy / M. Mohedano, B. Mingo, R. Arrabal, A. Pardo // *Surf. & Coat. Technol.* – 2018. – Vol. 334. – P. 328–335. – DOI 10.1016/j.surfcoat.2017.11.058.
3. Correlation between plasma electrolytic oxidation treatment stages and coating microstructure on aluminum under unipolar pulsed DC mode / V. Dehnavi, B. L. Luan, X. Y. Liu, D. W. Shoesmith, S. Rohani // *Surf. & Coat. Technol.* – 2015. – Vol. 269. – P. 91–99. – DOI 10.1016/j.surfcoat.2014.11.007.
4. Preparation of thermal control coatings on Ti alloy by plasma electrolytic oxidation in K₂ZrF₆ solution / Z. Yao, P. Su, Q. Shen, P. Ju, C. Wu, Y. Zhai, Z. Jiang // *Surf. & Coat. Technol.* – 2015. – Vol. 269. – P. 273–278.
5. Effect of nanocrystalline surface of substrate on microstructure and wetting of PEO coatings / H. R. Masiha, H. R. Bagheri, M. Gheyhani, M. Aliofkhaezraei, A. Sabour Rouhaghdam, T. Shahrabi. // *Bull. Mater. Sci.* – 2015. – Vol. 38, № 4. – P. 935–943.
6. *Gao, Y.* Effect of current mode on PEO treatment of magnesium in Ca- and P-containing electrolyte and resulting coatings / Y. Gao, A. Yerokhin, A. Matthews // *Appl. Surf. Sci.* 2014. – Vol. 316. – P. 558–567. – DOI 10.1016/j.apsusc.2014.08.035.
7. *Nabavi, H. F.* Morphology and corrosion resistance of hybrid plasma electrolytic oxidation on CP-Ti / H. F. Nabavi, M. Aliofkhaezraei, A. S. Rouhaghdam // *Surf. & Coat. Technol.* – 2017. – Vol. 322. – P. 59–69. – DOI 10.1016/j.surfcoat.2017.05.035.
8. Effects of electric parameters on structure and thermal control property of PEO ceramic coatings on Ti alloys / Q. Xia, J. Wang, G. Liu, H. Wei, D. Li, Z. Yao, Z. Jiang, C. Chen // *Surf. & Coat. Technol.* – 2016. – Vol. 307. – P. 1284–1290.
9. Cheng, Y. The effects of anion deposition and negative pulse on the behaviours of plasma electrolytic oxidation (PEO) – A systematic study of the PEO of a Zirlo alloy in aluminate electrolytes / Y. Cheng, T. Wang, S. Li, Yu. Cheng // *Elect. Acta.* – 2017. – Vol. 225. – P. 47–68. – DOI 10.1016/j.electacta.2016.12.115.
10. *Казанцев, И. А.* Износостойкость композиционных материалов на основе титана, полученных микродуговым оксидированием / И. А. Казанцев, А. О. Кривенков, А. Е. Розен, С. Н. Чугунов // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки.* – 2008. – № 1 (5). – С. 159–164.
11. *Golubkov, P. E.* Methods of applying the reliability theory for the analysis of micro-arc oxidation process // P. E. Golubkov, E. A. Pecherskaya, O. V. Karpanin, Y. V. Shepeleva // *IOP Conf. Series: J. of Phys.: Conf. Series.* – 2018. – Vol. 1124. – P. 081014. – DOI 10.1088/1742-6596/1124/8/081014.
12. *Голубков, П. Е.* Применение инструментов контроля качества для анализа процесса микродугового оксидирования / П. Е. Голубков, Е. А. Печерская, А. В. Мартынов // *Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : тез. докл. III Всерос. молодежной науч. конф.* – Тамбов, 2018. – С. 111–113.
13. Automation of the micro – arc oxidation process / P. E. Golubkov, E. A., Pecherskaya, O. V. Karpanin, Y. V. Shepeleva, T. O. Zinchenko, D. V. Artamonov // *Journal of Physics: Conf. Series.* – 2017. – № 917. – P. 092021. – DOI 10.1088/1742-6596/917/9/092021.
14. Автоматизированная исследовательская технологическая установка микродугового оксидирования / П. Е. Голубков, Е. А. Печерская, О. В. Карпанин, Ю. В. Шепелева, Т. О. Зинченко, Д. В. Артамонов // *Наноструктурированные оксидные пленки и покрытия : сб. ст. по материалам IV Междунар. молодежной науч. школы-семинара.* – Петрозаводск, 2017. – С. 103–114.
15. *Голубков, П. Е.* Методы измерения температуры в процессе микродугового оксидирования / П. Е. Голубков, А. В. Мартынов, Е. А. Печерская // *Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. науч. ст. V Всерос. межвуз. науч.-практ. конф. / под ред. Л. Р. Фионовой.* – Пенза, 2018. – С. 245–248.
16. *Vasil'ev, V. A.* The structure of the universal micromodule of the integrating scanning frequency converter / V. A. Vasil'ev, N. V. Gromkov, A. J. Joao // *Proc. Dynamics Conf.* – Omsk, 2016. – № 7819105. – DOI 10.1109/Dynamics.2016.7819105.
17. *Голубков, П. Е.* Методы измерения выработки электролита в процессе микродугового оксидирования / П. Е. Голубков, Е. А. Печерская // *Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения В. М. Шляндина.* – Пенза, 2018. – С. 121–124.

References

1. Wei F., Zhang W., Zhang T., Wang F. *J. of Alloys and Compounds*. 2017, vol. 690, pp. 195–205. DOI 10.1016/J.JALLCOM.2016.08.111.
2. Mohedano M., Mingo B., Arrabal R., Pardo A. *Surf. & Coat. Technol.* 2018, vol. 334, pp. 328–335. DOI 10.1016/j.surfcoat.2017.11.058.
3. Dehnavi V., Luan B. L., Liu X. Y., Shoesmith D. W., Rohani S. *Surf. & Coat. Technol.* 2015, vol. 269, pp. 91–99. DOI 10.1016/j.surfcoat.2014.11.007.
4. Yao Z., Su P., Shen Q., Ju P., Wu C., Zhai Y., Jiang Z. *Surf. & Coat. Technol.* 2015, vol. 269, pp. 273–278.
5. Masiha H. R., Bagheri H. R., Gheytani M., Aliofkhazraei M., A. Sabour Rouhaghdam, Shahrabi T. *Bull. Mater. Sci.* 2015, vol. 38, no. 4, pp. 935–943.
6. Gao Y., Yerokhin A., Matthews A. *Appl. Surf. Sci.* 2014, vol. 316, pp. 558–567. DOI 10.1016/j.apsusc.2014.08.035.
7. Nabavi H. F., Aliofkhazraei M., Rouhaghdam A. S. *Surf. & Coat. Technol.* 2017, vol. 322, pp. 59–69. DOI 10.1016/j.surfcoat.2017.05.035.
8. Xia Q., Wang J., Liu G., Wei H., Li D., Yao Z., Jiang Z., Chen C. *Surf. & Coat. Technol.* 2016, vol. 307, pp. 1284–1290.
9. Cheng Y., Wang T., Li S., Cheng Yu. *Elect. Acta.* 2017, vol. 225, pp. 47–68. DOI 10.1016/j.electacta.2016.12.115.
10. Kazantsev I. A., Krivenkov A. O., Rozen A. E., Chugunov S. N. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* [University proceedings. Volga region. Engineering sciences]. 2008, no. 1 (5), pp. 159–164. [In Russian]
11. Golubkov P. E., Pecherskaya E. A., Karpanin O. V., Shepeleva Y. V. *IOP Conf. Series: J. of Phys.: Conf. Series.* 2018, vol. 1124, pp. 081014. DOI 10.1088/1742-6596/1124/8/081014.
12. Golubkov P. E., Pecherskaya E. A., Martynov A. V. *Radioelektronika. Problemy i perspektivy razvitiya: tez. dokl. III Vseros. molodezhnoy nauch. konf.* [Radionics. Problems and prospects of development : abstracts of III all-Russia. youth science. conf.]. Tambov, 2018, pp. 111–113. [In Russian]
13. Golubkov P. E., Pecherskaya E. A., Karpanin O. V., Shepeleva Y. V., Zinchenko T. O., Artamonov D. V. *Journal of Physics: Conf. Series.* 2017, no. 917, pp. 092021. DOI 10.1088/1742-6596/917/9/092021.
14. Golubkov P. E., Pecherskaya E. A., Karpanin O. V., Shepeleva Yu. V., Zinchenko T. O., Artamonov D. V. *Nanostrukturirovannye oksidnye plenki i pokrytiya: sb. st. po materialam IV Mezhdunar. molodezhnoy nauch. shkoly-seminara* [Nanostructured oxide films and coatings : collection of articles on materials of IV International youth scientific. school-seminar's]. Petrozavodsk, 2017, pp. 103–114. [In Russian]
15. Golubkov P. E., Martynov A. V., Pecherskaya E. A. *Informatsionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii. Problemy i perspektivy: sb. nauch. st. V Vseros. mezhvuz. nauch.-prakt. konf.* [Information technologies in science and education. Problems and prospects : collection of scientific articles V all-Russian interuniversity. science.-prakt. conf.]. Penza, 2018, pp. 245–248. [In Russian]
16. Vasil'ev V. A., Gromkov N. V., Joao A. J. *Proc. Dynamics Conf.* Omsk, 2016, no. 7819105. DOI 10.1109/Dynamics.2016.7819105.
17. Golubkov P. E., Pecherskaya E. A. *Metody, sredstva i tekhnologii polucheniya i obrabotki izmeritel'noy informatsii: materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., posvyashch. 100-letiyu so dnya rozhdeniya V. M. Shlyandina* [Methods, means and technologies of obtaining and processing of measuring information : materials international. science.-tech. conf. dedicated to 100 anniversary of the birth of V. M. Shlyandina]. Penza, 2018, pp. 121–124. [In Russian]

Печерская Екатерина Анатольевна

доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой информационно-
измерительной техники и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: peal@list.ru

Pecherskaya Ekaterina Anatolevna

doctor of technical sciences, associate professor,
head of sub-department of information
and measuring equipment and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Голубков Павел Евгеньевич

аспирант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: golpavpnz@yandex.ru.

Карпанин Олег Валентинович

старший преподаватель,
кафедра нано- и микроэлектроники,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: karpanino@mail.ru

Артамонов Дмитрий Владимирович

доктор технических наук, профессор,
первый проректор,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: dmitrartamon@yandex.ru

Бибарсова Алия Мухамеджановна

кандидат медицинских наук, доцент,
заместитель декана,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: bibarsova_pgu@mail.ru

Лысенко Алексей Владимирович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: lysenko_av@bk.ru

Golubkov Pavel Evgenevich

postgraduate student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Karpanin Oleg Valentinovich

senior lecturer,
sub-department of nano-and microelectronics,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Artamonov Dmitriy Vladimirovich

doctor of technical sciences, professor,
first Vice-Rector,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Bibarsova Aliya Muhamedjanovna

candidate of medical sciences, associate professor,
deputy dean,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Lysenko Alexey Vladimirovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio equipment design
and production,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Образец цитирования:

Алгоритм функционирования интеллектуальной системы синтеза оксидных покрытий /
Е. А. Печерская, П. Е. Голубков, О. В. Карпанин, Д. В. Артамонов, А. М. Бибарсова, А. В. Лысенко //
Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2019. – № 2 (28). – С. 85–93. – DOI 10.21685/2307-
5538-2019-2-10.