

УДК 621.35:658.5.012.7

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ТВЕРДОГО АНОДИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ВЕРТОЛЕТОВ С ДИАГНОСТИКОЙ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ

Е. В. ПАРФЕНОВ¹, А. Р. ФАТКУЛЛИН², Д. М. ЛАЗАРЕВ³, И. Ю. ШЕВЧУК⁴, А. И. ДАУТОВ⁵

pev_us@yahoo.com

^{1-3,5} ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

⁴ ОАО «Кумертауское авиационное производственное предприятие» (КумАПП)

Поступила в редакцию 20 апреля 2014 г.

Аннотация. Разработана автоматизированная технологическая установка для твердого анодирования деталей вертолетной техники. Представлена конструкция и программное обеспечение автоматизированной установки твердого анодирования с компьютерным управлением и оценкой толщины покрытия на основе диагностической модели по измеримым электрическим характеристикам. Опытный образец установки работает в гальваническом цеху ОАО «КумАПП» в условиях серийного производства.

Ключевые слова: твердое анодирование; автоматизированная технологическая установка; диагностика толщины покрытия; управление процессом.

ВВЕДЕНИЕ

Современная промышленность предъявляет высокие требования к технологическим процессам модификации поверхностного слоя ответственных деталей авиационной техники [1]. Одним из известных электрохимических методов упрочнения поверхности является твердое анодирование (ТА), которое применяется по ГОСТ 9.305-84 для получения твердых износостойких покрытий, тепло- и электроизоляционных слоев [2, 3]. Процесс ТА нашел широкое применение в производственной практике многих промышленных предприятий, в том числе и на ОАО «КумАПП». Получение оксидных пленок с требуемыми характеристиками (толщина и микротвердость покрытия) в процессе ТА неразрывно связано с его автоматизацией. Для повышения эффективности процесса ТА современная система автоматизации должна обеспечивать компьютерное управление режимами обработки, мониторинг и контроль параметров электролизера (плотность тока, напряжение, температура электролита) [4]. К особенностям современных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) форми-

рования оксидных покрытий на алюминиевых сплавах относится диагностика свойств поверхностного слоя, позволяющая прекращать процесс при достижении заданной толщины покрытия [5].

Установка твердого анодирования, функционировавшая в ОАО «КумАПП» в течение последних десятилетий, не удовлетворяет современным требованиям и полностью выработала свой ресурс. Поэтому целью данной работы является проектирование автоматизированной технологической установки твердого анодирования с компьютерным управлением и диагностикой толщины покрытия и внедрение опытного образца в производство.

КОНСТРУКЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ТВЕРДОГО АНОДИРОВАНИЯ

На основе анализа требований к технологическому процессу ТА, представленных в таблице, и с учетом опыта эксплуатации установки ТА предложена функциональная схема автоматизированной установки твердого анодирования с компьютерным управлением и диагностикой толщины покрытия, приведенная на рис. 1.

Автоматизированная технологическая установка размещена в гальваническом цехе ОАО «КумАПП».

Исследования выполнены в рамках НИР АП-ТО-15-12-ХГ-529/48 и поддержаны грантом Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых № МД-2870.2014.8.

Таблица

Требования к автоматизированному технологическому процессу ТА

Электролит	серная кислота 300–380 г/л
Температура электролита, °С	минус 4 – минус 7
Плотность тока, А/дм ²	0,5–1,0 (0–30 мин); 2,0–3,0 (30–120 мин)
Ток, А	0–200
Напряжение, В	0–100
Точность поддержания температуры электролита, °С	± 1
Точность стабилизации тока, А	± 0,2
Точность стабилизации напряжения, В	± 0,1
Точность диагностики толщины покрытия, мкм	± 5

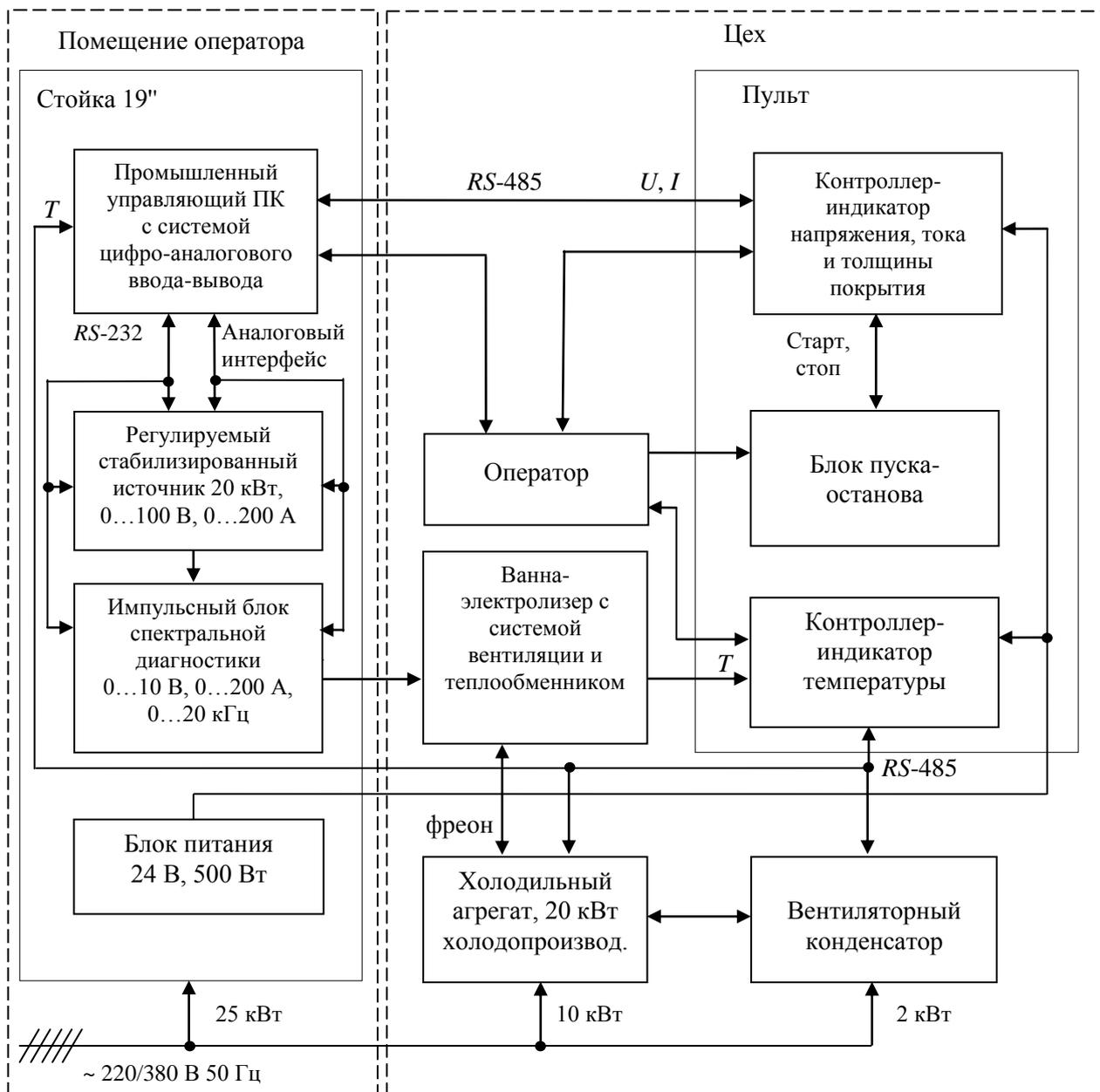


Рис. 1. Функциональная схема автоматизированной установки твердого анодирования с компьютерным управлением и диагностикой толщины покрытия

Установка объединяет в себе помещение оператора (изолированное от коррозионно-активной атмосферы цеха), в котором размещаются основные блоки установки, пульт управления (в коррозионностойком исполнении) и ванну-электролизер.

На рис. 2 представлен план участка твердого анодирования. Внутри помещения оператора 1 установлены: автоматизированное рабочее место оператора 2, компрессор холодильной установки 3, шкаф управления компрессором 4, система приточной вентиляции 5 и система климат-контроля 6. На крыше помещения оператора установлен вентиляторный конденсатор холодильной установки. В цеху установлена ванна-электролизер 7, рядом с которой размещен пульт управления технологической установкой 8 и вытяжная вентиляция 9.

На рис. 3 представлен внешний вид рабочего места оператора, которое оснащено промышленным управляющим компьютером (сенсорный монитор 1, системный блок 2, клавиатура 3), двумя источниками питания TDK-Lambda Genesys 10 кВт для ванны-электролизера 4, соединенными параллельно, источником питания

TDK-Lambda Genesys 2,4 кВт для импульсного блока спектральной диагностики 5, источником питания FPS1000-24 для пульта управления 6 и импульсным блоком спектральной диагностики ИБСД-20 7 [6]. Основные компоненты рабочего места оператора выполнены в корпусах шириной 19" и размещены в монтажном шкафу-стойке, расположенном в помещении оператора. Электропитание оборудования рабочего места оператора и холодильной установки осуществляется от промышленной сети 220/380 В, 50 Гц.

На рис. 4 представлен внешний вид пульта управления. Пульт управления связан с основными блоками установки кабелями интерфейса последовательной связи (RS-232/485) и кабелем питания 24 В. Кабели размещены в пластиковых гофрированных трубах и металлическом кабельном лотке, соединяющем помещение оператора и ванну-электролизер.

На рис. 5 представлена ванна-электролизер с подвешенными деталями. От помещения оператора к ванне-электролизеру в теплоизоляционном кожухе проложена магистраль трубопроводов циркуляции хладагента для охлаждения электролита (поз. 11 и 12 на рис. 2).

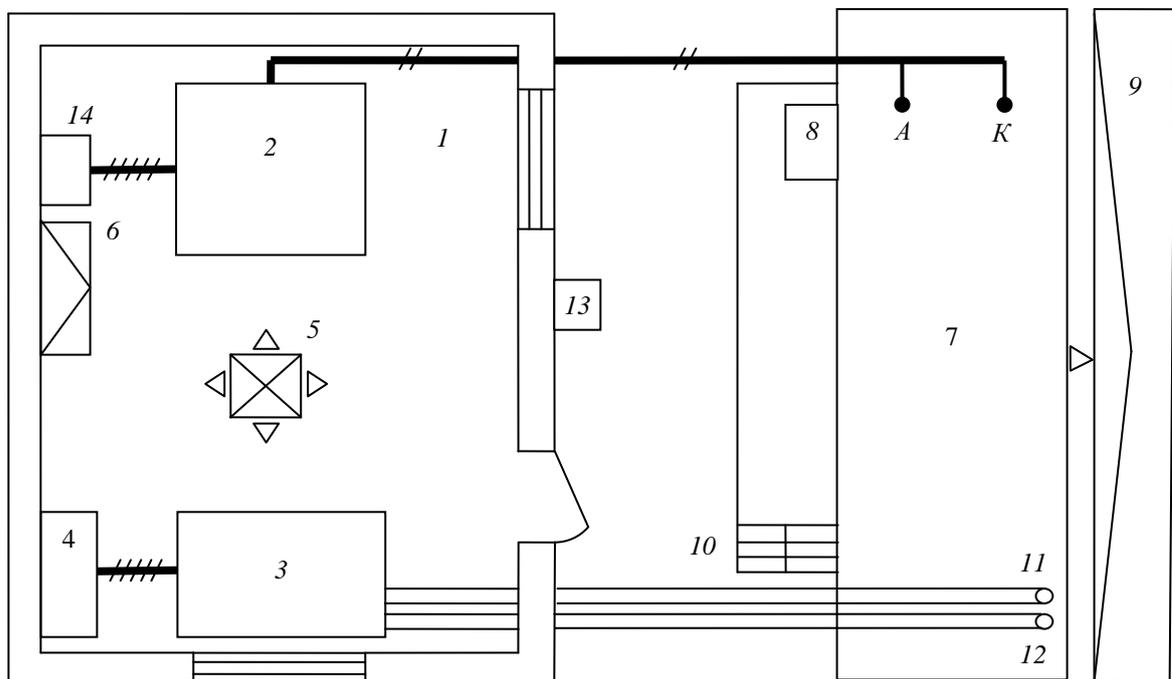


Рис. 2. План участка твердого анодирования (вид сверху):

- 1 – помещение оператора; 2 – автоматизированное рабочее место оператора; 3 – компрессор холодильной установки; 4 – шкаф управления компрессором; 5 – система приточной вентиляции воздуха; 6 – система климат-контроля; 7 – ванна-электролизер; 8 – пульт управления автоматизированной технологической установкой; 9 – вытяжная вентиляция ванны; 10 – трап; 11 – входная труба змеевика-теплообменника; 12 – выходная труба змеевика-теплообменника; 13 – пульт управления системой вентиляции воздуха; 14 – вводной силовой щиток

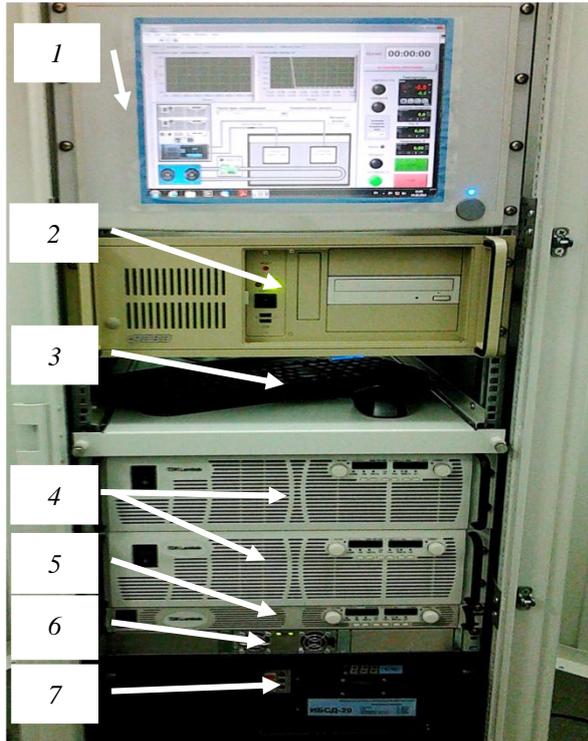


Рис. 3. Автоматизированное рабочее место оператора – стойка 19": 1 – сенсорный монитор; 2 – системный блок; 3 – клавиатура; 4 – источники питания Genesys 10kW; 5 – источник питания Gen2400W; 6 – источник питания FPS1000-24; 7 – импульсный блок спектральной диагностики ИБСД-20

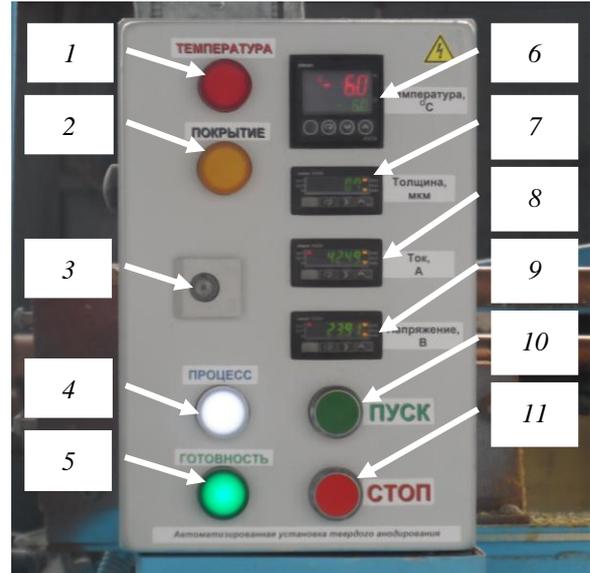


Рис. 4. Пульт управления: 1 – световой индикатор превышения температуры; 2 – световой индикатор достижения требуемой толщины покрытия; 3 – запирающий замок щитка; 4 – световой индикатор нормальной работы технологической установки; 5 – световой индикатор готовности технологической установки к запуску; 6 – контроллер-индикатор температуры; 7 – индикатор толщины покрытия; 8 – индикатор тока; 9 – индикатор напряжения; 10 – кнопка запуска; 11 – кнопка останова

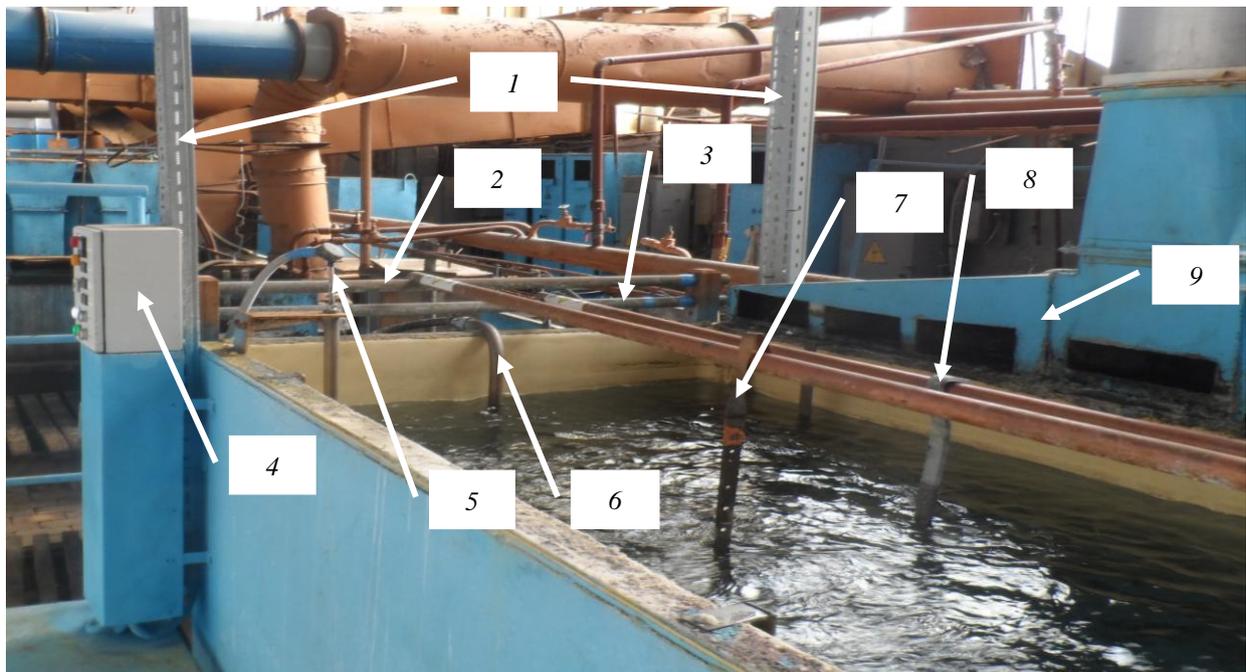


Рис. 5. Ванна-электролизер:
1 – кабельный лоток; 2 – анодная штанга; 3 – катодная штанга; 4 – пульт управления; 5 – датчик температуры; 6 – трубопровод системы барботажа; 7 – подвес детали-анода; 8 – катод; 9 – вытяжная вентиляция ванны

Электрическая энергия от технологического источника питания подается на ванну по двум проводам с сечением 50 мм², помещенным в гофрированную трубу и кабельный лоток 1 и подключенным к анодной 2 и катодной 3 штангам на левой части ванны (см. рис. 5). Для контроля температуры электролита к пульту управления 4 подключен двухканальный платиновый термометр сопротивления 5, установленный на ванне-электролизере. Второй канал датчика подключен к шкафу управления холодильной установкой.

Для обеспечения перемешивания электролита и выравнивания его температуры в конструкции ванны-электролизера предусмотрен барботаж, для управления которым используется шаровый кран и фильтр.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АСУ ТП ТВЕРДОГО АНОДИРОВАНИЯ

Для разработки программного обеспечения АСУ ТП ТА использована среда LabVIEW, обладающая высокой стабильностью программного ядра и дающая возможность реализовывать в ОС Windows программные системы, приближающиеся по характеристикам к системам реального времени. В основе LabVIEW лежит

концепция графического программирования – соединения функциональных блоков программы на блок-диаграмме [7].

На рис. 6 представлена лицевая панель программы автоматизированной системы управления технологическим процессом твердого анодирования, представляющая собой интерактивный пользовательский интерфейс, на которой находятся виртуальные кнопки, индикаторы и другие средства управления, ввода и вывода. Лицевая панель разработанной программы символически отображает работу основных блоков автоматизированной установки. К ним относятся ванна-электролизер, холодильный агрегат, пульт управления.

На вкладках «Работа», «Графики» и «Осциллограммы» имеются индикаторы, которые отображают в реальном времени графики плотности тока, температуры ванны, напряжения, количества электричества и диагностированной толщины покрытия от времени. Вкладка «Сервис» содержит настройки программы. Вкладки «Спектральный анализ» и «Диагностика» отображают результаты импедансной спектроскопии и определяют работу диагностической модели толщины покрытия по электрическим характеристикам электролизера.

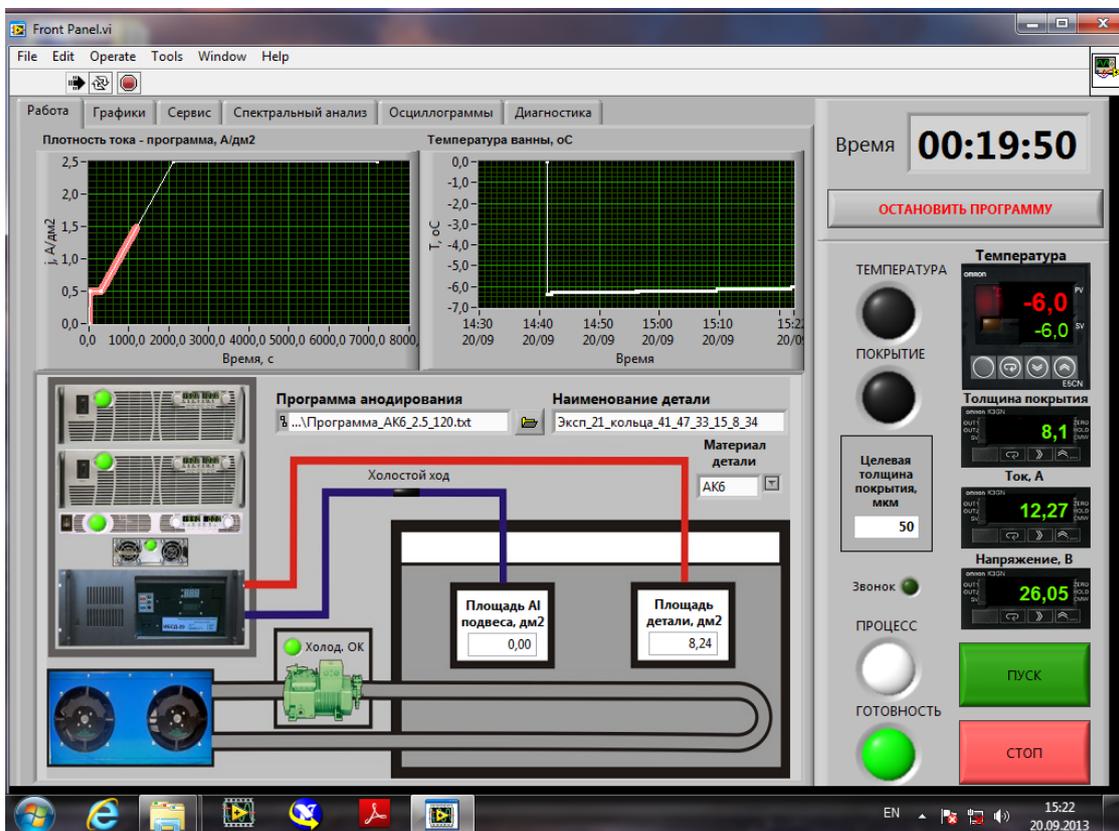


Рис. 6. Лицевая панель программы автоматизированной системы управления технологическим процессом твердого анодирования

ДИАГНОСТИКА ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ В ХОДЕ ПРОЦЕССА ТВЕРДОГО АНОДИРОВАНИЯ

Программное обеспечение АСУ ТП с настроенной по результатам калибровочных экспериментов диагностической регрессионной моделью апробировано в процессе твердого анодирования деталей вертолетов из алюминиевых сплавов. При настройке модели детали из сплавов Д16Т, АК6 и АК7ч обрабатывали на автоматизированной технологической установке при конечных плотностях тока $2,0 \dots 3,0$ А/дм², задаваемых по программе анодирования (рис. 6). Модель рассчитывает толщину покрытия по текущим значениям напряжения, плотности тока, количества электричества, модуля и аргумента импеданса на частоте 1500 Гц.

На рис. 7 представлены результаты диагностики толщины покрытия в ходе твердого анодирования. Процесс завершался автоматически при достижении толщины покрытия требуемого значения, вводимого в поле «Целевая толщина покрытия» (см. рис. 6).

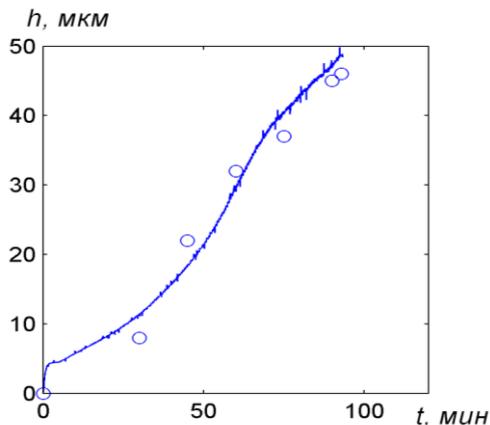


Рис. 7. Динамика диагностированной и измеренной независимо толщины покрытия в ходе процесса твердого анодирования образцов из алюминиевого сплава АК6

Анализ результатов апробирования показывает, что толщина покрытия, диагностированная автоматизированной установкой в процессе твердого анодирования, в пределах заданной погрешности совпадает с толщиной, определенной с помощью независимых измерений на металлографических шлифах после обработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, спроектирована автоматизированная технологическая установка твердого

анодирования с компьютерным управлением и диагностикой толщины покрытия. Опытный образец автоматизированной установки функционирует в гальваническом цехе ОАО «КумАПП» в условиях серийного производства вертолетов семейства «Камов».

Автоматизированная технологическая установка твердого анодирования обеспечивает:

- программное управление плотностью тока, стабилизацию температуры электролита и напряжения на ванне-электролизере;
- высокую точность поддержания технологических параметров процесса твердого анодирования;
- контролируемость и воспроизводимость результатов формирования анодных защитных покрытий на деталях из алюминиевых сплавов;
- документирование электрических параметров процесса в ходе обработки;
- диагностику толщины покрытия с погрешностью ± 5 мкм в ходе процесса ТА по электрическим характеристикам;
- формирование сигнала оператору о достижении целевой толщины покрытия и возможность автоматического останова процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мухин В. С.** Поверхность: технологические аспекты прочности деталей ГТД. М.: Наука, 2005. 296 с. [V. S. Mukhin, *Surface: technological aspects of strength of gas turbine engine parts*, (in Russian), Moscow: Nauka, 2005.]
2. **Томашов Н. Д., Тюкина М. Н., Заливалов Ф. П.** Толстослойное анодирование алюминия и его сплавов. М.: Машиностроение, 1968. 156 с. [N. D. Tomashov, M. N. Tyukina, and F. P. Zalivalov, *Thick layer anodizing of aluminium and its alloys*, (in Russian), Moscow: Mashinostroenie, 1968.]
3. **Чичинадзе А. В.** Трение, износ и смазка (трибология и триботехника). М.: Машиностроение, 2003. 576 с. [A. V. Chichinadze, *Friction, wear and lubrication (tribology and tribotechnics)*, (in Russian), Moscow: Mashinostroenie, 2003.]
4. **Денисенко В. В.** Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М.: Горячая линия-Телеком, 2009. 608 с. [V. V. Denisenko, *Computer control for a technological process, experiment, equipment*, (in Russian), Moscow: Goryachaya liniya-Telecom, 2009.]
5. **Парфенов Е. В., Лазарев Д. М., Фаткуллин А. Р., Ерохин А. Л.** Идентификация технологического процесса плазменно-электролитического оксидирования // Автоматизация и современные технологии. 2011. № 4. С. 6–13. [E. V. Parfenov, D. M. Lazarev, A. R. Fatkullin and A. L. Yerokhin, "Identification of technological process of plasma electrolytic oxidation," (in Russian), in *Automation and Modern Technologies*, no. 4, pp. 6-13, 2011.]
6. **Горбатков М. В., Парфенов Е. В., Мукаева В. Р., Ерохин А. Л.** Импульсный блок спектральной диагностики электролитно-плазменных и электрохимических процессов

// Электрохимические и электролитно-плазменные методы модификации металлических поверхностей: тр. VI Междунар. конф. (Иваново, 16–19 сент. 2013) Иваново: Изд-во ИХР РАН, 2013. С. 95. [М. V. Gorbakov, E. V. Parfenov, V. R. Mukaeva, and A. L. Yerokhin, "Pulse unit for spectral diagnostics of electrolytic plasma and electrochemical processes," (in Russian), in *Proc. VI Int. Conf. on Electrochemical and electrolytic plasma methods of metal surface modifications* (Ivanovo, Sept. 16–19, 2013), Ivanovo: Institute of Solutions Chemistry of RAS, 2013. pp. 95.]

7. **Загидуллин Р. Ш.** LabVIEW в исследованиях и разработках. М.: Горячая линия-Телеком, 2005. 352 с. [R. Sh. Zagidullin, *LabVIEW in research and development*, (in Russian), Moscow: Goryachaya liniya-Telecom, 2005.]

ОБ АВТОРАХ

ПАРФЕНОВ Евгений Владимирович, проф. каф. теоретических основ электротехники. Дипл. инж. по пром. электронике (УГАТУ, 1997). Д-р техн. наук по автом. и упр. технол. проц. и произв. (УГАТУ, 2012). Иссл. в обл. моделирования, диагностики и управления электрохим. технол. проц.

ФАТКУЛЛИН Азамат Раисович, ст. преп. каф. естественно-научных и общетехн. дисциплин (филиал в г. Кумертау). Дипл. инж. по авиац. приб. и изм.-выч. компл. (УГАТУ, 2007). Иссл. в обл. моделир. технол. проц.

ЛАЗАРЕВ Денис Михайлович, ст. преп. каф. теоретических основ электротехники. Дипл. инж. по авиац. приб. и изм.-выч. компл. (УГАТУ, 2006). Канд. техн. наук по автом. и упр. технол. проц. и произв. (УГАТУ, 2013). Иссл. в обл. автоматиз. управл. технол. проц.

ШЕВЧУК Ирина Юрьевна, гл. металлург. Дипл. инж.-металлург (Магнитогор. горно-металлургич. ин-т, 1984). Иссл. в обл. технол. про-ва деталей вертолетной техники.

ДАУТОВ Анвар Ибрагимович, дир. филиала УГАТУ в г. Кумертау. Дипл. инж. электрон. техн. (Новосиб. э/техн. ин-т, 1972). Канд. техн. наук по теор. осн. теплотехн. (Казанск. хим.-техн. ин-т, 1977). Иссл. в обл. теплотехники и теплофизики технол. процессов.

METADATA

Title: Automated technological apparatus for helicopter parts hardcoat anodisation with diagnostics of the coating thickness.

Authors: E. V. Parfenov, A. R. Fatkullin, D. M. Lazarev, I. Yu. Shevchuk, A. I. Dautov.

Affiliation:

¹Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

²Kumertau Aircraft Production Enterprise (KumAPE), Russia

Email: pev_us@yahoo.com.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 18, no. 3 (64), pp. 73-79, 2014. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: An automated technological apparatus for helicopter parts hardcoat anodisation has been proposed. The paper presents construction and software of the apparatus having computer control and estimation of the coating thickness based on a diagnostic model operating with observable electric characteristics. A sample version of the apparatus works in galvanic workshop of JSC "KumAPE" in conditions of mass production.

Key words: hard coat anodisation; automated technological apparatus; diagnostics of coating thickness; process control.

About authors:

PARFENOV, Evgeny Vladimirovich, Prof., Dept. of Theoretical Basis of Electrical Engineering. Dipl. Eng. in Industrial Electronics (UGATU, 1997). Dr. of Tech. Sci. (UGATU, 2012).

FATKULLIN, Azamat Raisovich, Senior Lecturer of Department of Natural Science and General Engineering at Kumertau campus (UGATU). Dipl. Eng. in Aviation Instruments Engineering (UGATU, 2007).

LAVAREV, Denis Mikhailovich, Senior Lecturer of Department of Theoretical Basis of Electrical Engineering (UGATU). Dipl. Eng. in Aviation Instruments Engineering (UGATU, 2006). Cand. of Tech. Sci. (USATU, 2013).

SHEVCHUK, Irina Yurievna, Head Metallurgist (KumAPE). Dipl. Eng.-Metallurgist (Magnitogorsk metallurgical institute, 1984).

DAUTOV, Anvar Ibragimovich, Prof., Head of Kumertau branch of USATU. Dipl. Eng. in Electronic Engineering (Novosibirsk institute of electrical engineering, 1972). Cand. of Tech. Sci. (Kazan institute of chemical engineering, 1977).