

УДК 621.35

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Е. В. ПАРФЕНОВ, Р. Г. ФАРАХОВ, В. Р. МУКАЕВА, М. В. ГОРБАТКОВ,  
И. А. МЕЛЕМЧУК, А. Г. СТОЦКИЙ, Я. В. ЧЕРНЕЙКИНА

VETA\_MR@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

*Поступила в редакцию 25.09.2016*

**Аннотация.** Разработана автоматизированная технологическая установка для исследования электролитно-плазменных процессов. Представлена функциональная схема, аппаратное и программное обеспечение автоматизированной установки с системой сбора данных, позволяющей реализовывать широкий диапазон режимов обработки, изучать процессы модификации поверхности, регистрировать информативные параметры электрического сигнала для косвенной диагностики свойств поверхностного слоя.

**Ключевые слова:** электролитно-плазменная обработка, автоматизация технологического процесса, диагностика свойств поверхности.

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что процессы модификации поверхностных слоев деталей машин и механизмов методом электролитно-плазменной обработки (ЭПО) являются перспективными благодаря преимуществам, таким как высокая производительность, качество получаемых поверхностей, экологическая безопасность. ЭПО классифицируется как разновидность электрохимической обработки, но проводится при повышенном напряжении 100–600 В. Обрабатываемая деталь включается в электрическую цепь, как правило, в качестве анода. Поверхность образца модифицируется в результате воздействия комплекса физико-химических процессов [1]. Технологии ЭПО позволяют оксидировать, полировать, очищать, освобождать от покрытия поверхности металлов. Одним из недостатков процессов ЭПО является повышенное энергопотребление вследствие использования высокого напряжения на электродах. Но следует заметить, что ЭПО проводится при меньшей продолжительности времени по сравнению с традиционной электрохимической обработкой, что позволяет существенно скомпенсировать этот недостаток [1].

Точное достижение заданных свойств поверхностного слоя, таких как толщина наносимого покрытия, толщина съема поверхностного слоя, шероховатость поверхности, микротвердость и другие, существенно зависит от качества управления процессом ЭПО, то есть от автоматизации технологического процесса.

К настоящему времени учеными России, ближнего и дальнего зарубежья проведен большой объем исследований, посвященных теоретическим и практическим вопросам ЭПО, результатом которых является внедрение в промышленность технологических установок электролитно-плазменного полирования и плазменно-электролитического оксидирования ответственных деталей машин из сталей, титановых, алюминиевых и магниевых сплавов [2, 3]. Однако в существующих установках ЭПО не предусмотрено управление технологическим процессом с учетом текущего состояния поверхности. В то время как наличие подобного контура обратной связи позволит повысить эффективность обработки, уменьшить долю брака продукции и снизить энергопотребление.

Таким образом, целью настоящей работы является проектирование автоматизированной технологической установки, позволяющей проводить исследования различных процессов ЭПО и разрабатывать способы диагностики свойств поверхностного слоя по электрофизическим характеристикам.

### КОНСТРУКЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ

Для проведения исследований по модификации поверхностных слоев деталей машин и механизмов методом электролитно-плазменной обработки (ЭПО) в научной лаборатории исследования электролитно-плазменных процессов кафедры ТОЭ УГАТУ была разработана и изготовлена автоматизированная технологи-

ческая установка, характеристики которой представлены в табл. 1.

На рис. 1 представлена функциональная схема автоматизированной технологической установки для исследования ЭПО с компьютерным управлением и возможностью диагностики параметров качества поверхностного слоя обрабатываемой детали, с указанием основных функциональных элементов и связями между ними. На рис. 2 показан общий вид установки.

Таблица 1

Основные технические характеристики автоматизированной установки для исследования процессов ЭПО

Ток, А	до 30
Напряжение, В	-200–600
Температура электролита, °С	1–95
Точность поддержания температуры электролита, °С	1
Точность стабилизации напряжения, В	1
Импульсные режимы	положительный униполярный, отрицательный униполярный, биполярный
Режимы постоянного напряжения	положительный, отрицательный
Частота импульсов напряжения, кГц	0–15
Сквозность импульсов напряжения, %	0–100

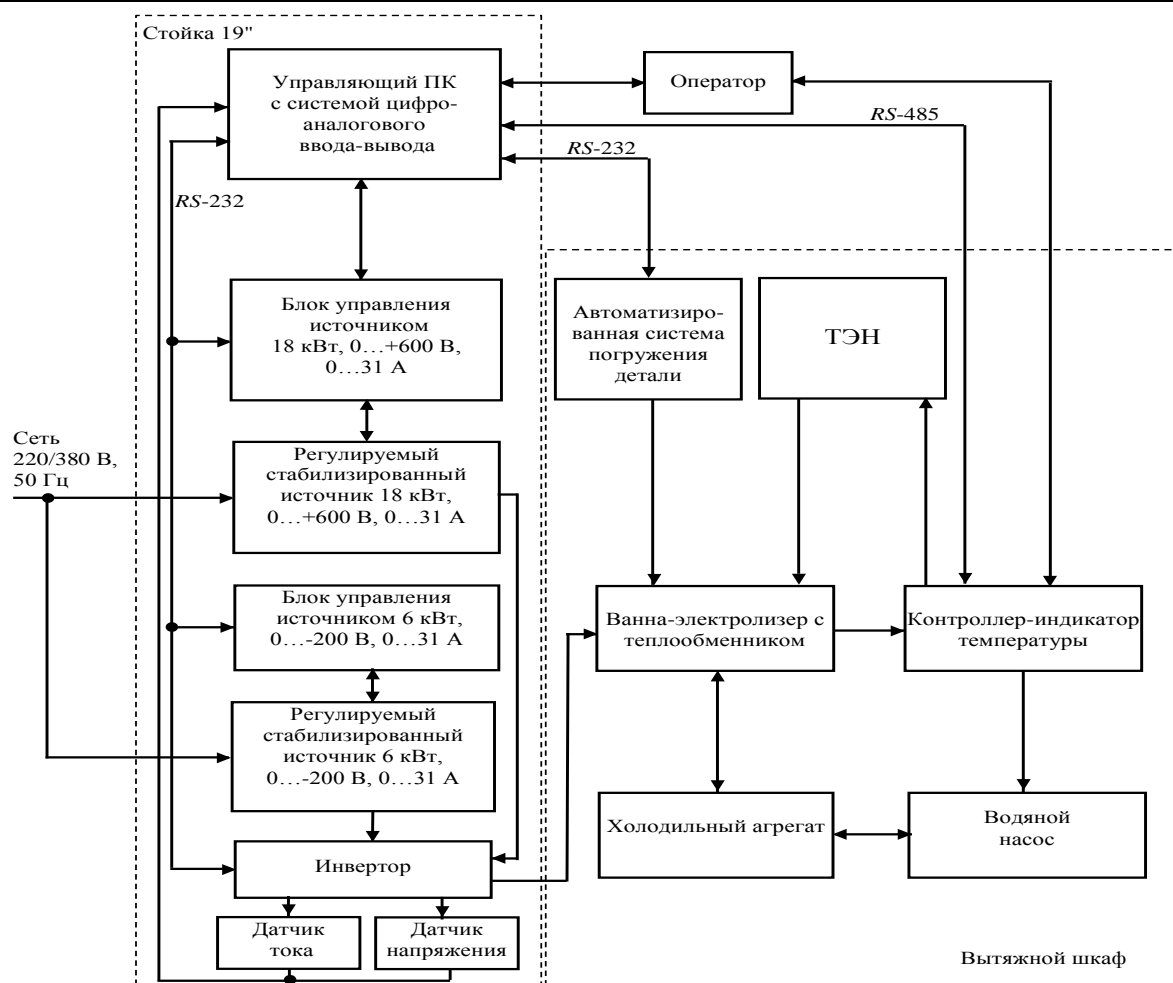


Рис. 1. Функциональная схема автоматизированной установки для исследования ЭПО с компьютерным управлением и диагностикой параметров качества поверхностного слоя



**Рис. 2.** Общий вид автоматизированной установки для исследования ЭПО процессов (пояснения в тексте)

Установка включает в себя 1 – стойку 19", в которой расположены основные блоки, и 11 – вытяжной шкаф с ванной-электролизером.

В стойке 19" расположены персональный управляющий компьютер – 2 с монитором – 4, клавиатурой и мышью – 6, измеритель-регулятор температуры ванны-электролизера ТРМ-202 – 3, два источника постоянного напряжения – 200 В – 5 и +600 В – 10, блоки управления источниками напряжения – 7, 9, инвертор – 8. Электропитание шкафа-стойки осуществляется от сети ~ 220/380 В, 50 Гц. Коммуникация между основными блоками осуществляется с использованием интерфейса последовательной связи RS-232/485.

Справа от стойки 19" расположен вытяжной шкаф с ванной-электролизером – 14. Обрабатываемая деталь закрепляется на подвесе – 13 и погружается в ванну при помощи автоматизированной системы погружения детали – 12. Под шкафом расположены холодильный агрегат – 16

для охлаждения ванны-электролизера, буферная емкость – 17, куда передается избыточное тепло с ванны и насос – 18 для перекачки охлаждающей жидкости.

Электрическая энергия от технологических источников питания подается на ванну по двум проводам с сечением 10 мм<sup>2</sup>, организованным в витую пару и помещенным в гофрированную трубку. Для поддержания заданной температуры ванны-электролизера в конструкции предусмотрен ТЭН и радиатор жидкостного охлаждения. Через интерфейс RS-485 с управляющего компьютера задается желаемое значение температуры ванны-электролизера. С датчиков снимается значения управляемых переменных в режиме реального времени. Если разность целевого и текущего измеренного значения температуры превышает установленный допуск, то под управлением измерителя-регулятора ТРМ-202 включается ТЭН для нагрева электролита, или

насос радиатора жидкостного охлаждения для снятия с ванны избыточного тепла, которое передается на буферную ёмкость холодильного агрегата. Для выравнивания температуры электролита по объему используется барботаж сжатым воздухом – 15.

Для обеспечения электробезопасности оператора установки применены концевые выключатели, установленные на окне вытяжного шкафа и срабатывающие при его открытии, что обеспечивает отключение технологических источников.

Технологические источники +600 В и –200 В изготовлены из отдельных модулей питания MeanWell SPV-1500-48 соединенных последовательно. Источник +600 В содержит двенадцать модулей, а источник –200 В – четыре. Суммарная мощность источника  $E_1=+600$  В составляет 18 кВт, источника  $E_2=-200$  В – 6 кВт.

Основу источника питания составляет микроконтроллер Atmel ATmega-8, осуществляющий обмен данными с ПК, задание аналоговой уставки и контроль выходного напряжения силовых модулей, переключение силовых реле, мониторинг состояния концевых выключателей и, при необходимости – аварийную остановку процесса.

Передача данных по интерфейсу RS-232 осуществляется через быстродействующие оптопары 6N137, обеспечивающие изоляцию до 2,5 кВ. Для аналогового управления силовыми модулями используется уровень постоянного напряжения, которое сначала формируется микросхемой ЦАП AD-557 (0–2,5 В) путем подачи на его входы соответствующего двоичного кода от микроконтроллера. Далее, это напряжение масштабируется до величины 0–200 мВ прецизионным операционным усилителем AD-8542 и подается на 12 микросхем изолирующего усилителя HCPL-7840, включенных параллельно и имеющих гальваническую развязку. С каждого усилителя, в свою очередь, передается конечный сигнал 0–5 В на вход управления соответствующего силового модуля. Контроль полного выходного напряжения производится с помощью источника опорного напряжения REF-195 и АЦП MCP-3201 с RC-фильтром низких частот на входе. Цепь мониторинга состояний концевых выключателей и кнопок аварийной остановки основана на жесткой логике триггера-защелки 74AC573, что позволяет независимо от работоспособности и питания контроллера обеспечить надежное прерывание процесса в экстренных случаях.

Модульный принцип изготовления источников позволяет повысить уровень унификации, надежность и ремонтпригодность источников. На лицевой панели каждого корпуса с группой из четырех силовых модулей выведен LED-дисплей с непрерывной индикацией напряжения данной группы источников, позволяющий оперативно обнаружить неисправный блок и заменить его на запасной, без существенных потерь рабочего времени. Также после установки силового реле данная структура позволила добавить функцию переключения групп силовых модулей с последовательного соединения на последовательно-параллельное. При этом максимальное выходное напряжение снижается с +600 до +300 В, но предел тока возрастает до 62 А. Такой режим особенно эффективен для процесса электролитно-плазменного полирования.

Для создания биполярных импульсов напряжения с заданной скважностью, прикладываемых к нагрузке, изготовлен инвертор, который также позволяет проводить *in situ* импедансную спектроскопию в ходе технологического процесса в режиме большого сигнала [4].

Электрическая схема силовой части инвертора представлена на рис. 5. В данной схеме задействованы источники питания:  $E_1 = +600$  В,  $E_2 = -200$  В. К клеммам АНОД и КАТОД подключаются соответствующие клеммы ванны электролизера. Как правило, к анодной клемме крепится обрабатываемая деталь, катодом является сама ванна-электролизер, которая заземлена. Обрабатываемая деталь на рис. 5 представлена условно сопротивлением нагрузки  $R_n$ . Также на рис. 5 схематически показаны основные компоненты инвертора – IGBT-модуль SKM400GB12T4, состоящий из двух биполярных транзисторов с изолированным затвором  $T_1$  и  $T_2$ , используемых в качестве силовых ключей и диодный модуль с быстродействующими диодами  $VD_1$  и  $VD_2$ . Также представлен драйвер IGBT-модуля, который поставляется в комплекте с ним. По сигналу от управляющего микроконтроллера драйвер поочередно открывает или закрывает силовые ключи – транзисторы  $T_1$  и  $T_2$  с заданной частотой и коэффициентом заполнения импульсов.

При открытом ключе  $T_1$  и запертом  $T_2$ , ток под действием источника  $E_1$  протекает через ванну, диод  $VD_1$  и транзистор  $T_1$ . При запертом ключе  $T_1$  и открытом  $T_2$ , ток под действием источника  $E_2$  протекает через ванну, диод  $VD_2$  и транзистор  $T_2$ . Частотные свойства выбранных диодов и транзисторов позволяют формировать прямоугольные импульсы от 0 до 15 кГц.

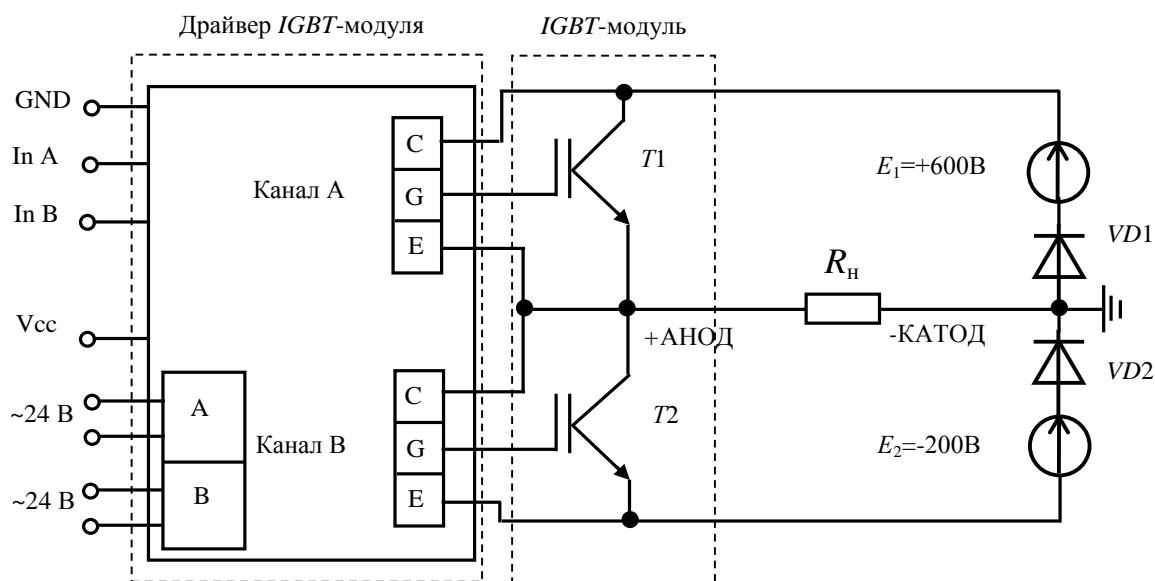


Рис. 5. Функциональная схема силовой части инвертора

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ

Для управления технологическим процессом, в ходе исследований различных процессов ЭПО в среде графического программирования LabVIEW было разработано соответствующее программное обеспечение. LabVIEW позволяет разрабатывать прикладное программное обеспечение для организации взаимодействия с измерительной и управляющей аппаратурой, сбора, обработки и отображения информации и результатов расчетов, а также моделирования, как отдельных объектов, так и автоматизированных систем в целом [5]. Важным достоинством данной системы программирования является возможность управления процессом в автоматическом или интерактивном режиме.

Лицевая панель программы автоматизированной установки для исследования процессов ЭПО содержит 5 вкладок: «Работа», «Настройки», «Графики», «Осциллограммы», «Стабилизатор тока».

На рис. 6 представлена вкладка «Работа», которая представляет собой интерактивный пользовательский интерфейс. Ввод данных оператором осуществляется при помощи элементов управления: кнопок, панелей для ввода текстовых и числовых значений. Выходные данные доступны для оператора благодаря элементам индикации: лампам, графическим и цифровым индикаторам.

На рис. 7 показана вкладка лицевой панели «Графики», на которой в ходе обработки отображается изменение во времени усредненные значения напряжения и температуры, действующих

значений тока и напряжения. Мгновенные значения тока и напряжения, преобразованные в цифровую форму с помощью платы ввода-вывода L-502, поточно записываются в заданный во вкладке «Настройки» файл и отображаются на графических индикаторах вкладки «Осциллограммы» (рис. 8).

Программный код содержит пять независимых циклов, выполняющих функции расчета технологических параметров, записи технологических параметров в файл, контроля системы термостабилизации, управления инвертором и системой загрузки образца в электролизер.

Разработанное программное обеспечение позволяет управлять технологическими параметрами в ходе обработки, организовать регистрацию и хранение данных, реализовывать заданный способ диагностики свойств поверхностного слоя обрабатываемой детали, например, по импедансным спектрам в режиме большого сигнала.

### ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

В соответствии с фундаментальными законами Фарадея, Джоуля–Ленца и Максвелла, состояние поверхности в ходе электротехнологических процессов может быть косвенно идентифицировано на основе изменения информативных показателей электрического сигнала. Для инновационных технологических процессов, таких как ЭПО, кривые тока и напряжения имеют сложную форму, но для них также возможно найти способы диагностики.

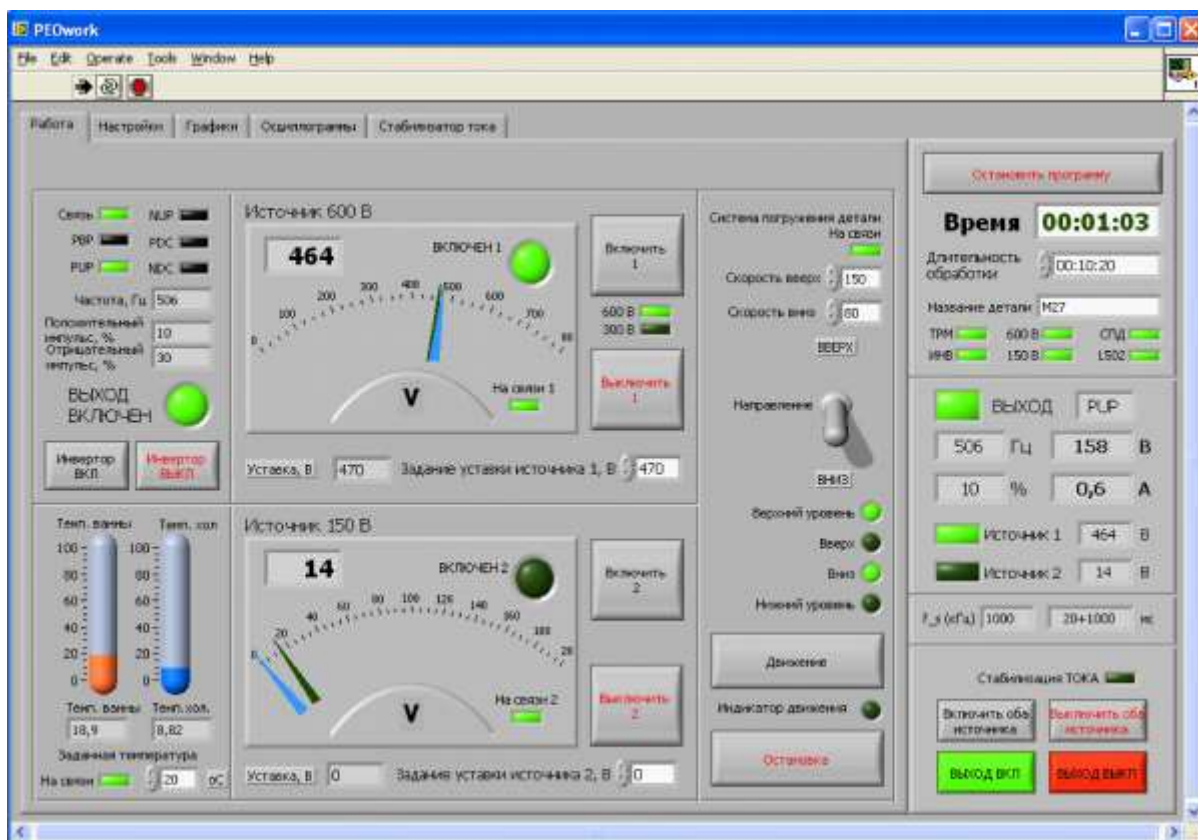


Рис. 6. Лицевая панель разработанной программы автоматизированной системы управления процессами ЭПО

Экспериментальные исследования процессов ЭПО с поточной записью мгновенных значений тока, напряжения и температуры с высокой частотой дискретизации, предусмотренной на разработанной автоматизированной установке, позволяют выявить информативные параметры для косвенной диагностики свойств поверхности.

Так, установка позволяет провести импедансную спектроскопию по сигналам тока и напряжения для определения толщины покрытия в ходе процесса плазменно-электролитического оксидирования [6], определить ширину частотного спектра переменной составляющей тока для измерения шероховатости в ходе электролитно-плазменного полирования [7], провести цифровую фильтрацию колебаний тока и анализ динамики полученного сигнала для электролитно-плазменного удаления покрытий [8]. Кроме указанных, возможна реализация и других способов контроля и управления процессами ЭПО.

Далее рассмотрена реализация на автоматизированной технологической установке разработанного ранее способа косвенной идентификации толщины покрытия в ходе плазменно-электролитического оксидирования по импедансным спектрам в режиме большого сигнала.

На рис. 7, 8 представлены графики основных физических параметров технологического процесса, а также осциллограммы напряжения и тока, полученные в ходе процесса плазменно-электролитического оксидирования магния.

В результате совместного анализа осциллограмм напряжения и роста толщины покрытия в ходе процесса ПЭО было установлено, что при увеличении толщины покрытия увеличивается также длительность спада напряжения в ходе переходного процесса при отключении от нагрузки (показано стрелкой на рис. 8) [9]. Таким образом возможно автоматизированное определение толщины покрытия в ходе процесса ПЭО по информативным электрическим параметрам переходного процесса.

После обработки толщину покрытия на образцах также измеряли вихретоковым толщиномером. Установлено совпадение результатов измерений толщины покрытия с результатом, диагностированным автоматизированной технологической установкой в пределах заданной погрешности, что является подтверждением адекватности разработанного метода идентификации параметров качества поверхностного слоя по электрофизическим характеристикам процесса в широком диапазоне условий обработки.

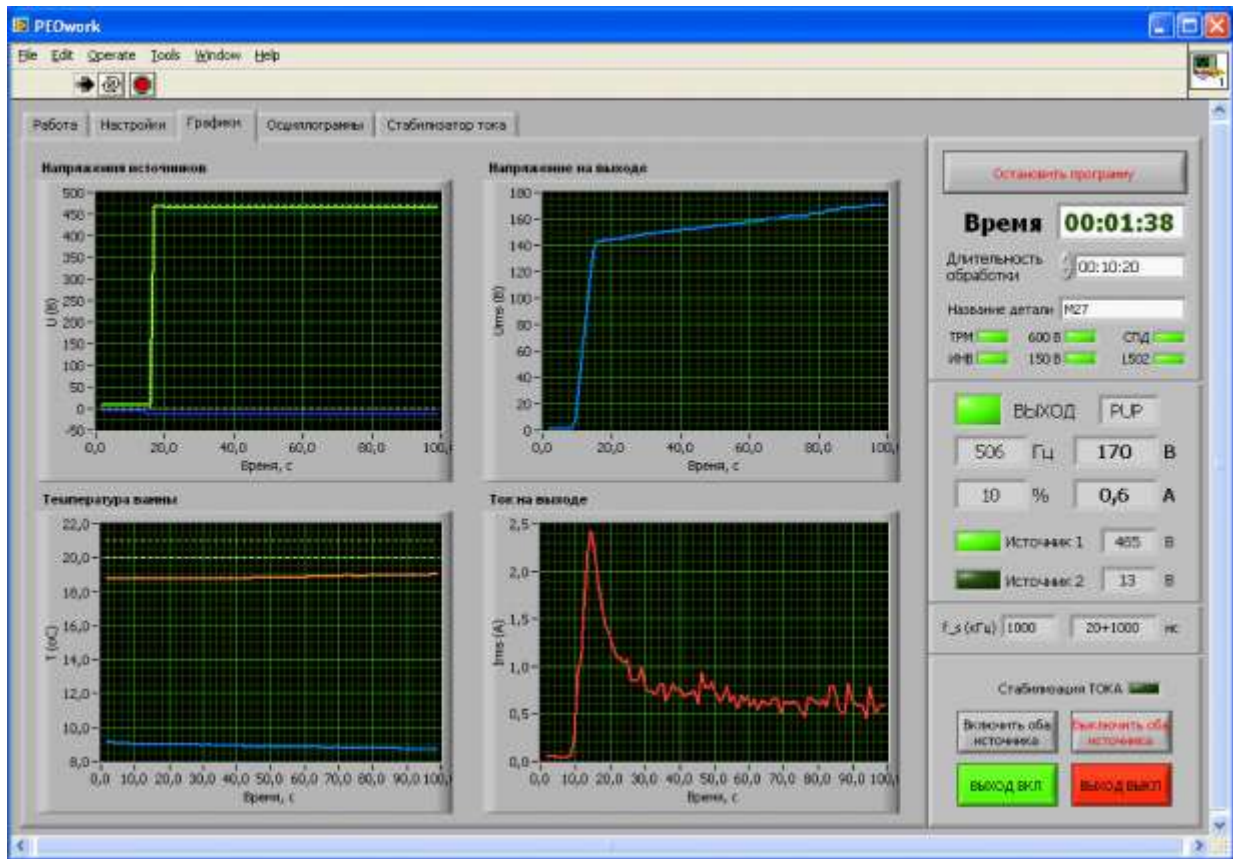


Рис. 7. Графики напряжения, температуры и тока, полученные в ходе процесса ПЭО магния

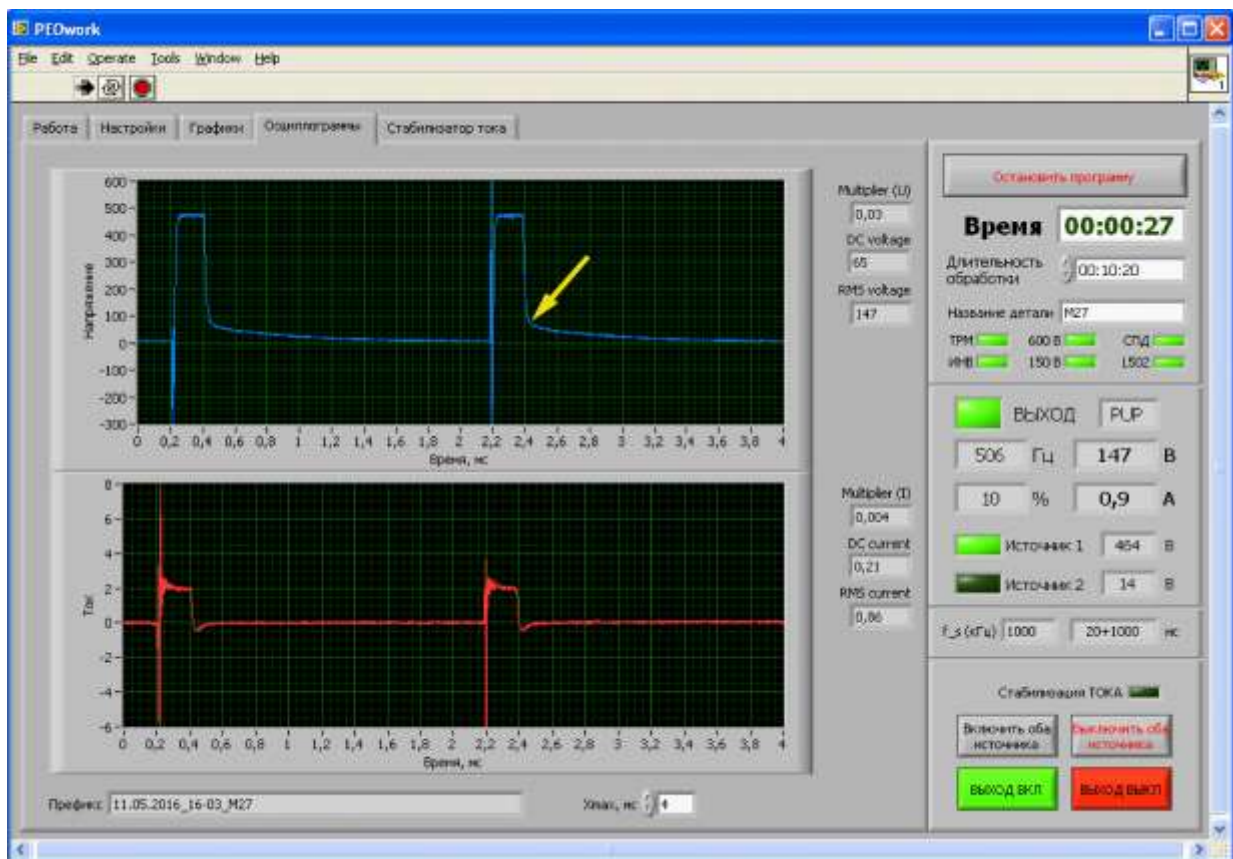


Рис. 8. Осциллограммы напряжения и тока в ходе процесса ПЭО магния

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спроектирована и изготовлена автоматизированная технологическая установка, позволяющая исследовать различные процессы ЭПО и разрабатывать способы диагностики свойств поверхностного слоя по электрофизическим характеристикам

Автоматизированная технологическая установка позволяет:

- реализовывать режимы постоянного, импульсного униполярного и биполярного напряжения для проведения различных процессов ЭПО
- варьировать в широком диапазоне амплитуду напряжения, частоту и скважность питающих импульсов, температуру электролита
- программно управлять технологическими параметрами электролитно-плазменных процессов и поддерживать их на заданном уровне с достаточной точностью;
- регистрировать температуру и мгновенные значения тока и напряжения процесса в ходе обработки;
- контролировать свойства поверхностного слоя обрабатываемой детали по информативным электрическим параметрам;
- выводить на индикаторы регистрируемые параметры и рассчитанные текущие свойства поверхности, сигнализировать о достижении целевых параметров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yerokhin A., Nie X., Leyland A., Matthews A., Dowes S. Plasma electrolysis for surface engineering. Review // Surface and Coating Technology. 1999. Vol. 122. P. 73–79.
2. Парфенов Е. В., Невьянцева Р. Р., Горбатков С. А., Ерохин А. Л. Электролитно-плазменная обработка: моделирование, диагностика, управление. М.: Машиностроение, 2014. 380 с. [Е. В. Парфенов, Р. Р. Невьянцева, С. А. Горбатков, А. Л. Ерохин Electrolytic plasma processing: modeling, diagnosis, management, (in Russian), Moscow: Mashinostroenie, 2014.]
3. Суминов И. В., Белкин П. Н., Эпельфельд А. В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. В 2 т. М.: Техносфера, 2011. [I.V. Suminov, P.N. Belkin, A.V. Epelfeld, V.B. Lyudin, B.L. Krit, A.M. Borisov. Plasma electrolytic modification of surfaces of metals and alloys, (in Russian), Moscow: Technosfera, 2011]
4. Parfenov E.V., Yerokhin A. Methodology of Data Acquisition and Signal Processing for Frequency Response Evaluation during Plasma Electrolytic Surface Treatments // Process Control: Problems, Techniques and Applications. Ed. S. P. Werther. New York: Nova Publ., 2011. P. 63–96.
5. 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. ]
6. Парфенов Е. В., Невьянцева Р. Р., Быбин А. А., Ерохин А. Л., Маттьюз А. Патент № 2366765 C25 D 11/00 РФ.

Способ определения момента окончания процесса плазменно-электролитического оксидирования; заявл. 02.10.2008; опубл. 10.09.2009, Бюл. № 25. 8 с. [Parfenov E. V., Nevyantseva R. R., Bybin A.A., Yerokhin A. L., Matthews A Patent №2366765 C25 D 11/00 RF. Method of diagnostic of the moment of plasma-electrolytic oxidation completion; app. 2008139327/02, 02.10.2008; publ. 10.09.2009, Bul. № 25. 8 p.]

7. Парфенов Е. В., Невьянцева Р. Р., Горбатков С. А., Быбин А. А. Патент № 2240500 В 23 Н 7/20 РФ. Способ измерения шероховатости поверхности; заявл. 03.03.03; опубл. 20.11.2004, Бюл. № 11. 4 с. [Parfenov E. V., Nevyantseva R. R., Gorbatkov S. A., Bybin A.A. Patent № 2240500 В 23 Н 7/20 RF. Method of measurement of surface roughness; app. 2003106083/28, 03.03.03; publ. 20.11.2004, Bul. № 11. 4 p.]

8. Парфенов Е. В., Невьянцева Р. Р., Горбатков С. А., Быбин А. А. Патент № 2227181 С 25 F 5/00 РФ. Способ определения момента окончания процесса электролитно-плазменного удаления покрытия; заявл. 03.03.03; опубл. 20.04.2004. [Parfenov E. V., Nevyantseva R. R., Gorbatkov S. A., Bybin A.A. Patent № 2227181 С 25 F 5/00 RF. Method of diagnostic of the moment of electrolytic-plasma coating remove completion; app. 2003106084/02, 03.03.03; publ. 20.04.2004]

9. Фаткуллин А. Р., Парфенов Е. В., Ерохин А. Л., Лазарев Д. М., Даутов А. Патент № 2540239 МПК G 01 В 7/06 РФ. Способ определения толщины покрытия в ходе процесса плазменно-электролитическом оксидировании; заявл. 17.10.13; опубл. 10.02.2015. Бюл. № 4. 13 п. [Fatkullin A. R., Parfenov E. V., Yerokhin A. L., Lazarev D.M., Dautov A.I. Patent № 2540239 МПК G 01 В 7/06 RF. Method of coating thickness estimation during plasma-electrolytic oxidation; app. 2013146477/28, 17.10.13; publ. 10.02.2015, Bul. № 4. 13 p.]

## ОБ АВТОРАХ

**ПАРФЕНОВ Евгений Владимирович**, проф. каф. теор. основ электротехн. Дипл. инж. по пром. электронике (УГАТУ, 1997). Д-р техн. наук по автомат. и упр. технол. проц. и произв. (там же, 2012). Иссл. в обл. управления технол. процессами электролитно-плазменной обработки.

**ФАРРАХОВ Рузиль Галиевич**, доц. каф. теор. основ электротехн. Дипл. инженер-механик (Уфимск. гос. ин-т сервиса, 2004). Канд. техн. наук по информ.-измерит. и управл. системам (Астраханск. гос. ун-т, 2007). Иссл. в обл. электротехнолог. процессов.

**МУКАЕВА Вета Робертовна**, старший научный сотрудник, каф. теор. основ электротехн. М-р в обл. инф.измерительн. техники и технологий (УГАТУ, 2011), Канд. техн. наук по автомат. и упр. технол. проц. и произв. (УГАТУ, 2014). Иссл. в обл. диагностики и моделирования технол. процессов.

**ГОРБАТКОВ Михаил Викторович**, асп. каф. теор. основ электротехн. М-р в обл. электроники и наноэлектроники (УГАТУ, 2014). Иссл. в обл. систем управления технол. процессами.

**МЕЛЕМЧУК Илья Антонович**, бак-р по направл. Наноинженерия (УГАТУ 2016). Иссл. в обл. обработки титановых сплавов.

**СТОЦКИЙ Андрей Геннадиевич**, бак-р по направл. Наноинженерия (УГАТУ 2016). Иссл. в обл. обработки титановых сплавов.

**ЧЕРНЕЙКИНА Яна Владимировна**, бак-р по направл. Наноинженерия (УГАТУ 2016). Иссл. в обл. обработки магниевых сплавов.



**METADATA**

**Title:** Automated technological equipment for research into electrolytic plasma processes.

**Authors:** E.V. Parfenov, R.G. Farrahov, V.R. Mukaeva, M.V. Gorbalkov, I.A. Melemchuk, A.G. Stozkii, Ya.V. Cherneikina

**Affiliation:**

<sup>1</sup> Ufa State Aviation Technical University (USATU), Russia.

**Email:** veta\_mr@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 20, no. 4 (74), pp. 23-31, 2016. **ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).**

**Abstract:** An automated technological equipment for research of electrolytic plasma processes was developed. A functional scheme, hardware and software with a data acquisition system were presented; the system allows realizing a wide range of treatment regimes, studying surface modification processes, registering informative parameters in electric signals for indirect diagnostics of surface properties.

**Key words:** plasma electrolytic treatment; process control; diagnostics of quality parameters.

**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).

**FARRAKHOV, Ruzil Galievich**, Associate prof., Dept. of Theoretical Basis of Electrical Engineering. Dipl. Engineer-mechanic (UGIS, 2004), PhD. in Tech. Sci. (Astrakhan State University, 2007).

**MUKAEVA, Veta Robertovna**, senior researcher, Dept. of Theoretical Basis of Electrical Engineering. Dipl. Master. in information measurement technics and technology (USATU, 2011). PhD. in Tech. Sci. (USATU, 2014).

**GORBATKOV, Mikhail Victorovich**, Postgrad. (PhD) Student, Dept. of Theoretical Basis of Electrical Engineering. Master of Electronics and Nanoelectronics (USATU, 2014).

**MELEMCHUK, Iliia Antonovich**, Bachelor degree in Nanoengineering (USATU 2016). Research in the field of titanium alloys treatment.

**STOZKII, Andrey Gennadievich**, Bachelor degree in Nanoengineering (USATU 2016). Research in the field of titanium alloys treatment.

**CHERNEIKINA, Yana Vladimirovna**, Bachelor degree in Nanoengineering (USATU 2016). Research in the field of magnesium alloys treatment.