

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВА ВВОДА-ВЫВОДА RL-88AC

В.А. Бессонова, В.Л. Кузнецов, Д.С. Скоморохов, А.С. Чепусов

AUTOMATIZATION OF EXPERIMENTS BY MEANS OF INPUT-OUTPUT DEVICE RL-88AC

V.A. Bessonova, V.L. Kuznetsov, D.S. Skomorokhov, A.S. Chepusov

Рассмотрено применение устройства ввода-вывода RL-88AC для автоматизации физических экспериментов. Реализована возможность формирования необходимых сигналов управления и записи данных в ПК по 8 каналам. Осуществлена автоматизация экспериментов по регистрации спектра масс, вольт-амперных характеристик, предпробойных процессов на поверхности изоляторов. Реализована система автоматизации измерений рентгеновского фотоэлектронного спектрометра. Оригинальное программное обеспечение для каждой задачи написано на языке VBA в среде MS Excel.

Ключевые слова: физический эксперимент, регистрация данных, сбор информации, программа управления, многоканальный режим.

Applications of input-output device RL-88AC for physical experiments automation are considered. This device allows the formation of necessary control signals and provides data registration by PC up to 8 channels. The automation of experiments with registration of mass-spectra, volt-ampere characteristics and pre-breakdown insulator surface processes has been carried out. The measurement system for X-ray photoelectron spectrometer has been realized. The original software using VBA for MS Excel has been developed for every task.

Keywords: physical experiment, data registration, information acquisition, control program, multichannel mode.

Введение

Существующая материальная база большей части отечественных физических лабораторий создавалась во второй половине прошлого века. Используемое оборудование нередко актуально с точки зрения применяемых аналитических методов, но не удовлетворяет современным требованиям по полноте, точности и достоверности получаемых результатов. Одним из возможных путей решения этой проблемы может быть модернизация систем сбора данных существующей аппаратуры на базе современных устройств ЦАП/АЦП.

Запись быстроизменяющихся зависимостей, возможность регистрации нескольких параллель-

ных процессов, снижение нагрузки на оператора – далеко не полный перечень достоинств систем с автоматизацией сбора информации. Программа управления в среде Visual Basic пакета Microsoft Office может быть написана и запущена практически на любом персональном компьютере, что позволяет в короткое время адаптировать систему сбора информации для автоматизации нового эксперимента.

В настоящей статье описана автоматизация масс-спектрометрии газового состава отпаваемых рентгеновских источников, измерений автоэмиссионных характеристик углеродных материалов, исследований предпробойных процессов на по-

Бессонова Валентина Анатольевна – мл. науч. сотрудник, Институт электрофизики УрО РАН; valentina.bessonova@gmail.com

Кузнецов Вадим Львович – д-р техн. наук, зав. лабораторией импульсных источников излучения, Институт электрофизики УрО РАН; kuznetsov@iep.uran.ru

Скоморохов Денис Сергеевич – мл. науч. сотрудник, Институт электрофизики УрО РАН; denis@iep.uran.ru

Чепусов Александр Сергеевич – мл. науч. сотрудник, Институт электрофизики УрО РАН; chepusov@iep.uran.ru

Bessonova Valentina Anatolevna – Junior Researcher of Institute of Electrophysics of the Ural Division of the Russian Academy of Science (IEP UD RAS); valentina.bessonova@gmail.com

Kuznetsov Vadim Lvovich – Doctor of Science (Engineering), Head of Laboratory of Pulsed Irradiation Sources of IEP UD RAS; kuznetsov@iep.uran.ru

Skomorokhov Denis Sergeevich – Junior Researcher of IEP UD RAS; denis@iep.uran.ru

Chepusov Alexander Sergeevich – junior researcher of IEP UD RAS; chepusov@iep.uran.ru

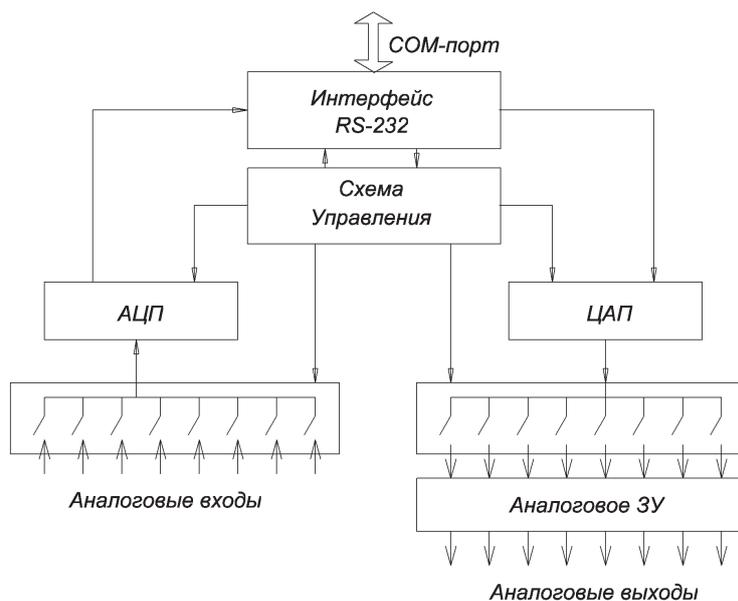


Рис. 1. Функциональная схема RL-88AC

верхности изоляторов, развертки и сбора данных при регистрации фотоэлектронных спектров на базе устройства ввода-вывода RL-88AC [1].

Устройство ввода-вывода данных

Система ввода-вывода данных RL-88AC использует 12-разрядные цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) и аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и имеет 8 входных и 8 выходных каналов. Упрощенная функциональная схема устройства представлена на рис. 1. Переключение между каналами осуществляется аналоговыми коммутаторами. Для получения многоканального режима выходных сигналов используется аналоговое запоминающее устройство.

Время преобразования АЦП – 246,4 мкс, ЦАП – 15 мкс. Уровни входного и выходного напряжения от –10 до +10 В, входное сопротивление – 1 МОм. Питание устройства осуществляется от выносного блока с напряжением 24 В и мощностью 3 Вт.

Масс-спектрометр

Для исследования газового состава в объеме вакуумной камеры при кондиционировании отпаваемых рентгеновских трубок применяется масс-спектрометр MX-7403 (диапазон регистрации $M/e = 1 \div 300$, скорость развертки до 10 м/с) [2]. Для непрерывного контроля газового состава откачиваемого изделия в процессе кондиционирования разработан аппаратно-программный комплекс на основе RL-88AC. Блок-схема подключения масс-спектрометра к персональному компьютеру (ПК) приведена на рис. 2.

Формирование сигнала управления производится по первому каналу цифроаналогового преобразователя (ЦАП). Развертка спектра определяется напряжением с выхода ЦАП. Калибровка

спектра выполняется по реперным массам (водород, вода, азот, кислород, тяжелые углеводороды). По значениям реперных масс рассчитаны коэффициенты отношения M/e . Измерительный комплекс обеспечивает выбор диапазона масс в выводимых на запись спектрах. Запись данных производится с выхода масс-спектрометра на пишущий прибор и через первый канал аналого-цифрового преобразователя (АЦП) в ПК.

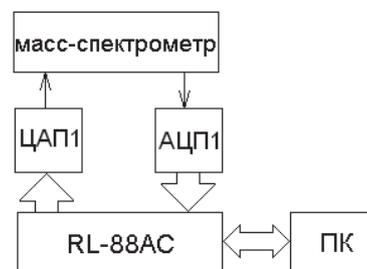


Рис. 2. Блок-схема подключения масс-спектрометра

Для всех реализованных измерительных комплексов использовано общее уравнение измерений:

$$A = kN + C,$$

где A – измеряемая величина; N – число отсчетов АЦП; k , C – константы пересчета, вычисляемые по реперным точкам.

Один из получаемых масс-спектров приведен на рис. 3.

Регистрация вольт-амперных характеристик

При исследовании автоэмиссионных свойств углеродных материалов проводится регистрация вольт-амперных характеристик, давления остаточных газов в камере и температуры образца [3]. Для

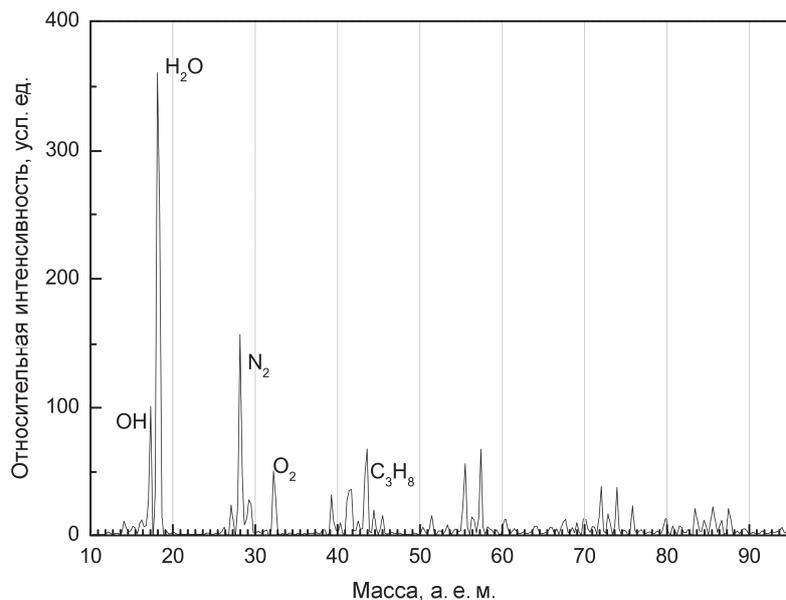


Рис. 3. Спектр масс, полученный при контроле герметичности рентгеновского источника

снятия вольт-амперных характеристик используется ПО, позволяющее программно изменять высокое напряжение на аноде. На рис. 4 приведена блок-схема установки для регистрации вольт-амперных характеристик.

При регистрации вольт-амперных характеристик ЦАП RL-88АС формирует управляющий сигнал генератора развертки напряжения. Напряжение источника в диапазоне $0 \div 10$ кВ подается на анод измерительной ячейки через балластное сопротивление (R_b). По каналам АЦП регистрируются напряжение на электродах измерительной ячейки, ток эмиссии, давление в вакуумном объеме,

температура образца. Данные с вакуумметра (ВИТ-3) и термопары (ТП) предварительно усиливаются операционными усилителями 11DA200. Управление процессами и регистрация данных осуществляется ПК через интерфейс RS-232.

В качестве примера на рис. 5 приведена серия вольт-амперных характеристик вакуумного диода.

Установка для исследования предпробойных процессов на поверхности изоляторов

Установка предназначена для исследования электрических характеристик высоковольтных изоляторов в условиях, имитирующих различные

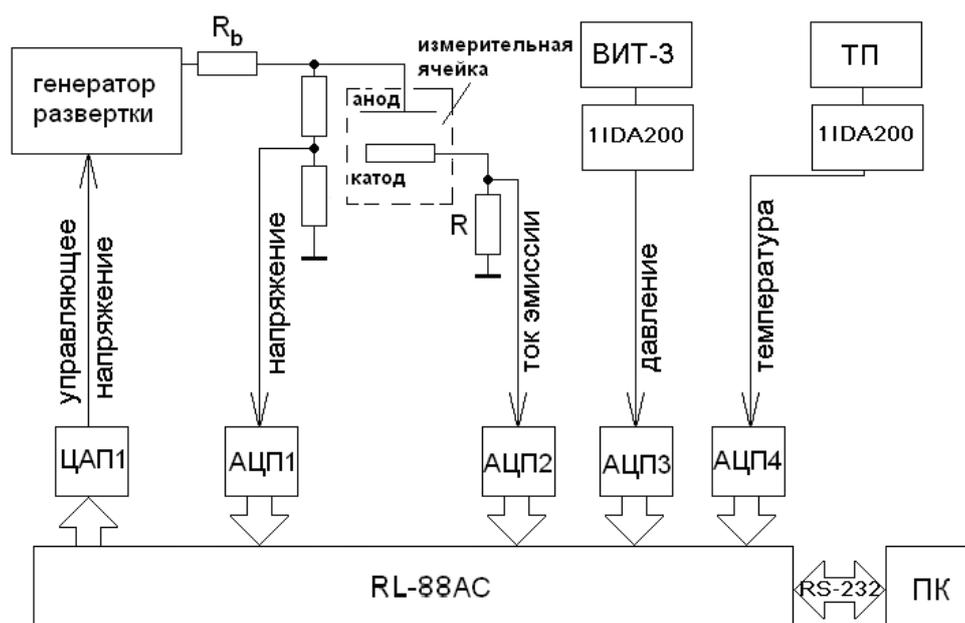


Рис. 4. Блок-схема подключения RL-88АС для регистрации вольт-амперных характеристик углеродных материалов

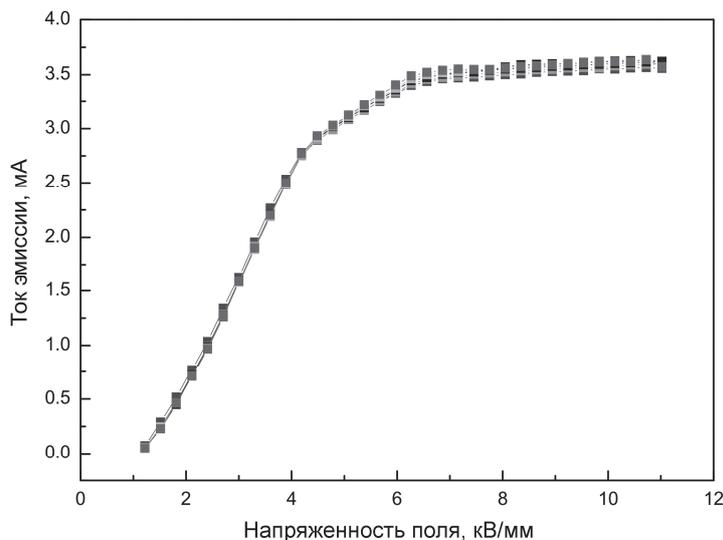


Рис. 5. Серия вольт-амперных характеристик вакуумного диода

режимы работы рентгеновского источника с вращающимся анодом [4]. В ходе эксперимента необходимо фиксировать 4 параметра и масс-спектр.

Установка состоит из двух сверхвысоковакуумных объемов. Вакуумный пост, снабженный форвакуумным и паромасляным насосом с остаточным давлением 10^{-8} Торр для комплексных испытаний рентгеновского источника, а также вакуумный пост, оснащенный криогенными и магниторазрядными средствами откачки с остаточным давлением менее 10^{-9} Торр, для изучения электрической прочности катодных изоляторов.

Блок-схема измерительной системы приведена на рис. 6.

Сигнал управляющего напряжения с ЦАП подается на источник высокого напряжения. Высокое напряжение, изменяющееся в диапазоне 0÷160 кВ,

подается на изолятор. Производится регистрация нескольких потоков данных по каналам АЦП: общий ток, ток на фланец изолятора, ток на корпус, уровень вакуума, спектр масс. Масс-спектрометр работает в режиме временной развертки.

Получаемые при регистрации данных зависимости приведены на рис. 7.

Рентгеновский фотоэлектронный спектрометр

Устройство RL-88АС использовано для автоматизации измерений магнитного энергоанализатора рентгеновского фотоэлектронного спектрометра ЭС ИФМ-4 [5]. Электронно-оптическая схема спектрометра приведена на рис. 8.

Под действием характеристического излучения рентгеновской трубки происходит возбужде-

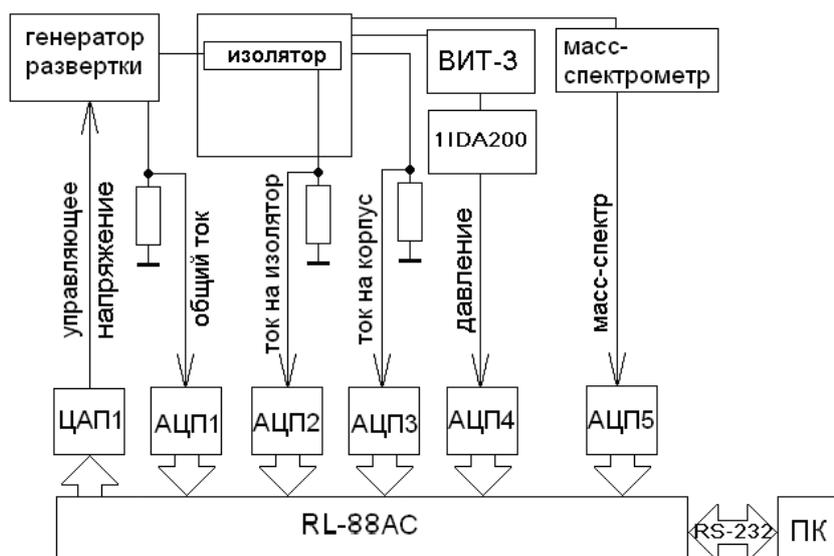


Рис. 6. Блок-схема подключения RL-88АС для исследования пробоя изолятора

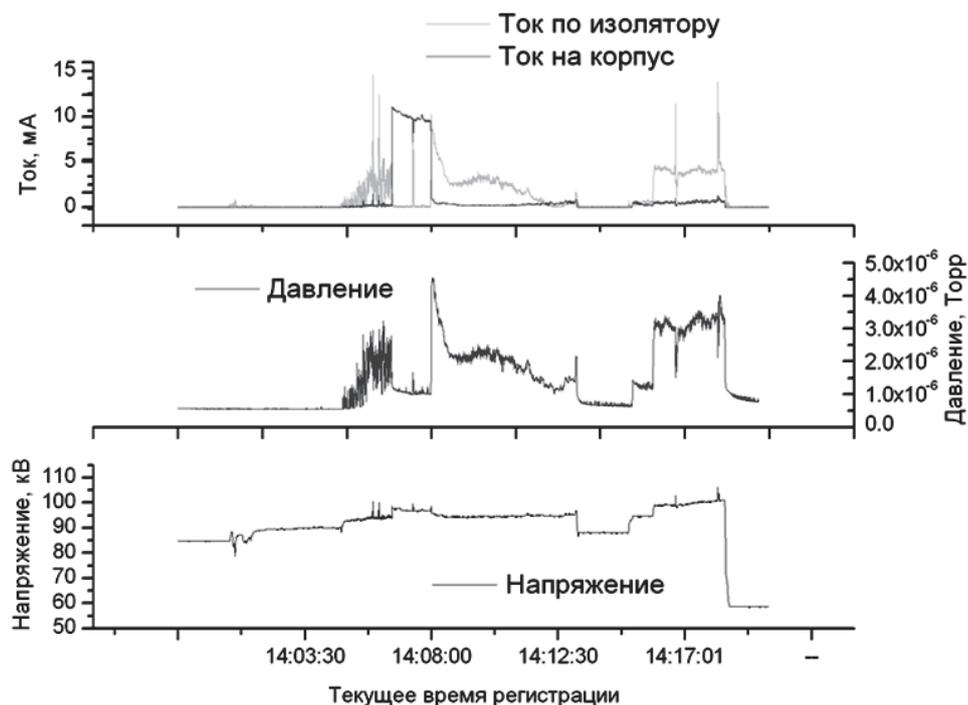


Рис. 7. Предпробные процессы при поднятии напряжения

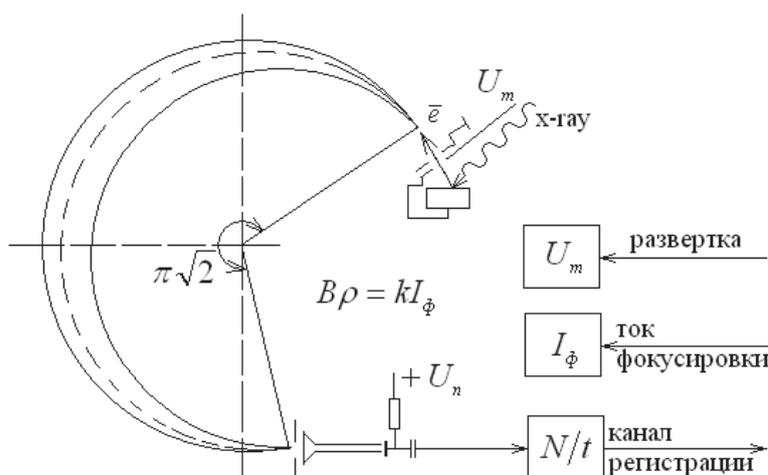


Рис. 8. Функциональная схема рентгеновского фотоэлектронного спектрометра с магнитной фокусировкой

ние фотоэлектронов в анализируемом образце. Энергия рентгеновского кванта расходуется в соответствии с уравнением

$$h\nu = E_{\text{за}} + U_{\text{T}} + E_{\text{св}} + \varphi_{\text{сп}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{за}}$ – энергия настройки энергоанализатора; U_{T} – потенциал торможения; $E_{\text{св}}$ – энергия связи; $\varphi_{\text{сп}}$ – работа выхода спектрометра.

Из (1) легко получается уравнение измерений для спектрометра:

$$E_{\text{св}} = h\nu - (E_{\text{за}} + U_{\text{T}} + \varphi_{\text{сп}}). \quad (2)$$

Фотоэлектроны, возбуждаемые характеристическим излучением образца, попадают в энергоанализатор, настроенный на заданную энергию

пропускания $E_{\text{за}}$, определяемую током фокусировки $I_{\text{ф}}$. Развертка спектра осуществляется изменением потенциала торможения U_{T} на входе в энергоанализатор. Сигнал, снимаемый с детектора, проходит через амплитудный дискриминатор и поступает в канал регистрации. Скорость счёта характеризует интенсивность данной спектральной линии. Возможность многократного сканирования заданного энергетического интервала с последующим суммированием спектров обеспечивает необходимую статистику измерений.

Формирование сигнала управления спектрометра производится с помощью нескольких каналов ЦАП/АЦП. Блок-схема приведена на рис. 9.

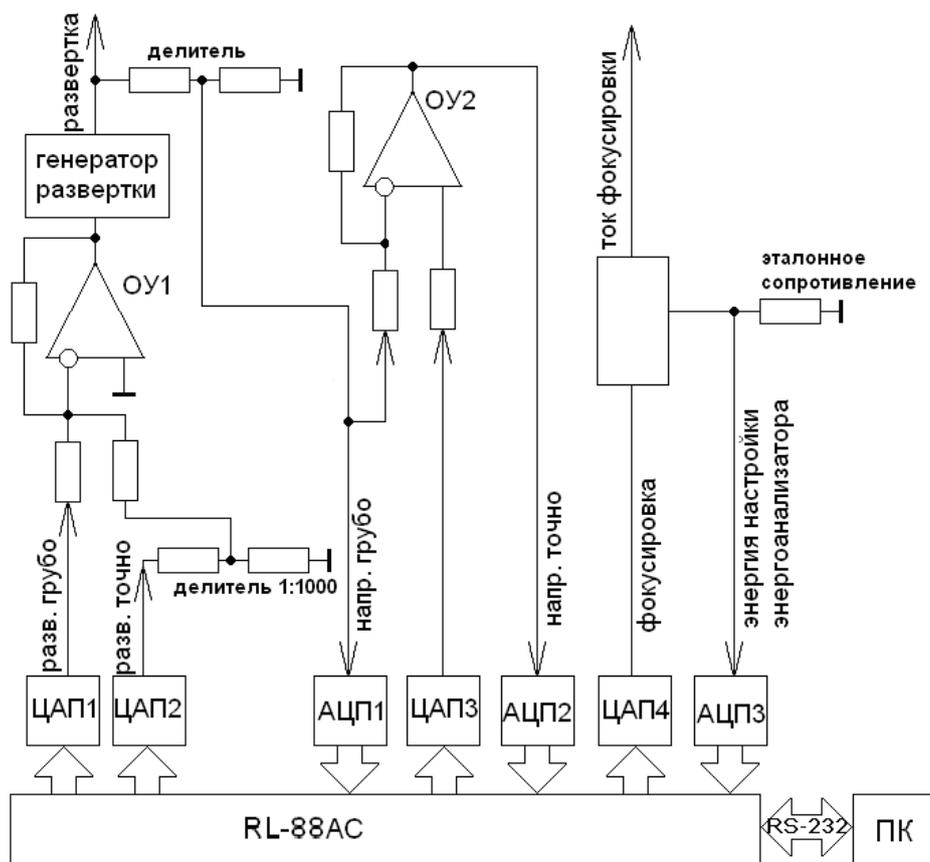


Рис. 9. Блок-схема для записи данных РФЭС

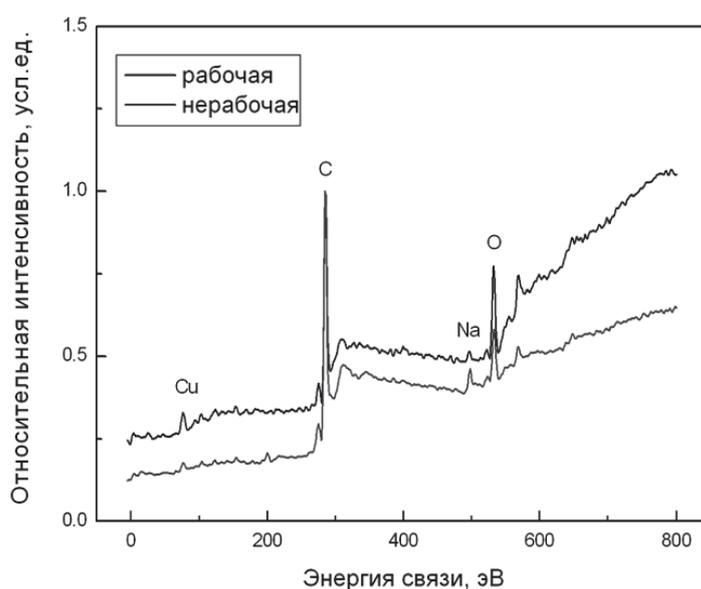


Рис. 10. Спектры поверхности углеродного катода, рабочая и нерабочая стороны

По первому каналу ЦАП задается дискретный диапазон регулировки напряжения развертки (шаг 2 В). Внутри этого диапазона через делитель формируется сигнал для плавной регулировки по второму каналу ЦАП (минимальный шаг развертки 2 мВ). Суммирование производится по операцион-

ном усилителе ОУ1. На третьем ЦАП и АЦП 1, 2 для повышения точности определения значения напряжения развертки формируется последовательно-параллельный АЦП. Формирование сигнала тока фокусировки производится по четвертому каналу ЦАП. По третьему каналу АЦП регистри-

руется ток, определяющий энергию настройки энергоанализатора.

Точность измерений обусловлена временем хранения выборки ЦАПЗ, временем срабатывания ОУ2 и АЦП2 (время измерения ~1 мс).

На рис. 10 приведены получаемые спектры с поверхности катода из искусственных углеродных материалов (рабочая и нерабочая стороны).

Метрологические характеристики

Приведенная погрешность АЦП представленных измерительных комплексов, вычисляемая как $\gamma = (\Delta / X_N) \cdot 100$ (%) и определяемая верхним пределом измерения – X_N , составляет 0,05 %. Здесь Δ – ошибка квантования. Относительная погрешность определяется в процессе измерений физических величин и обусловлена в основном классом точности используемых делителей и шунтов.

Заключение

Разработан аппаратно-программный комплекс для автоматизации процесса управления и регистрации данных в различных физических экспериментах. При использовании устройства ввода-вывода RL-88АС возможно формирование управляющего сигнала по нескольким каналам, а также регистрация потоков данных по 8 каналам.

Для повышения точности измерений на базе устройства ввода-вывода RL-88АС возможно формирование последовательно-параллельных АЦП.

Управление процессами производится из среды MS Excel, что позволяет использовать для проведения эксперимента и обработки результатов измерений общий пакет программ.

Литература

1. Денисенко, В.В. Серия модулей ввода-вывода «RealLab!» для автоматизации эксперимента / В.В. Денисенко, Р.С. Кильметов, О.Е. Трубочев // *Приборы и техника эксперимента*. – 2009. – № 1. – С. 171–173.
2. *Масс-спектрометр МХ-7304. Техническое описание. SELMI, г. Сумы.*
3. *Установка для измерения вольт-амперных характеристик углеродных материалов / Е.А. Кислов и др. // Альтернативная энергетика и экология*. – 2010. – № 3. – С. 40–43.
4. *Отчет по контракту ИЭФ №2/05. Руководитель: А.Л. Филатов. Исполнители: В.Л. Кузнецов, С.Р. Корженевский, Д.С. Скоморохов и др.*
5. *Прецизионный безжелезный магнитный спектрометр ЭС ИФМ-4 / В.М. Гольдберг и др. // Электронная промышленность*. – 1984. – № 2. – С. 84–89.

Поступила в редакцию 26 ноября 2012 г.