

О.Н. СИЗОНЕНКО, д-р техн. наук, ИИПТ НАН Украины, Николаев;
В.В. ЛИТВИНОВ, мл. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев;
С.В. КОНОТОП, инженер 2 кат., ИИПТ НАН Украины, Николаев;
А.А. КОВАЛЕНКО, инженер, ИИПТ НАН Украины, Николаев

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ИСКРОПЛАЗМЕННОМ СПЕКАНИИ ДИСПЕРСНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В данной работе с помощью графической среды программирования LabVIEW разработана программа автоматизации процесса измерения параметров (температуры, тока и напряжения) искроплазменного спекания дисперсных композиций, выполнено ее тестирование и проведена апробация в условиях реального эксперимента. Установлено, что программа позволяет отслеживать ход процесса спекания в режиме реального времени для его контроля и, по необходимости, корректировки, а также снижает трудоемкость процесса измерения.

Ключевые слова: искроплазменное спекание, среда разработки, алгоритм, программа, температура, ток, напряжение

Введение. В настоящее время все большую значимость получают работы, направленные на разработку новых способов получения материалов с улучшенными физическими и функциональными свойствами. Одним из наиболее перспективных методов является искроплазменное спекание (ИПС) дисперсных композиций [1, 2]. В Институте импульсных процессов и технологий Национальной академии наук Украины разработана экспериментальная установка нового поколения для ИПС [3]. Для обеспечения качественного и эффективного искроплазменного спекания необходимо одновременно отслеживать несколько параметров, оказывающих влияние на данный процесс: температуру, напряжение и ток. В разработанном устройстве регистрация перечисленных параметров осуществлялась вручную, что не позволяло управлять процессом ИПС. Первым шагом в создании сложной системы управления силовым электрическим сигналом является автоматизация процесса. Это позволит не только повысить точность, но и уменьшить трудоемкость выполняемой работы. Поэтому автоматизация процесса измерения температуры, тока и напряжения при ИПС дисперсных композиций является актуальной задачей.

В связи с этим целью данной работы было – автоматизировать процесс измерения температуры и электрических характеристик при ИПС дисперсных композиций.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

© О.Н. Сизоненко, В.В. Литвинов, С.В. Конотоп, А.А. Коваленко, 2014

а) выбрать среду разработки программного продукта для автоматизации процесса измерения температуры, тока и напряжения при ИПС дисперсных композиций;

б) разработать алгоритм программы автоматизации процесса измерения температуры, тока и напряжения при ИПС дисперсных композиций;

в) выполнить тестирование и настройку программы;

г) провести измерение параметров ИПС дисперсных композиций с помощью программы автоматизации процесса измерения температуры, тока и напряжения.

Выбор среды разработки. Первым этапом автоматизации процесса измерения параметров, является выбор среды разработки программного продукта.

В настоящее время существует множество сред разработки. В связи с тем, что они предназначены выполнять одинаковые задачи, для дальнейшего выбора стоит выделить их недостатки, приведенные в табл. 1 [4-11].

Таблица 1 – Недостатки сред разработки для сбора и обработки данных

Среда разработки, производитель	Недостатки
LabVIEW, National Instruments	Перенос откомпилированной программы на другой компьютер осуществляется совместно с установкой National Instruments LabVIEW 6.1 (или более поздней версии), что увеличивает объем программы
HP VEE, Hewlett-Packard	Отсутствие собственных библиотечных функций для работы с портами ПК.
SoftWIRE, ComputerBoards	Обязательное условие наличия Visual Basic не ниже 6 версии. Для сложных задач потребует текстового программирования.
DASYLab, DATALOG GmbH	Конкретный набор модулей зависит от варианта поставки среды разработки.
ProfiLab-Expert, Abacom Electronics Software	Отсутствует переведенное на русский или украинский язык руководство по работе с приложением. Форум, в Интернете, на немецком языке.

LabVIEW от National Instruments [4] является старейшей (выпускается более 20 лет) и наиболее распространенной в мире системой графического программирования для сбора и обработки данных. В США для подобных задач этот пакет выбирает примерно каждый третий или четвертый потребитель. LabVIEW также хорошо известен и в других странах, кроме того – много литературы для русскоязычного населения.

National Instruments LabVIEW – это графическая среда разработки, предназначенная для решения задач измерения, обработки и отображения данных [4]. LabVIEW позволяет инженерам и ученым быстро разрабатывать собственные проекты с помощью дополнительных специализированных биб-

лиотек. В этой программе встроенная поддержка организации собственного ввода/вывода ограничена простой работой с портами ПК под Windows. Также имеются библиотечные функции, позволяющие использовать звуковую плату в качестве двухканальных АЦП и ЦАП под Windows. Стандартный интерфейс к внешним устройствам включает в себя работу с последовательными портами ПК. К тому же практически каждый заметный производитель техники для сбора и обработки данных предусматривает наличие соответствующих драйверов к LabVIEW [4].

С целью автономного исполнения проекта вне интегрированной среды, разработки и передачи его конечному потребителю приложение может быть оформлено в виде EXE файла. Для этого необходим дополнительный, отдельно поставляемый модуль Application Builder [4].

Выполненный анализ показывает, что среди перечисленных выше программных сред разработки на первое место среди потребителей по всему миру занимает National Instruments LabVIEW [6], так как представляет собой высокоэффективную среду графического программирования, в которой можно создавать гибкие и масштабируемые приложения измерений, управления и тестирования с минимальными временными и денежными затратами.

Так в сравнении с пакетом HP VEE среда разработки LabVIEW в выгодную сторону отличается – значительно больше возможности по обработке данных за счет обильного количества дополнительных прикладных пакетов под широкий круг задач. Кроме того, LabVIEW, в частности, в отличие от Advanced Analysis, имеется набор модулей для более специфической цифровой обработки сигналов (Signal Processing Toolset) и развитая система обработки изображений (IMAQ Vision и IMAQ Vision Builder) [4].

Кроме вышеупомянутых достоинств LabVIEW сочетает в себе гибкость традиционного языка программирования с интерактивной технологией Экспресс виртуальных приборов (ВП), которая включает в себя автоматическое создание кода, использование помощников при конфигурировании измерений, шаблоны приложений и настраиваемые Экспресс ВП. Благодаря этим особенностям и новички, и эксперты могут легко и быстро создавать приложения в LabVIEW [6].

Интуитивно понятный процесс графического программирования позволяет уделять больше внимания решению проблем, связанных с измерениями и управлением, а не программированию. LabVIEW предлагает:

- интуитивно понятный процесс графического создания приложений для измерений, управления и тестирования;
- полноценный язык программирования;
- встроенные средства для сбора данных, управления приборами, обработки результатов, генерации отчетов, передачи данных и др.;
- совместимость с разнообразными приборами благодаря наличию 2000 драйверов и возможности генерации кода интерактивным мастером;
- шаблоны приложений, тысячи примеров;
- высокую скорость выполнения откомпилированных программ;

– обучение и техническая поддержка мирового уровня LabVIEW может работать под управлением операционных систем Windows2000/NT/XP, Mac OS X, Linux и Solaris.

Приложения, написанные в LabVIEW, находят применение во всем мире в разнообразных отраслях промышленности: в автомобильной, телекоммуникационной, аэрокосмической и полупроводниковой промышленности, разработке и производстве электроники, управлении производством, биомедицине и многих других отраслях [4]. Благодаря своей гибкости и масштабируемости, LabVIEW может использоваться на всех этапах технологического процесса: от моделирования и разработки прототипов продуктов до широко-масштабных производственных испытаний. Применение интегрированной среды LabVIEW для измерения сигналов, обработки результатов и обмена данными помогает повысить производительность данного процесса.

Поэтому для решения задачи автоматизации процесса реализации измерения температуры, тока и напряжения при ИПС дисперсных композиций в качестве графической среды программирования была выбрана программа LabVIEW.

Разработка алгоритма программы для автоматизации процесса измерения температуры, тока и напряжения в процессе ИПС дисперсных композиций. Вторым этапом автоматизации процесса реализации измерения температуры, тока и напряжения в процессе ИПС дисперсных композиций являлось разработка алгоритма и написание программы. На рис. 1 приведена блок-схема алгоритма программы.

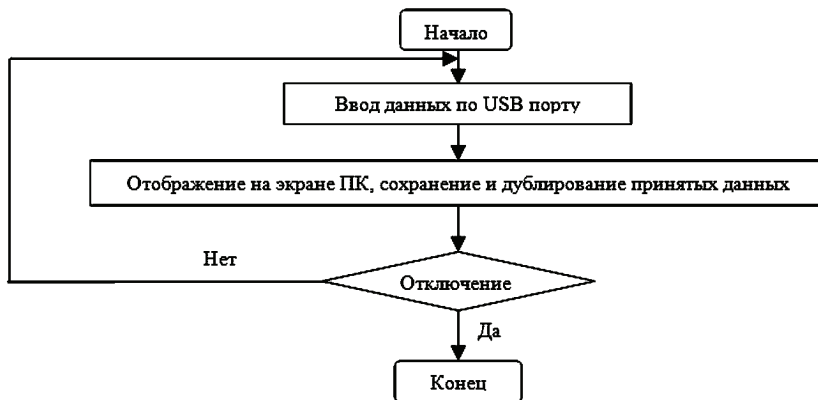


Рисунок 1 – Алгоритм программы ПК

Данные от всех датчиков поступают в преобразователь сигналов, после этого преобразователь сигналов, по USB интерфейсу, передает данные в ПК, происходит отображение на экране ПК в режиме реального времени и их со-

хранение на жестком диске (С:). Для повышения сохранности полученных данных и снижения фактора возможной человеческой ошибки выполняется дублирование данных на жестком диске (С:).

На рис. 2 представлено тело программы, на графическом языке программирования.

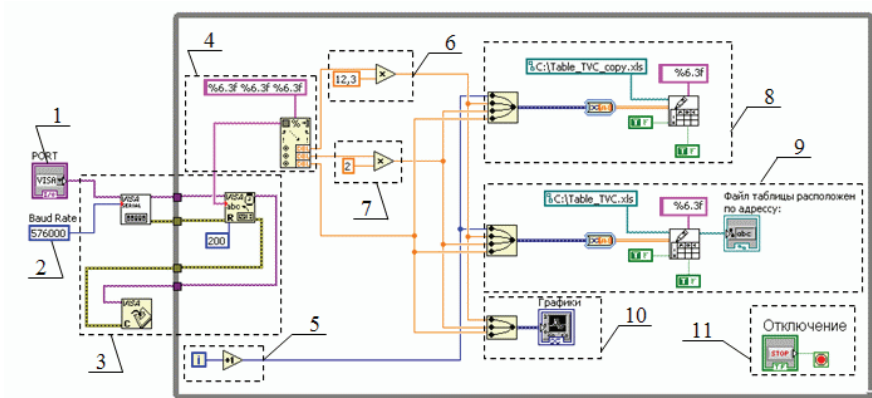


Рисунок 2 – Тело программы отображения, температуры, тока и напряжения, на экране ПК: 1 – модуль выбор порта приема данных, осуществляется пользователем; 2 – скорость передачи данных, в данном случае фиксировано 576000 бит/с; 3 – отвечает за прием данных программой; 4 – осуществляет сортировку данных, для дальнейшей их обработки; 5 – нумерует принятые данные; 6 – осуществляет масштабирование значения тока; 7 – осуществляет масштабирование значение напряжения; 8 – резервное сохранение данных; 9 – сохранение данных; 10 – отображение данные на экране ПК; 11 – отключает программу, по требованию пользователя

На рис. 3 представлен внешний вид готового программного продукта реализации измерения температуры, тока и напряжения в процессе ИПС дисперсных композиций.

При написании данного программного продукта была использована соответствующая литература [12].

Тестирование и настройка программы. В ходе тестирования программы были составлены таблицы для дальнейшей ее настройки.

Ток на экране ПК проверяли при помощи поверенных измерительных клещей Sanwa digital clamp meter DCM2000AD с погрешностью измерения 0,7% [13] и были получены данные, приведенные в табл. 2.

Таблице 2 – Тарировка значения тока в программе ПК

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I_0, A	271	352	400	450	500	550	600	650	700	740	810	870
$I_{пп}, A$	22	28	32	36	41	45	49	53	57	61	66	70

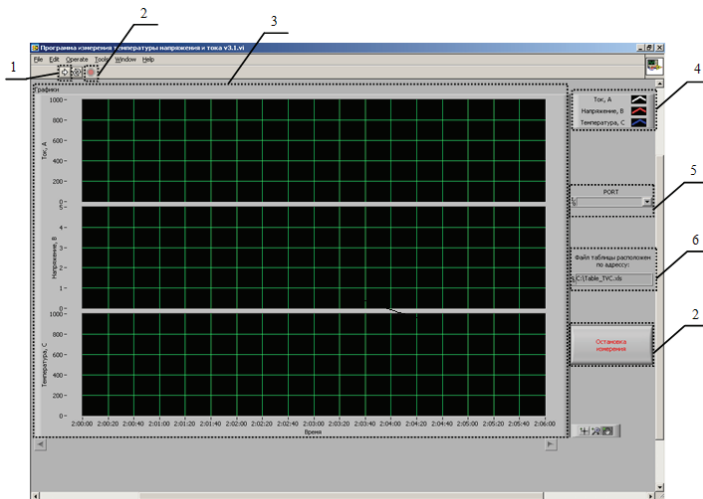


Рисунок 3 – Внешний вид программы измерения температуры, тока и напряжения: 1 – кнопка запуска программы; 2 – кнопка остановки программы; 3 – зона отображения принятых данных; 4 – легенда цветовой маркировки каждого графика; 5 – выбор порта приема данных, осуществляется пользователем; 6 – месторасположения и имя сохраненного файла

Среднее значение коэффициента отклонения по току, определяли по формуле 1:

$$k_I = \frac{\sum I_{\partial}}{I_{np}} \approx 12,3, \quad (1)$$

где I_{∂} – значение тока, измеренное поверенными измерительными клещами, А; I_{np} – проверяемое значение тока, на экране ПК, А; n – количество проведенных измерений.

Отсюда $I_{np}^* \approx I_{np} \cdot k_I$, где I_{np}^* – измеряемое значение тока, близкое к действительному.

После настройки программы были получены результаты, представленные на рис. 4.

Во время измерения тока относительная ошибка составила 2,2% [14].

Напряжение на экране ПК проверялось при помощи Digital multimeter MS8265 с погрешностью измерения 0,1 % [15], были получены данные, приведенные в табл. 3.

Таблица 3 – Тарировка значения напряжения в программе ПК

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
U_{∂} , В	0,4	0,52	0,6	0,69	0,74	0,78	0,83	0,89	0,96	1,2	1,6	2,2
U_{np} , В	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	1,1

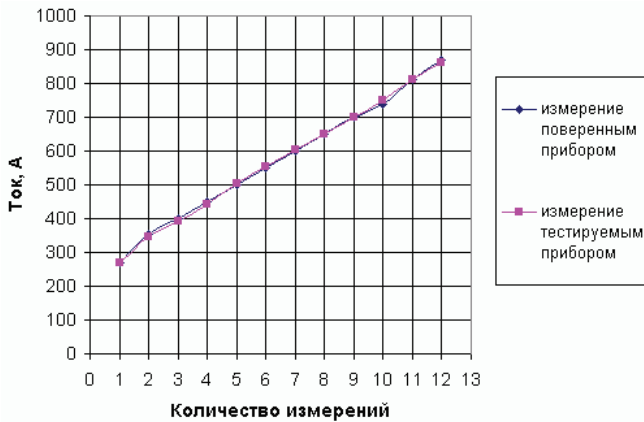


Рисунок 4 – Графики измерения значения тока протекающего через камеру спекания дисперсных композиций после тарировки: поверенным прибором и тестируемым прибором

Среднее значение коэффициента отклонения по напряжению, определяли по формуле 3.2:

$$k_U = \frac{\sum \frac{U_o}{U_{np}}}{n} \approx 2, \quad (2)$$

где U_o – значение напряжения, измеренное поверенным измерительным мультиметром, В; U_{np} – проверяемое значение напряжения, на экране ПК, В; n – количество проведенных измерений.

Отсюда $U_{np}^* \approx U_{np} \cdot k_U$, где U_{np}^* – измеряемое значение напряжения, близкое к действительному.

После настройки программы были получены следующие результаты, представленные на рис. 5.

Во время измерения напряжения относительная ошибка измерения составила 15,4 % [14].

Полученные результаты обусловлены добавлением в схему измерения напряжения – делителя напряжения с коэффициентом деления $\frac{1}{2}$. Данное добавление делителя предназначено для защиты АЦП системы измерения.

Температура на экране ПК проверялась при помощи СЕМ Dual laser targeting InfraRed & K-Type DT-8869H с погрешностью измерения 1,5% [16], были получены данные, приведенные в табл. 4.

Таблица 4 – Тарировка значения температуры в программе ПК

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$T_o, ^\circ\text{C}$	151	200	235	344	350	440	540	630	819	850	920	960
$T_{np}, ^\circ\text{C}$	150	199	234	343	350	440	540	629	818	850	920	960

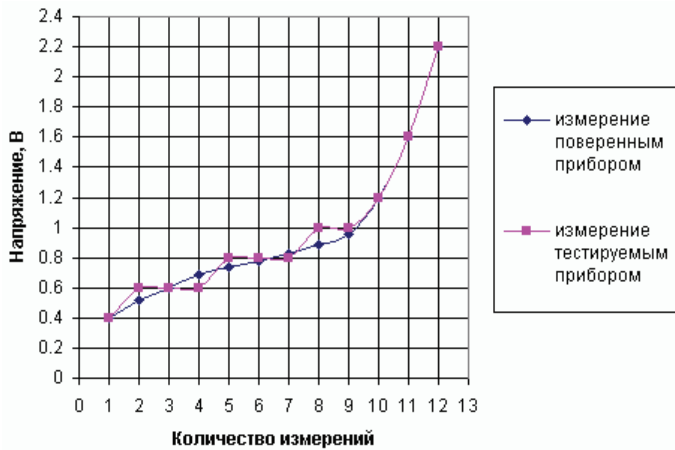


Рисунок 5 – Графики измерения значения напряжения на клеммах камеры спекания дисперсных композиций после тарировки: поверенным прибором и тестируемым прибором

После проверки программы были получены результаты, представленные на рис. 6.

Во время измерения температуры относительная ошибка измерения составила 0,7% [12]. В связи с тем, что во время проверки температуры были получены практически одинаковые результаты (см. рис. 6) – коэффициент отклонения по температуре составляет 1.

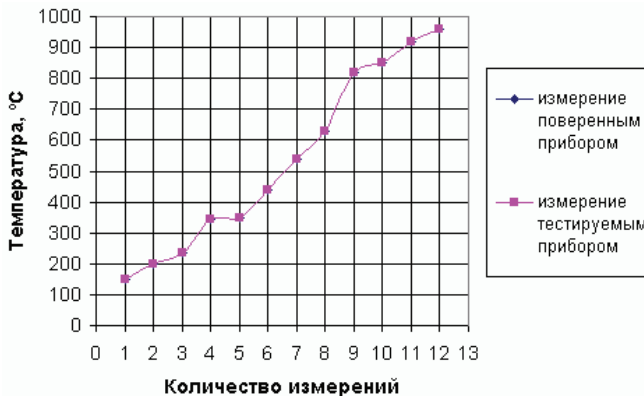


Рисунок 6 – Графики измерения значения температуры: поверенным прибором и тестируемым прибором.

Измерение параметров ИПС с помощью разработанного программного продукта. С помощью разработанной программы был выполнен

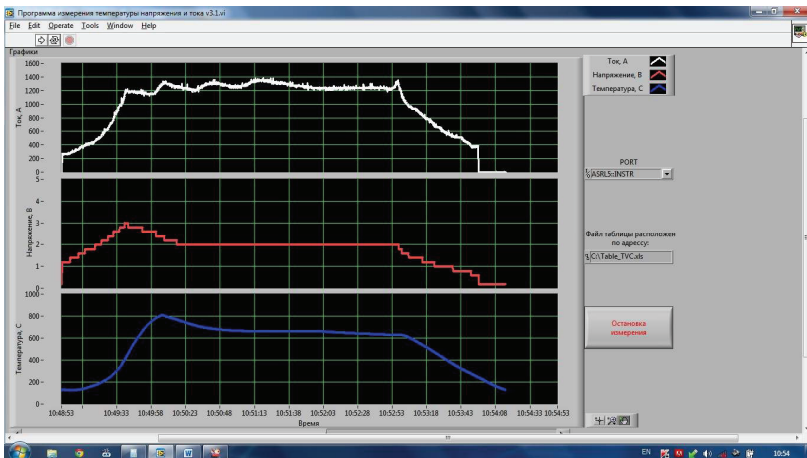


Рисунок 7 – Окно программы по завершении работы

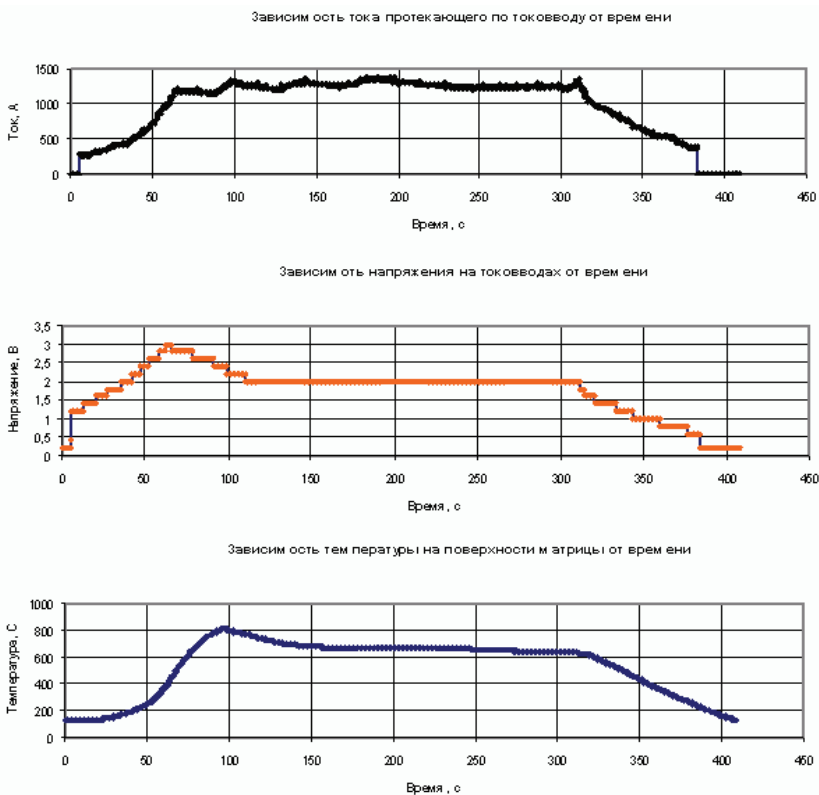


Рисунок 8 – Полученные графики из сохраненного файла

эксперимент по ИПС дисперсных композиций. Окно программы по окончании работы ИПС порошка состава представлен на рис. 7.

На рис. 8 представлены графики, полученные из таблиц, сохраненных после окончания работы.

В данный момент программное обеспечение успешно применяется при проведении экспериментов по ИПС дисперсных композиций, внешний вид комплекса ИПС представлен на рис. 9.

К достоинству программы можно отнести – отслеживание процесса спекания образца в реальном времени с шагом 1/16 секунды, что позволяет контролировать ход процесса и при необходимости выполнить его корректировку.



Рисунок 9 – Внешний вид комплекса ИПС: 1 – «Гефест-10»; 2 – камера для спекания дисперсных композиций; 3 – устройство измерения температуры, тока и напряжения, для последующей передачи данных на ПК; 4 – ПК с программой измерения температуры, тока и напряжения

Выводы: 1. С использованием среды программирования LabVIEW разработана программа, которая позволяет автоматизировать процесс измерений температуры, напряжения и тока процесса ИПС дисперсных композиций.

2. Программа отслеживает процесс спекания образца в реальном времени с шагом 1/16 секунды, что позволяет контролировать ход процесса и при необходимости выполнить его корректировку, а также снижает трудоемкость процесса измерения и облегчает работу научного сотрудника.

3. С помощью разработанной программы выполнен эксперимент по ИПС дисперсных композиций состава.

Список литературы: 1. Райченко, А.И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока. – М.: Металлургия, 1987. – 129 с. 2. Hong Peng. Spark Plasma Sintering of Si₃N₄-Based Ceramics. Doctoral Dissertation. Department of Inorganic Chemistry Stockholm Univer-

sity S-10691 Stockholm Sweden 2004, 104 p. **3.** Сизоненко, О.Н. Розробка методів обробки та консолідації композитів на основі карбідів заліза та титану висококонцентрованими потоками енергії [Текст]: отчет о НИР (заключ.) / рук. Сизоненко О.Н., исполн.: Литвинов В. В. [та ін.]. – Київ., 2013. – 128 с. – № держреєстрації 0112U002865. **4.** Описание программного среды разработки [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.ni.com> **5.** Описание программного среды разработки [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.home.agilent.com> **6.** Программное обеспечение для сбора и обработки данных при измерениях и испытаниях [Электронный ресурс]: / А. Курбатов // Компьютеры и технологии. – 2000. – № 7. – Режим доступа: <http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/> **7.** Описание программного среды разработки [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.mccdaq.com> **8.** Описание программного среды разработки [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.dasytec.com> **9.** Программное обеспечение для сбора и обработки данных при измерениях и испытаниях [Электронный ресурс]: / А. Курбатов // журнал «Компьютеры и технологии». – 2001 №1 – Режим доступа: <http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/> **10.** Описание программного среды разработки [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://cxem.net/software/profilab.php> **11.** Описание программного среды разработки [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.abacom-online.de> **12.** Уроки по LabVIEW [Электронный ресурс] / Авторы – сотрудники "ХОЛИТ Дэйта Системс", г. Киев – Режим доступа: <http://www.picad.com.ua/lesson.htm> **13.** Техническое описание прибора [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.sanwa-meter.co.jp> **14.** Зайдель А.Н. Элементарные оценки ошибок измерений. Издание третье, исправленное и дополненное. – Л.: Наука, 1968. **15.** Техническое описание прибора [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.cem-meter.com.cn> **16.** Техническое описание прибора [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.mastech.ru>

Bibliography (transliterated): **1.** Rajchenko, A.I. Osnovy processa spekanija poroshkov propuskaniem jelektricheskogo toka. – М.: Metallurgija, 1987. – 129. **2.** Hong Peng. Spark Plasma Sintering of Si3N4-Based Ceramics. Doctoral Dissertation. Department of Inorganic Chemistry Stockholm University S-10691 Stockholm Sweden 2004, 104. **3.** Сизоненко, О.Н. Rozrobka metodiv obrobky ta konsolidacii' kompozytiv na osnovi karbidiv zaliza ta tytanu vysokokoncentrovanymy potokamy energii' [Текст]: отчет о НИР (заключ.) рук. Сизоненко О.Н., исполн.: Литвинов В. В. [та ін.]. – Київ., 2013. – 128. – № держреєстрації 0112U002865. **4.** Opisanie programmnogo sredy razrabotki [Jelektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <http://www.ni.com> **5.** Opisanie programmnogo sredy razrabotki [Jelektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <http://www.home.agilent.com> **6.** Programmnoe obespechenie dlja sbora i obrabotki dannyh pri izmerenijah i ispytanjah [Jelektronnyj resurs]: A. Kurbatov zhurnal «Komp'jutery i tehnologii». – 2000 №7 – Rezhim dostupa: <http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/> **7.** Opisanie programmnogo sredy razrabotki [Jelektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <http://www.mccdaq.com> **8.** Opisanie programmnogo sredy razrabotki [Jelektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <http://www.dasytec.com> **9.** Programmnoe obespechenie dlja sbora i obrabotki dannyh pri izmerenijah i ispytanjah [Jelektronnyj resurs]: A. Kurbatov zhurnal «Komp'jutery i tehnologii». – 2001 №1 – Rezhim dostupa: <http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/> **10.** Opisanie programmnogo sredy razrabotki [Jelektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <http://cxem.net/software/profilab.php> **11.** Opisanie programmnogo sredy razrabotki [Jelektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <http://www.abacom-online.de> **12.** Uroki po LabVIEW [Jelektronnyj resurs] Avtory – sotrudniki "HOLIT Dzejta Sistems", g. Kiev – Rezhim dostupa: <http://www.picad.com.ua/lesson.htm> **13.** Tehnicheskoe opisanie pribora [Jelektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <http://www.sanwa-meter.co.jp> **14.** Zajdel' A.N. Jelementarnye ocenki oshibok izmerenij. Izdanie tret'e, ispravlennoe i dopolnennoe. – L.: Nauka, 1968. **15.** Tehnicheskoe opisanie pribora [Jelektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <http://www.cem-meter.com.cn> **16.** Tehnicheskoe opisanie pribora [Jelektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <http://www.mastech.ru>

Надійшла (received) 04.03.2014