

УДК 621.791; 620.179

**С. В. Болотов, канд. техн. наук, доц., А. О. Воробьёв, Е. Л. Бансюкова****ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ**

Для экспериментальных исследований контактной точечной сварки разработан универсальный программно-аппаратный комплекс на основе продуктов компании «Нэшионал Инструментс» (National Instruments). Комплекс обеспечивает сбор, сохранение и анализ поступающих данных, позволяющих оценивать качество соединения, а также управление в режиме реального времени параметрами режима сварки.

В ходе проводимой научно-исследовательской работы по разработке способа управления процессом контактной точечной сварки возникла необходимость в экспериментальной установке, позволяющей регистрировать параметры режима и вносить управляющие воздействия в сварочный процесс. Однако небольшое время цикла контактной сварки (0,02...2 с) [1] повышает требования к быстродействию автоматической системы, в частности, к прогнозируемому времени отклика.

Малого и прогнозируемого времени отклика позволяют добиться системы сбора данных реального времени, включающие программную и аппаратную части. Важной особенностью таких систем является не минимальное среднее значение отклика, а отсутствие либо минимальное отклонение от его прогнозируемого временного значения [2].

Для реализации системы жесткого реального времени при использовании модуля LabVIEW Real-Time возможно использование целевой платформы реального времени под управлением операционной системы реального времени (ОСРВ) Venturcom Phar Lap Embedded Tool Suite (ETS-платформа).

Целевая платформа реального времени отвечает за выполнение ядра программы реального времени и может выполняться в виде: одноплатного устройства; встраиваемой системы с контроллером реального времени, реконфигурируемым шасси на базе ПЛИС

(FPGA) и модулями ввода-вывода промышленного исполнения CompactRIO [2]. Данные системы позволяют работать системам мониторинга в течение долгих периодов времени (месяцев и даже лет), гарантируя прогнозируемые временные отклики на протяжении всего периода работы. Однако несмотря на то, что продукты NI обладают весьма привлекательными ценами по сравнению с аналогичными продуктами других фирм, назвать оборудование и программное обеспечение для построения систем сбора данных реального времени бюджетными нельзя – стоимость этих продуктов весьма высока.

В связи с этим была поставлена задача создания для экспериментальных исследований контактной точечной сварки такой системы сбора данных и управления процессом, которая решала бы весь спектр возложенных на неё задач, при этом оставаясь доступной по цене.

Разработанная экспериментальная установка включает (рис.1):

- машину контактной сварки МТ-3201 (1);
- регулятор цикла сварки РКС-801 (2);
- устройство сбора данных (УСД) NI USB-6009 (3);
- датчик тока ДТПХ-32000 на основе эффекта Холла (4);
- электромагнитные преобразователи, располагаемые у поверхности свариваемых деталей (5);
- ЭВМ с программным обеспечением LabVIEW 2009 и DAQmx (6).

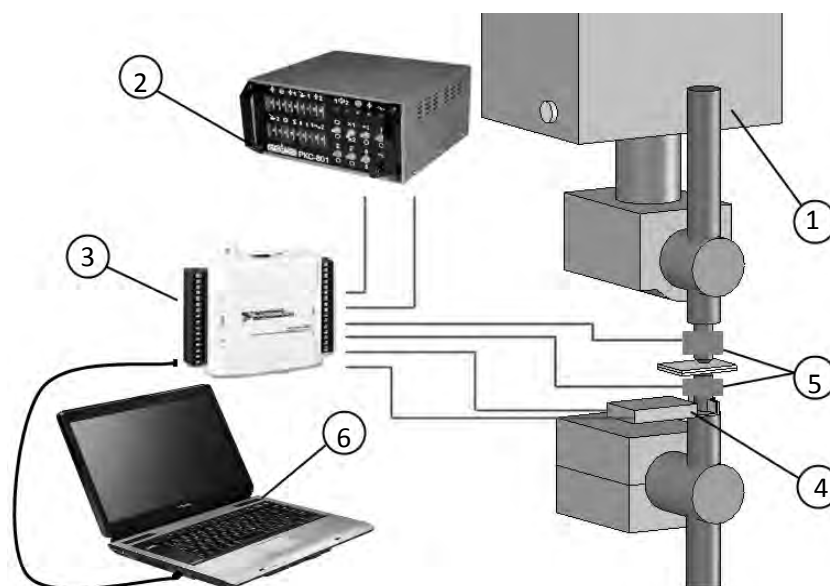


Рис. 1. Экспериментальная установка

МТ-3201 относится к широко распространённой на производстве однофазной машине для контактной точечной сварки нахлёсточных соединений из низко- и среднеуглеродистых сталей малых и средних толщин.

Регулятор цикла сварки РКС-801 предназначен для управления сварочным током и усилием сжатия пневмопривода. Он позволяет задавать время основного и ковочного усилий сжатия пневмопривода, обеспечивать плавное нарастание переднего фронта первого импульса (модуляцию), управлять величиной и длительностью протекания сварочного тока от внешних устройств путём изменения напряжения на входах регулятора, что дает возможность организовать замкнутую систему управления.

УСД в данном комплексе представлено устройством начального уровня NI USB-6009, имеет восемь каналов аналоговых входов и два выхода с разрешением 14 бит, максимальной частотой дискретизации 48 кГц. УСД NI USB-6009 присоединяется к компьютеру посредством интерфейса full-speed USB. Программную поддержку в среде ОС Windows обеспечивает драйвер DAQmx.

Для регистрации величины сварочного тока используется датчик ДТПХ-32000 на основе эффекта Холла с пределами измерения значения тока 0...32 кА, погрешностью измерения в диапазоне рабочих температур не более 5 %.

Электромагнитный преобразователь, предназначенный для оценки качества сварного соединения, имеет следующие параметры: минимальный диаметр и длина – 23 мм; диаметр обмоточного провода – 0,4 мм, количество витков – 400...450.

Программная часть экспериментальной установки представлена так называемым виртуальным прибором – программой, написанной в LabVIEW 2009, и предназначенным для управления УСД для получения, сохранения и анализа данных с преобразователей, а также выдачи управляющих импульсов регулятору цикла сварки.

Программу условно можно разделить на следующие блоки:

- блок слежения за входными сигналами;
- блок цикла для получения, сохранения и анализа входных сигналов, а также выдачи управляющих импульсов;

– блок анализа сигналов.  
Внешне программа состоит из блочной диаграммы, которая описывает

логику работы виртуального прибора и лицевой панели (рис. 2), содержащей интерфейс программы.

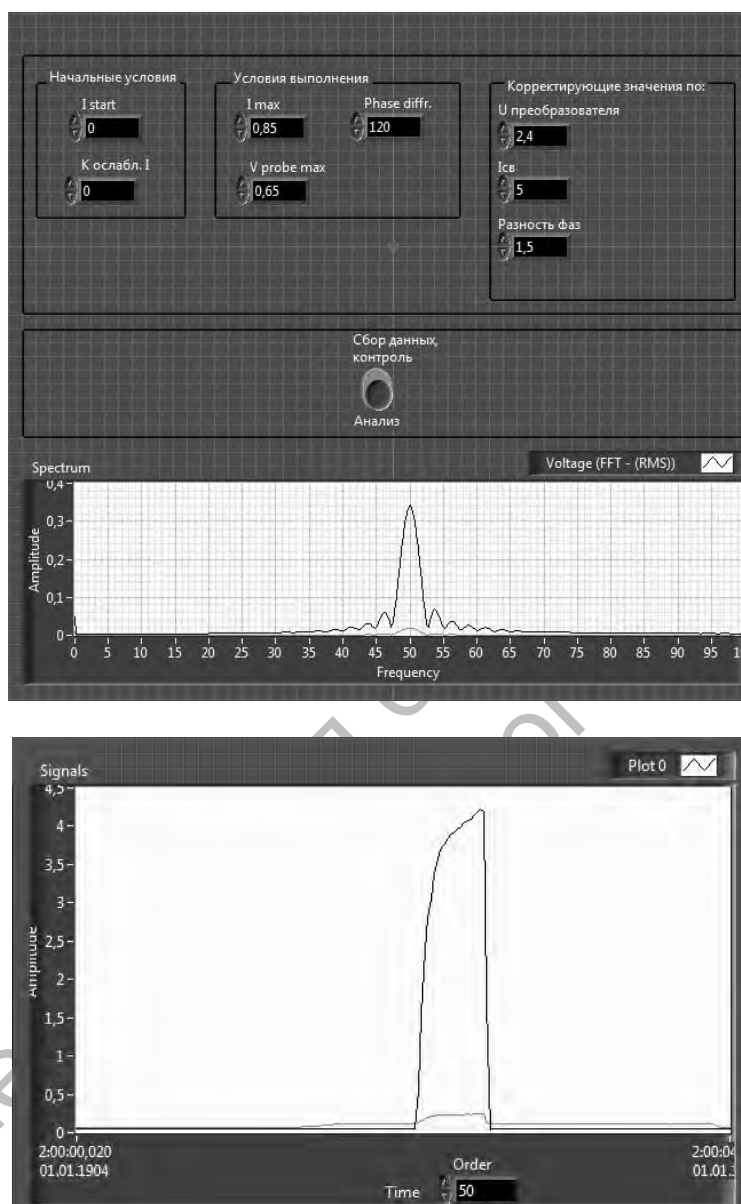


Рис. 2. Лицевая панель программы

Узел инициализации и получения данных с УСД (DAQ Assistant4) блока слежения за входными сигналами (рис. 3) настроен таким образом, чтобы при превышении напряжения преобразователя Холла, дающем информацию о сварочном токе, выше установленного, в соответствующем поле (I start) на лицевой панели программы, запускался

основной блок сбора, сохранения и анализа данных и выдачи управляющих импульсов (рис. 4).

Этот блок, в свою очередь, состоит из организованной в цикл прямой последовательности действий:

– запуск сбора (DAQ Assistant) и сохранения данных (Write To Measurement File);

– анализ и сравнение с заданными значениями; в случае достижения одного или нескольких пороговых значений – запуск цикла генерации управляющего сигнала. Включает узлы выделения действующего значения сигналов (RMS), настроенных для обработки пятидесяти выборок за цикл, многофункциональные узлы Tone Measurement, сконфигурированные для определения фазы сигналов, и узлы сравнения с заданными максимальными значениями параметров

контроля и управления процессом сварки (напряжение преобразователя, сварочный ток, разность фаз этих сигналов), которые устанавливаются на лицевой панели программы (V probe max, I max, Phase diffr.);

– принудительное ожидание, задаваемое посредством узла Wait Until Next ms Multiple, настроенное на выдержку паузы в течение 5 мс для выполнения задач операционной системы.

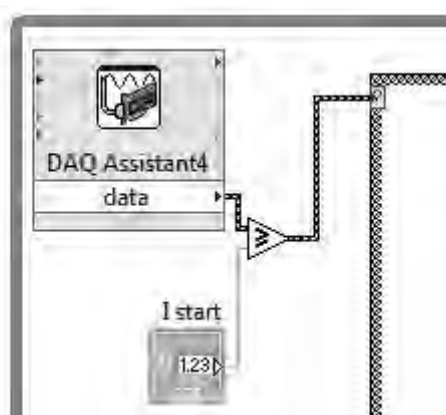


Рис. 3. Блок слежения за входными сигналами

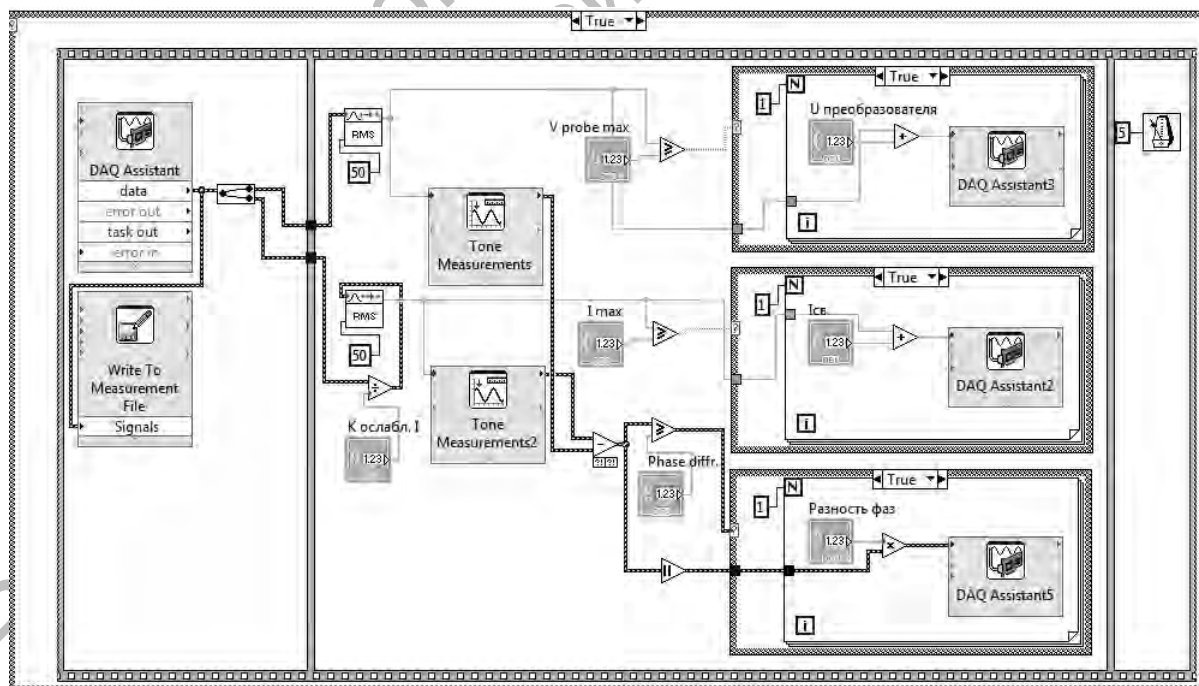


Рис. 4. Блок сбора, сохранения и анализа данных и выдачи управляющих импульсов

При построении в операционных системах общего назначения (таких, как ОС Windows) автоматической системы контроля и управления процессом сварки, как системы с повышенными требованиями к скорости реагирования на изменение входных параметров контроля, следует придерживаться ряда правил, существенно повышающих производительность системы контроля: максимально освобождать операционную систему от всех процессов, которые не являются необходимыми для работы, что позволяет ей выполнять запросы процесса LabVIEW максимально быст-

ро; при создании программы следует использовать узлы Wait Until Next ms Multiple или аналогичные, в течение выполнения которых ресурсы освобождаются и их может использовать ОС и исполняющиеся в ней программы; повышать приоритет процесса программы – это позволяет системе на коротких временных промежутках работать как система реального времени [3, 4].

Также программа включает блок анализа сохранённых сигналов (рис. 5), который доступен при переключении программы в режим «Анализ» на лицевой панели программы (см. рис. 2).

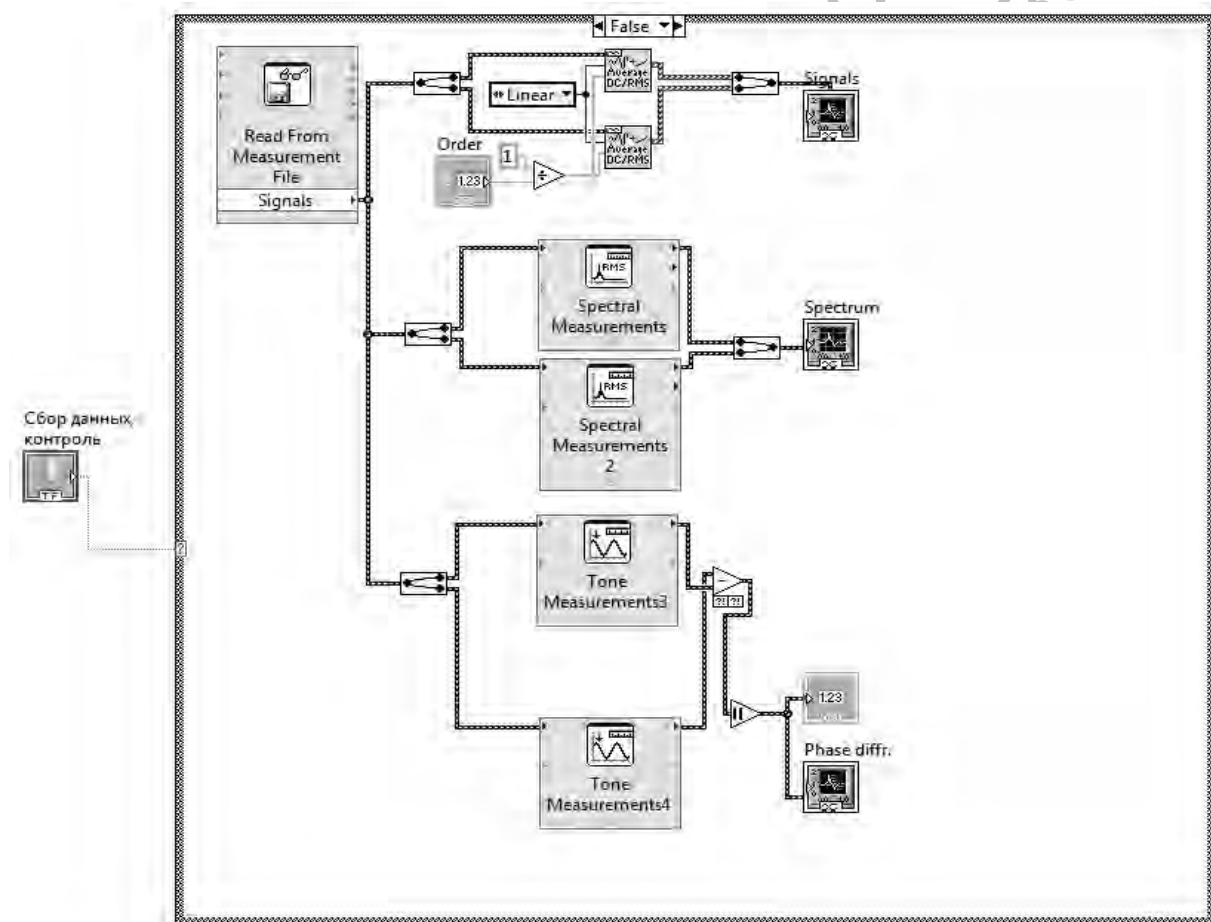


Рис. 5. Блок сбора, сохранения и анализа данных и выдачи управляющих импульсов

Этот блок включает узел чтения сохранённых экспериментальных данных (Read From Measurement File), узлы выделения действующего значения сиг-

нала (Average DC/RMS), узлы спектрального анализа сигнала (Spectral Measurements), многофункциональные узлы, настроенные для выделения фазы

сигнала (Tone Measurements).

Описанная система применена для разработки способа управления процессом точечной сварки по сварочному току и сигналу от электромагнитного преобразователя. На рис. 6 представлены сигналы действующих значений сварочного тока (1) и напряжения электро-

магнитного преобразователя (2) для качественного и дефектного образцов и фотографии их шлифов. При появлении такого опасного дефекта, как выплеск расплавленного металла, происходит резкое падение напряжения преобразователя, что требует корректировки параметров режима сварки.

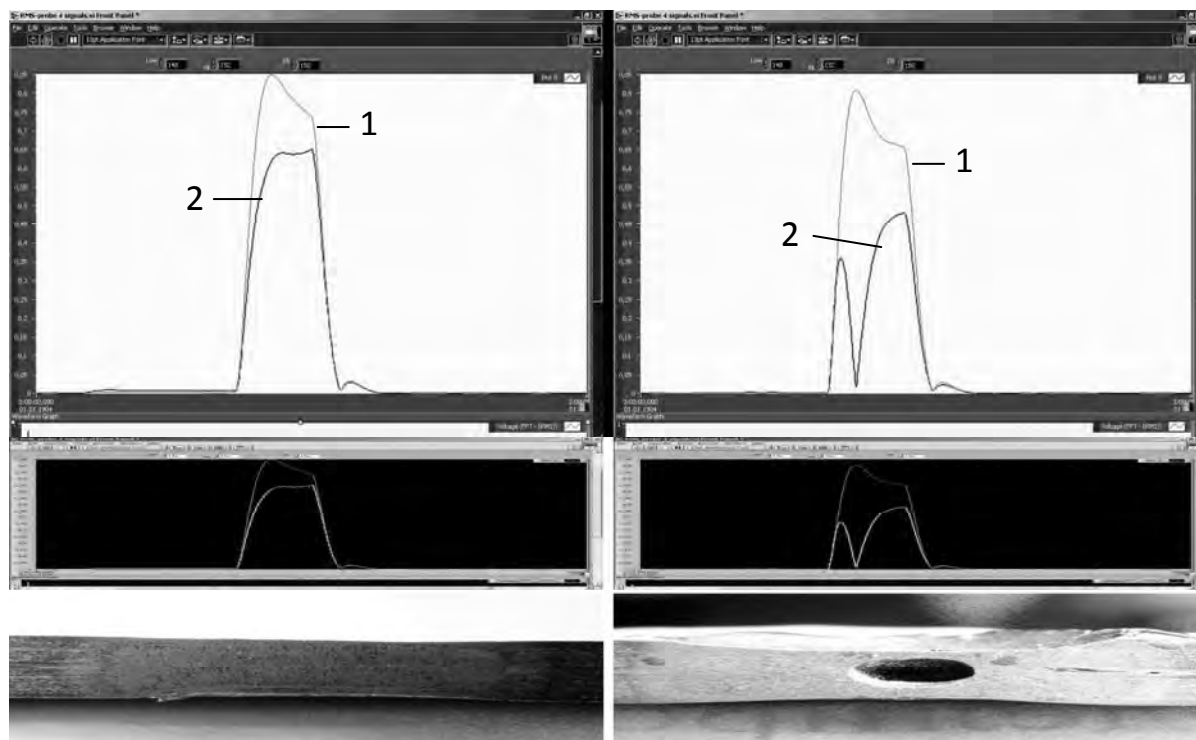


Рис. 6. Сигналы преобразователей и шлифы сварных точек для качественного и дефектного соединений

Проведены экспериментальные исследования экранной схемы включения преобразователя. В этой схеме приемный преобразователь размещался с одной стороны свариваемых изделий, а намагничивающая электромагнитная

катушка – с другой. Установлено, что при образовании качественного сварного соединения (диаметр литого ядра лежит в пределах от  $d_{\min}$  до  $d_{\max}$  (табл. 1)) изменение напряжения преобразователя составляет до 30 %.

Табл. 1. Рекомендуемые размеры электродов и диаметра литого ядра

| Толщина пластин $s$ , мм | Диаметр электрода $D_{\text{э}}$ , мм | Минимальный диаметр литого ядра $d_{\min}$ , мм | Максимальный диаметр литого ядра $d_{\max}$ , мм |
|--------------------------|---------------------------------------|---|--|
| 1,0                      | 12                                    | 4,00  | 5,00   |
| 2,0                      | 20                                    | 6,35  | 7,94   |
| 3,0                      | 25                                    | 8,32  | 10,40  |
| 4,0                      | 25                                    | 10,1  | 12,45  |

Проведенные исследования влияния смещения намагничивающей катушки и приёмного преобразователя на амплитудные значения сигнала показали, что их смещение от плоскости свариваемого изделия на расстояние до 2 мм вызывает изменение напряжения преобразователя не более чем на 3,8 %. Это создаёт предпосылки для оценки диаметра литого ядра по напряжению электромагнитного преобразователя и организации замкнутой системы управления сварочным током.

Одной из основных особенностей описанного программно-аппаратного комплекса является возможность его работы в режиме реального времени на небольших временных отрезках. При этом продолжительность таких отрезков достаточна для исследования быстропротекающих процессов небольшой длительности, таких, как процесс формирования литого ядра сварной точки.

Также комплекс обладает гибкостью в условиях проведения эксперимента, так как программа представляет собой модульное, удобное для восприятия графическое приложение, отдельные блоки которого легко могут быть

заменены другими, необходимыми для решения конкретной задачи. При этом основной принцип выполнения программы остаётся неизменным и состоящим из последовательности действий – инициализация УСД, захват и сохранение данных, операции над ними, условия остановки процесса или выдачи управляющих воздействий. Всё это позволяет снизить материальные и временные затраты при проведении эксперимента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Банов, М. Д. Технология и оборудование контактной сварки / М. Д. Банов. – 2-е изд., испр. – М.: Академия, 2006. – 15 с.
2. National Instruments Corporation, LabVIEW Real-Time Course Manual [Электронный ресурс]. – М., 2009. – Режим доступа : [http : // www.nf-team.org / drmad / stuff / lvrt.htm](http://www.nf-team.org/drmad/stuff/lvrt.htm). – Дата доступа : 25.06.2010.
3. Климентьев, К. Е. LabVIEW и реальное время [Электронный ресурс] / К. Е. Климентьев. – М., 2004. – Режим доступа : [http : // www.nf-team.org / drmad / stuff / lvrt.htm](http://www.nf-team.org/drmad/stuff/lvrt.htm). – Дата доступа : 20.05.2005.
4. Тревис, Дж. LabVIEW для всех / Дж. Тревис. – М. : ДМК Пресс ; Прибор Комплект, 2004. – 544 с.

Белорусско-Российский университет  
Материал поступил 24.05.2011

S. V. Bolotov, A. O. Vorobyev,  
E. L. Bansukova  
Hardware-software system for  
experimental studies of resistance  
spot welding

The universal hardware-software complex is developed on the basis of National Instruments Company products for experimental researches of contact spot welding. The complex provides the collection, preservation and analysis of incoming data, which allow estimating the joint quality, and also the monitoring of welding parameters in the real time mode.