

# СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ С ПОМЕХОЗАЩИЩЕННЫМ КАНАЛОМ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА ВТОРИЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ

**В. А. МАТВЕЙЧУК**

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Созданы помехозащищенные цифровые системы обработки, передачи и ввода сигнала вторичной электронной эмиссии в компьютер с визуализацией процессов сварки в режиме реального времени. Разработано оборудование для преобразования, передачи и обработки сигнала вторичной электронной эмиссии: блок обработки, преобразования и передачи сигнала вторичной электронной эмиссии (БОС); блок приема и дешифрации цифрового сигнала вторичной электронной эмиссии (БДС); блок обработки, преобразования и передачи сигнала вторичной электронной эмиссии по каналу Ethernet (БОСИ). Разработаны и испытаны системы видеонаблюдения с применением: оборудования для преобразования и передачи сигнала (ОППС); оборудования для преобразования и передачи информации в компьютер (ОПИК). Разработано программное обеспечение. Проведены исследования созданных систем видеонаблюдения, выполнен их сравнительный анализ с широко применяемой в установках для электронно-лучевой сварки системой видеонаблюдения RASTR. Библиогр. 7, рис. 6.

*Ключевые слова:* электронно-лучевая сварка, помехозащищенность, электронный луч, вторичная электронная эмиссия, видеонаблюдение, изображение

Электронно-лучевая сварка широко используется в промышленности для производства изделий ответственного назначения, прежде всего в аэрокосмической и энергетической отраслях, благодаря вакуумной защите расплавленного металла от насыщения газами, малым сварочным деформациям и способности достигать высокого соотношения глубины к ширине шва. Одновременно с проведением процесса сварки с помощью электронного луча в режиме сканирования поверхности металла малым током возможно получить изображение сварного шва и стыка кромок.

Компьютерные технологии позволяют точно направить электронный луч в стык, но только при достаточно высоком соотношении, желательнее более 20 децибел, полезного и шумового сигналов вторичной электронной эмиссии. Обычно это соотношение составляет от 12 до 14 Дб.

Паразитные шумы образуются в кабеле, передающем аналоговый сигнал вторичной электронной эмиссии от предусилителя в устройство ввода информации в компьютер. Шумовой сигнал накладывается на полезный, при этом он имеет широкий амплитудный и частотный спектр. Выделить и устранить шумовой сигнал крайне сложно, поэтому необходимо минимизировать его воздействие на полезный сигнал.

Устранить или значительно снизить влияние помех на сигнал вторичной электронной эмиссии возможно, если преобразовать его в цифровой вид

и передать по помехозащищенному цифровому каналу.

В настоящее время на установках для электронно-лучевой сварки широко применяется система видеонаблюдения RASTR, предназначенная для отображения на экране монитора сварочных процессов в режиме реального времени. Блок-схема системы RASTR представлена на рис. 1.

Растровое поле, созданное сфокусированным электронным пучком электронно-лучевой пушки (ЭЛП), формируется в блоке управления и разверток. Сигналы управления разверткой поступают на отклоняющую систему (ОС) ЭЛП. Сканирующий пучок электронов направлен на поверхность исследуемого объекта. Поток электронов, отраженных от исследуемой поверхности, поступает на датчик вторичных электронов (ДВЭ), в котором формируется электрический сигнал вторичной электронной эмиссии. Этот сигнал передается на предусилитель (ПУ), размещенный в вакуумной камере. Из предусилителя сигнал вторичной электронной эмиссии подается на видеоусилитель (ВУ) системы RASTR. После видеоусилителя сигнал передается в блок WLCA, в котором аналоговый сигнал вторичной электронной эмиссии преобразуется в цифровой код. Из блока WLCA данные поступают в управляющий компьютер. В компьютере полученная информация программно обрабатывается и в режиме реального времени формируется видеоизображение процесса сварки.

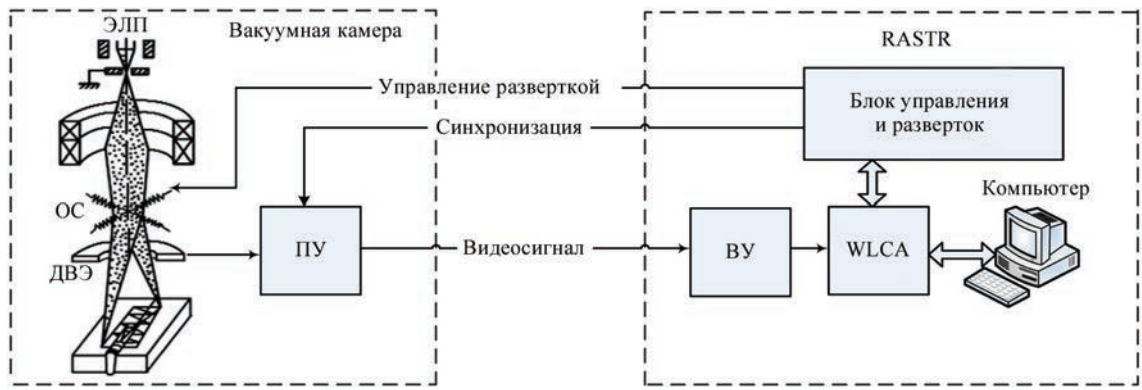


Рис. 1. Блок-схема системы видеонаблюдения RASTR (обозначения см. в тексте)

В системе RASTR аналоговый сигнал вторичной электронной эмиссии от предусилителя (ПУ) к видеоусилителю (ВУ) передается по длинному коаксиальному кабелю. Предусилитель расположен в вакуумной камере установки, видеоусилитель — в шкафу управления вне вакуумной камеры. Коаксиальный кабель проходит по кабельным каналам рядом с силовыми и сигнальными кабелями систем управления приводами, высоковольтным кабелем электронно-лучевой пушки и кабелями исполнительных и контрольных устройств. Электродвигатели приводов управляются переменным током, форма которого отлична от синусоидальной. Этот ток создает высокочастотные электромагнитные помехи в широком спектре частот и амплитуд.

Помехи накладываются на полезный сигнал вторичной электронной эмиссии. Воздействие помех приводит к искажению изображения процессов сварки и к ухудшению работы системы автоматического слежения за стыком.

В качестве эффективного метода противодействия влиянию помех на сигнал вторичной электронной эмиссии предложено вместо аналогового канала передачи информации применить цифровой. Аналоговый сигнал вторичной электронной эмиссии в непосредственной близости от предусилителя необходимо преобразовать в цифровой код и полученную информацию передать по помехозащищенному цифровому каналу.

Для реализации поставленной задачи специалистами Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины совместно с Международным центром «Институт прикладной оптики» НАН Украины разработаны системы обработки, передачи и ввода сигнала в компьютер.

Создано следующее оборудование:

- блок обработки, преобразования и передачи сигнала (БОС), в котором аналоговый сигнал вторичной электронной эмиссии преобразуется в цифровой код;
- блок приема и дешифрации цифрового сигнала (БДС), в котором информация о сигнале вто-

ричной электронной эмиссии преобразуется из цифрового кода в аналоговый сигнал;

- блок обработки, преобразования и передачи сигнала по каналу Ethernet (БОСИ), в котором аналоговый сигнал вторичной электронной эмиссии преобразуется в цифровой код и в соответствии с протоколом TCP/IP передается по Ethernet каналу в компьютер.

С использованием указанного выше оборудования специалистами ИЭС созданы системы визуализации процессов сварки в режиме реального времени:

- система видеонаблюдения с применением оборудования для преобразования и передачи сигнала (ОППС);
- система видеонаблюдения с применением оборудования для преобразования и передачи информации в компьютер (ОПИК).

Для системы видеонаблюдения ОПИК разработано программное обеспечение, позволяющее обрабатывать полученную информацию о сигнале вторичной электронной эмиссии и формировать на экране компьютера изображение процесса сварки в режиме реального времени. Проведены исследования систем видеонаблюдения, выполнен их сравнительный анализ с системой визуализации RASTR.

Далее приведено описание разработанных систем.

**Система видеонаблюдения с применением оборудования для преобразования и передачи сигнала (ОППС)** представлена на рис. 2 в виде блок-схемы.

Растровое поле, созданное сфокусированным электронным пучком электронно-лучевой пушки (ЭЛП), формируется в блоке управления и разверток системы RASTR. Сигналы управления разверткой поступают на отклоняющую систему (ОС) ЭЛП. Сканирующий пучок электронов направлен на поверхность исследуемого объекта. Поток электронов, отраженных от исследуемой поверхности, поступает на датчик вторичных электронов (ДВЭ), в котором формируется

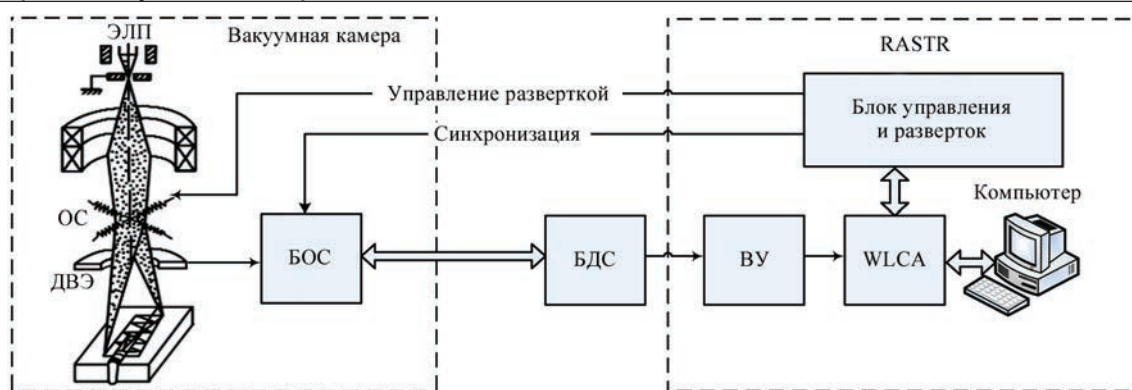


Рис. 2. Блок-схема системы ОППС (обозначения см. в тексте)

электрический сигнал. Этот сигнал передается в блок обработки сигналов (БОС) системы ОППС. В БОС сигнал вторичной электронной эмиссии усиливается, синхронизируется с управляющими сигналами и преобразуется в цифровой код. Данные передаются по проводному помехозащищенному кабелю за пределы вакуумной камеры в шкаф управления, где расположен блок дешифрации сигнала (БДС). В БДС данные преобразуются в аналоговый сигнал, который подается на видеосуилитель (ВУ) системы RASTR, где в режиме реального времени формируется изображение исследуемого объекта.

В системе ОППС сигнал вторичной электронной эмиссии передается в цифровом виде по проводному экранированному кабелю в виде витой пары.

Передача информации в цифровом виде обеспечивает высокую помехозащищенность передаваемого сигнала.

**Система видеонаблюдения с применением оборудования для преобразования и передачи информации в компьютер (ОПИК)** приведена на рис. 3 в виде блок-схемы.

Растровое поле, созданное сфокусированным электронным пучком электронно-лучевой пушки (ЭЛП), формируется в блоке управления и разверток. Сигналы управления разверткой поступают на отклоняющую систему (ОС) ЭЛП. Сканирующий пучок электронов направлен на поверхность

исследуемого объекта. Поток электронов, отраженных от исследуемой поверхности, поступает на датчик вторичных электронов (ДВЭ), в котором формируется электрический сигнал. Этот сигнал поступает в блок обработки, преобразования и передачи сигнала (БОСИ). В БОСИ сигнал вторичной электронной эмиссии усиливается, синхронизируется с управляющими сигналами и преобразуется в цифровой код. Полученные данные в цифровом виде передаются за пределы вакуумной камеры установки. Информация поступает в Ethernet порт компьютера, где программно обрабатывается. На экране формируется изображение исследуемого объекта в режиме реального времени.

Данные передаются в цифровом виде по проводному Ethernet кабелю в соответствии с сетевым протоколом TCP/IP, что обеспечивает высокую помехозащищенность передаваемого сигнала.

**Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение.** Эффективность работы систем видеонаблюдения ОППС и ОПИК оценивалась методом сравнительного анализа с системой видеонаблюдения RASTR.

Сравнивалось качество отображения сварных швов и тестовых объектов, а также наличие помех, вызванных работой технологического оборудования.

Испытания проводились на испытательном стенде и на промышленной установке для электронно-лучевой сварки.

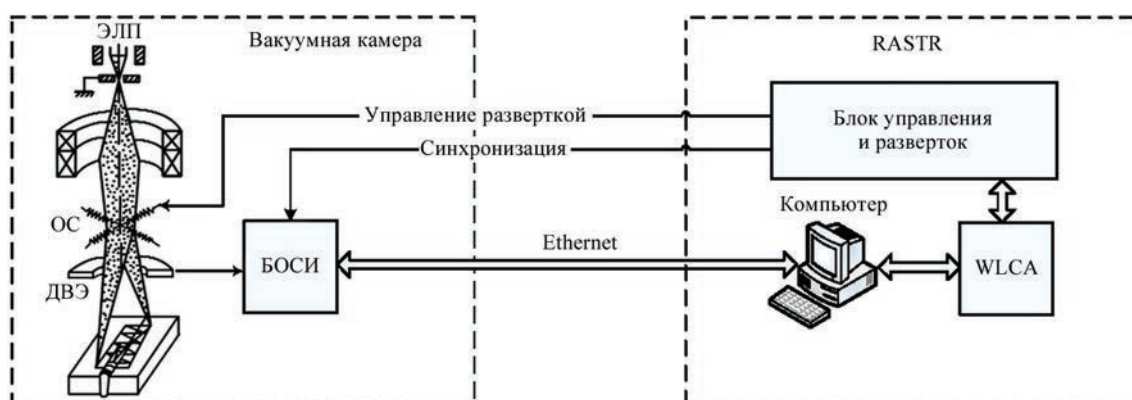


Рис. 3. Блок-схема оборудования для преобразования и передачи информации в компьютер по Ethernet (обозначения см. в тексте)

Далее приведены результаты исследований.

**Исследование систем видеонаблюдения на испытательном стенде.** Испытательный стенд создан на базе малогабаритной установки для электронно-лучевой сварки типа СВ-112.

Качество отображения исследуемых объектов оценивалось визуально.

Изображения, полученные с применением различных систем визуализации, приведены на рис. 4.

Изображение объектов *a* и *г* на рис. 4 создано системой RASTR. Качество изображения приемлемое для проведения технологических работ на оборудовании для ЭЛС.

Изображение *б* и *д* на рис. 4 создано системой ОППС. Изображение приемлемое для проведения сварочных и технологических работ, но уступает по качеству изображению объектов, созданной системой RASTR. Следует отметить более низкую детализацию изображения, что вызвано потерей информации при двойном преобразовании сигнала вторичной электронной эмиссии из аналогового в цифровой и обратно.

Принципиальное отличие системы ОППС от RASTR состоит в способе передачи сигнала вторичной электронной эмиссии от датчика вторичных электронов до блока отображения информации. В ОППС информация передается в цифровом виде, что обеспечивает помехозащищенность передачи данных. В этом состоит преимущество системы ОППС перед системой RASTR.

Изображение *в* и *е* на рис. 4 создано системой визуализации ОПИК. Следует отметить более высокое качество отображения исследуемых объектов, лучшую детализацию по сравнению с изображением, полученным с применением системы RASTR. В ОПИК информация о сигнале вторичной электронной эмиссии передается в цифровом виде, что обеспечивает помехозащищенность передачи данных. Влияние помех на сигнал вторич-

ной электронной эмиссии минимально. В этом состоит преимущество системы ОПИК перед RASTR.

Преимуществом системы ОПИК перед системой ОППС является отсутствие многократного преобразования сигнала, которое приводит к потере информации, и, как следствие, ухудшению качества отображения объекта.

Однако применение системы ОПИК на действующих установках ЭЛС с предустановленной системой видеонаблюдения RASTR повлечет изменения аппаратной и программной части оборудования, что не всегда приемлемо.

Применение системы ОППС с целью модернизации не требует внесения изменений в аппаратную и программную часть оборудования. Это является преимуществом системы ОППС перед ОПИК. На вновь создаваемом оборудовании, а также на установках, где требуется глубокая модернизация, преимущественное применение системы ОПИК перед системами RASTR и ОППС очевидно.

**Исследование систем видеонаблюдения на промышленной установке для ЭЛС.** Исследования систем видеонаблюдения проводилось на промышленной установке для электронно-лучевой сварки типа KL-181. В результате исследований изучено влияние промышленных помех на качество изображения.

На рис. 5 приведено изображение тестируемого объекта, сформированное системой RASTR на установке KL-181. На изображении видны помехи в виде горизонтальных полос, смещенных по диагонали. Помехи вызваны воздействием сигналов управления приводами на аналоговый сигнал вторичной электронной эмиссии.

В практике для борьбы с помехами предпринимается оптимальное размещение электрических кабелей внутри установки. Это позволяет снизить влияние помех, но не устраняет их. Применение способа передачи сигнала вторичной электронной

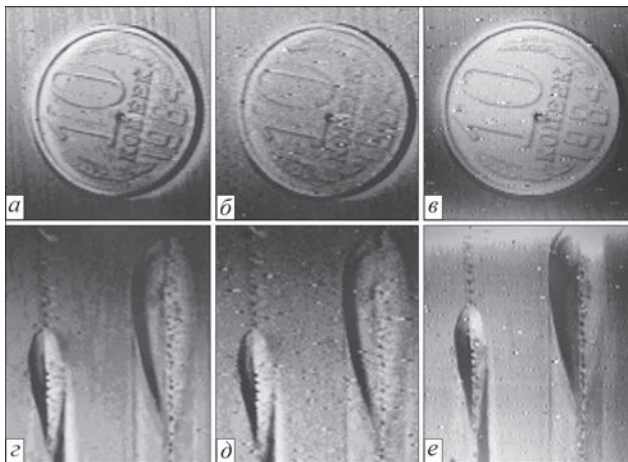


Рис. 4. Изображение объектов, полученное с применением систем визуализации: *a, г* — RASTR; *б, д* — ОППС; *в, е* — ОПИК

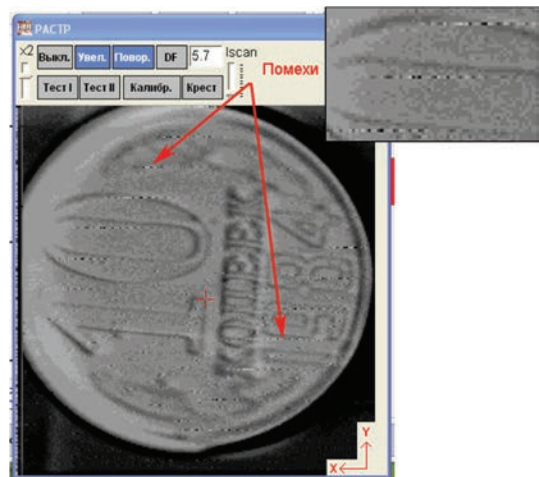


Рис. 5. Помехи на изображении исследуемого объекта

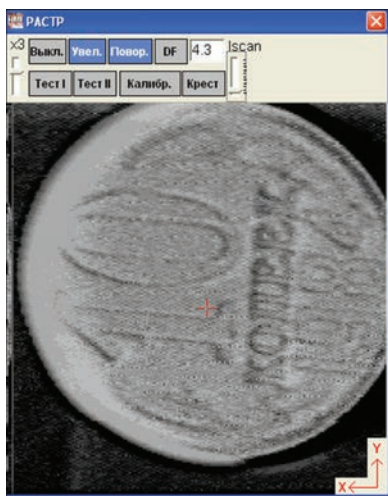


Рис. 6. Изображение, полученное с применением системы передачи сигнала вторичной электронной эмиссии в цифровом виде

эмиссии в цифровом виде позволило значительно улучшить помехозащищенность. Изображение тестируемого объекта, полученного с применением системы цифровой передачи сигнала ОППС, приведено на рис. 6.

На изображении отсутствуют помехи в виде диагональных полос, что подтверждает необходимость применения цифровых помехозащищенных каналов для передачи сигнала вторичной электронной эмиссии.

## Выводы

1. Для устранения влияния помех предложено сигнал вторичной электронной эмиссии преобразовать из аналогового в цифровой и передать его по помехозащищенному цифровому каналу. Преобразователь сигнала необходимо разместить в непосредственной близости от датчика вторичных электронов.

2. Создано оборудование для преобразования, передачи и обработки сигнала вторичной электронной эмиссии: блок обработки, преобразования и передачи сигнала вторичной электронной эмиссии (БОС); блок приема и дешифрации цифрового сигнала вторичной электронной эмиссии (БДС); блок обработки, преобразования и передачи сигнала вторичной электронной эмиссии по каналу Ethernet (БОСИ):

3. Созданы системы визуализации процессов сварки в режиме реального времени с помехозащищенным цифровым каналом передачи сигнала вторичной электронной эмиссии: система ви-

деонаблюдения с применением оборудования для преобразования и передачи сигнала (ОППС); система видеонаблюдения с применением оборудования для преобразования и передачи сигнала в компьютер (ОПИК).

4. Разработано программное обеспечение для системы видеонаблюдения с применением оборудования для преобразования и передачи сигнала в компьютер (ОПИК).

5. Проведены исследования созданных систем видеонаблюдения ОППС и ОПИК, выполнен их сравнительный анализ с широко применяемой в настоящее время системой визуализации RASTR. Системы видеонаблюдения пригодны для дальнейшей эксплуатации. Они обеспечивают высокую помехозащищенность передачи сигнала вторичной электронной эмиссии, приемлемое качество изображения объектов и процессов сварки в режиме реального времени.

6. Система ОППС предназначена для модернизации установок ЭЛС, в которых установлены системы видеонаблюдения RASTR. Система ОПИК предназначена для применения на вновь создаваемом оборудовании для ЭЛС, а также для глубокой модернизации оборудования с системой видеонаблюдения RASTR.

1. Наблюдение процесса электроннолучевой сварки и автоматическое слежение за стыком / О. К. Назаренко, В. И. Шаповал, Г. А. Лоскутов [и др.] // Автоматическая сварка. – 1993. – № 5. – С. 35–38.
2. Компьютерное управление процессом электронно-лучевой сварки с многокоординатными перемещениями пушки и изделия / Б. Е. Патон, О. К. Назаренко, В. М. Нестеренков [и др.] // Автоматическая сварка. – 2004. – № 5. – С. 3–7.
3. Fabrication, optical properties and laser performance of Nd:YAG transparent ceramics / S. V. Frolov, Yu. L. Kopylov, D. Yu. Kosyanov, V. B. Kravchenko, V. B. Taranenko, A. V. Tolmachev, V. L. Voznyy, R. P. Yavetskiy // Materials of International Scientific and Technical Conference «Laser technologies. Lasers and their applications», Drogobych, 2013. – С. 31–32.
4. Yaparov V. V. Vector laser solitons with rotating polarization topological defects / V. V. Yaparov, Ye. A. Krasnoschekov, V. B. Taranenko // Proceedings of International Workshop on Nonlinear Photonics, Sudak, Ukraine, 2013. – С. 25–26.
5. Experimental observation of vortex-soliton in two-wave-mixing oscillator with saturable absorber / V. V. Yaparov, V. B. Taranenko, N. N. Rosanov, S. V. Fedorov // Optics and Spectroscopy. – 2012. – 112. – P. 601–603.
6. Yaparov V. V. Topological solitons in active optical cavities: Fundamental properties and possible applications / V. V. Yaparov, V. B. Taranenko // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. – 2011. – 38, Issue. 1. – P. 28–29.
7. Батрак П. О. Особливості лазерної атомізації при багатопульсному / П. О. Батрак, Є. І. Забелло, Носов О. В. // Лазерні технології. Лазери та їх застосування: матеріали міжнарод. науч.-техн. конф., Дрогобич, 2011.

Поступила в редакцию 11.05.2016