

УДК 004.5.521.791.722

Ю.А. Бурачевский, И.Ю. Бакеев, А.В. Миллер, Р.Г. Новгородов

## Система управления и отображения информации электронно-лучевой установки

Представлены и обоснованы технические решения, найденные при разработке информационно-управляющего комплекса для установок электронно-лучевой сварки (УЭЛС) и электронно-лучевого выращивания (УЭЛВ). Комплекс позволяет управлять электронно-лучевой установкой в режимах сварки и послойного выращивания как в автоматическом, так и в ручном режимах. Технические решения, реализованные в описанном комплексе, позволяют одному оператору осуществлять управление как одной, так и несколькими установками.

**Ключевые слова:** электронно-лучевая установка, схема управления, отображение информации, органы управления.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2017-20-2-132-134

Электронно-лучевые установки (ЭЛУ) используются в различных отраслях машиностроительного комплекса. Это обусловлено уникальными возможностями таких установок при проведении сварки, плавки и размерной обработки различных материалов [1]. Современная электронно-лучевая установка представляет собой сложный комплекс, состоящий из нескольких систем, включая вакуумную систему, электромеханическую систему перемещения обрабатываемого объекта – манипулятор, систему электропитания, а также важнейший узел – электронно-лучевую пушку. Управление таким комплексом представляет собой отдельную научно-техническую задачу, успешное решение которой во многом определяет как качество производимых технологических операций, так и производительность установки. В настоящее время системы комплексного управления технологическими электронно-лучевыми установками реализуются на основе промышленных компьютеров с разветвленной системой визуализации (системой видимого отображения состояния агрегатов и хода технологического процесса на специальных табло и мониторах) [3, 4]. Несмотря на общеизвестные принципы построения систем управления, каждая конкретная реализация требует особых подходов, основанных на учете как используемого оборудования, так и характера операций. Настоящая публикация отражает результаты разработки системы управления установок электронно-лучевой сварки (УЭЛС) и электронно-лучевого выращивания (УЭЛВ) [5], созданных в рамках выполнения комплексного проекта согласно Постановлению Правительства РФ № 218 от 9 апреля 2010 г.

### Принципы построения системы управления и контроля

Одна из особенностей обеих разрабатываемых установок заключается в использовании электронных пушек двух типов: с термокатодом [6] и с плазменным катодом [7]. Это обстоятельство отражается на выборе задаваемых и контролируемых параметров, а следовательно, и на логике построения системы управления. В частности, функционирование плазменной электронной пушки возможно лишь при

напуске газа в область генерации плазмы, в связи с чем важным параметром становится скорость натекания рабочего газа. Кроме того, необходимым элементом системы контроля становится блокировка, предотвращающая подачу разрядного напряжения до включения напуска газа.

Наличие в электронно-лучевой установке отдельных систем делает обоснованным разделение системы управления на блоки, каждый из которых предназначен для соответствующей системы.

### Структурная схема системы управления

Схемы управления установками УЭЛС и УЭЛВ построены по общему принципу. Структурные элементы схемы (рис. 1) и их взаимосвязи определяются структурой самих установок. В конечном счете построение схемы должно обеспечить управление электронной пушкой, а также вакуумной (ВС), пневматической (ПС) и механической (МС) системами. Управление пушкой реализуется через формирование питающих напряжений, причем набор напряжений различается для пушек с термокатодом и с плазменным катодом. Общими остаются ускоряющее напряжение, вырабатываемое в источнике высокого напряжения ИВН, а также напряжения фокусировки и отклонения электронного пучка. Для термокатодной пушки система электропитания формирует напряжение накала и напряжение на цилиндре Венельта, в то время как пушка с плазменным катодом требует формирования напряжения разряда и напряжения смещения на отражателе катодом. Все указанные напряжения формируются в блоке формирования пучка БФП, что делает эту структурную единицу важнейшей в системе электропитания установок.

При разработке системы управления была учтена возможность разделения управляющих сигналов на две категории: «медленные» и «быстрые». К категории медленных были отнесены сигналы управления ИВН, а также ВС, ПС и МС. Быстрые сигналы предназначены для управления БФП в режиме *on-line*. Основным элементом системы управления следует признать оператора ОП, непосредственно взаимодействующего с управляющим компьютером УК

путем задания на экране монитора соответствующих параметров и команд. Таким образом, осуществляется управление первого уровня. Цифровые команды и сигналы с управляющего компьютера подаются непосредственно на ИВН, ВС, ПС, МС. Аналогичный подход для сигналов управления БФП потребовал бы неоправданной загрузки процессора УК, в связи с чем был введен второй уровень управления, реализованный с использованием трех микроконтроллеров, представленных на структурной схеме общим элементом МК. Для связи между управляющим компьютером и МК используется последовательный канал связи (RS232/RS485). Микроконтроллеры распределены по выполняемым функциям. Первый управляет параметрами электронного пучка, второй контролирует систему отклонения и обработку сигнала вторичных электронов, третий управляет работой фокусирующей системы и натекателя газа в плазменную пушку. Обмен сигналами между микроконтроллерами осуществляется по шине CAN. Для отработки сигналов обратной связи, формируемых соответствующими датчиками, в микроконтроллерах использованы пропорциональные интегрально-дифференциальные регуляторы (ПИД). Разделение системы управления на два уровня позво-

лило реализовать переход от термокатодной пушки к плазменной и наоборот простым нажатием виртуальной кнопки на мониторе управляющего компьютера.

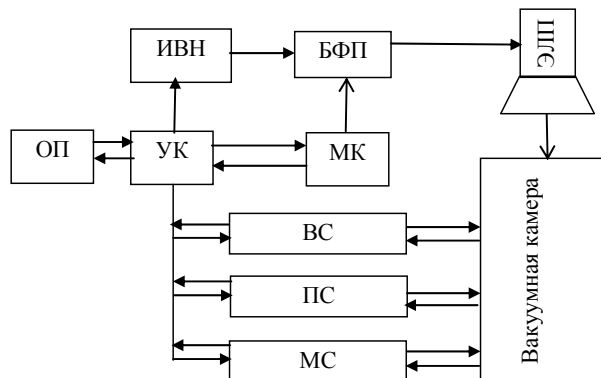


Рис. 1. Структурная схема управления электронно-лучевой установкой

### Органы отображения и управления

Изучение опыта эксплуатации разрабатываемого электронно-лучевого оборудования позволило оптимизировать количество регулируемых параметров и объем информации, выводимой на экран монитора управляющего компьютера (рис. 2).

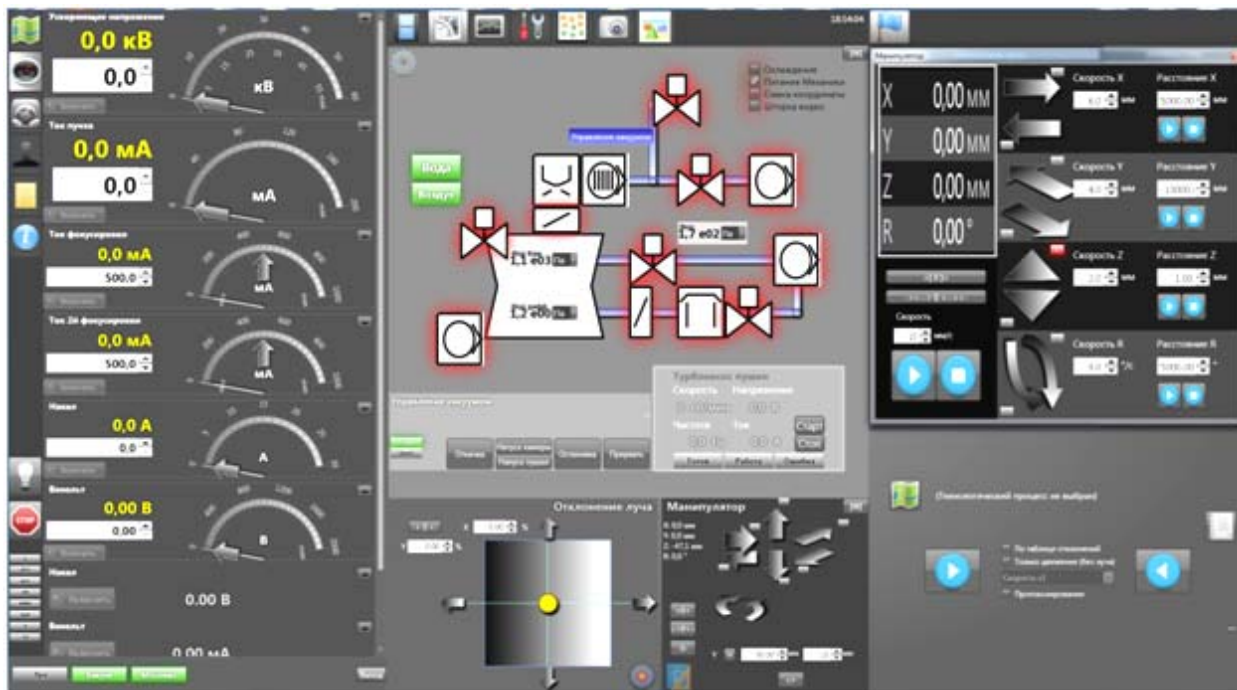


Рис. 2. Внешний вид интерфейса основного окна на экране жидкокристаллического дисплея

Размещение органов контроля и управления на экране отражает наличие в установках УЭЛС и УЭЛВ систем электропитания (левая часть экрана), вакуумной и пневматической систем (средняя часть) и механической системы – манипулятора (правая часть экрана). Чрезвычайно информативным и полезным оказался вывод на экран видеоизображения области взаимодействия электронного пучка с обрабатываемым изделием, полученного во вторичных

электронах (рис. 3). Обработка этого сигнала позволяет автоматизировать удержание электронного пучка на стыке свариваемых деталей, а также осуществлять визуализацию образования сварочной ванны в установке УЭЛС и расплавления подаваемой проволоки в УЭЛВ. Новшеством, позволяющим автоматизировать процессы электронно-лучевой сварки и послойного выращивания, является применение технологических карт, представляющих собой ком-

пьютерную программу, отлаженную на этапе отработки конкретной операции или их последовательности. Еще одно существенное преимущество разработанной системы управления состоит в возможности реализации удаленного доступа, а также в управлении несколькими установками с одного рабочего места оператора.

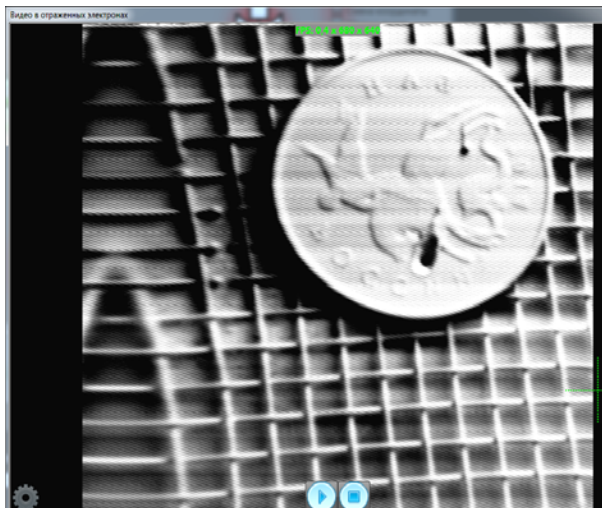


Рис. 3. Изображение объекта во вторичных электронах

### Заключение

Предложенный метод и средства управления и отображения информации обеспечивают автоматизированное управление и контроль при обслуживании электронно-лучевых установок одним оператором. Данные технические средства позволяют сохранять в памяти компьютера все параметры и ход протекания технологического процесса для формирования отчетов, а также предоставляют возможность записи процесса на видеокамеру.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР) – головном исполнителе НИОКТР, проводимой при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Договора № 02.G25.31.018.

### Литература

1. Шиллер З. Электронно-лучевая технология / З. Шиллер, У. Гайзиг, З. Панцер. – М.: Энергия, 1980. – 528 с.
2. Соколов Ю.А. Установка нового поколения для электронно-лучевой сварки // Технологии и оборудование электронно-лучевой сварки: матер. Первой Санкт-Петербур-

бургской междунар. науч.-техн. конф. – СПб.: ООО «Агентство «Вит-Принт», 2008. – С. 190–197.

3. Принципы управления процессом нанесения покрытия в электронно-лучевой установке / С.О. Бородин и др. // Вакуумная техника и технология. – 2007. – Т. 17, № 3. – С. 163–165.

4. Кисилевский Ф.Н. Объектно-ориентированное программирование систем управления технологическим процессом сварки / Ф.Н. Кисилевский., В.В. Долиненко // Автоматическая сварка. – 2001. – № 5. – С. 43–49.

5. Осипов И.В. Установки электронно-лучевой сварки производства ТЭТа / И.В. Осипов, А.Г. Рау, Г.В. Семенов // Сборник матер. и докладов междунар. конф. «Электронно-лучевая сварка и смежные технологии». – М.: МЭИ(ТУ), 2015. – С. 84–92.

6. Schultz H. Electron beam welding. – UK: Woodhead Publishing Ltd, 1993. – 272 p.

7. Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения. – Томск: Изд-во науч.-техн. лит., 2005. – 212 с.

### Бурачевский Юрий Александрович

Канд. физ.-мат. наук, доцент каф. физики ТУСУРа  
Тел.: +7-913-807-16-49  
Эл. почта: Yury\_BYA@mail.ru

### Бакеев Илья Юрьевич

Аспирант, мл. науч. сотрудник каф. физики ТУСУРа  
Тел.: +7-953-923-17-26  
Эл. почта: bakeeviyu@mail.ru

### Миллер Андрей Валерьевич

Вед. программист ООО «НПК ТЭТа», Томск  
Тел.: +7-913-818-60-23  
Эл. почта: miller@tetacom.ru

### Новгородов Роман Геворкович

Начальник отдела информационных технологий  
ООО «НПК ТЭТа»  
Тел.: +7-913-829-69-73  
Эл. почта: novgorodov@tetacom.ru

Burachevsky Y.A., Bakeev I.Yu.,  
Miller A.V., Novgorodov R.G.

### System to control electron-beam setup and information display

A description of the information control system package for electron-beam installation welding is given. The system allows control the electron beam welding and electron beam growing, both in automatic and manual mode. The technical solutions implemented in the described complex, allow a single operator to carry out control one or several units.

**Keywords:** electron-beam setup, display information, controls.