

СОВРЕМЕННЫЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СВАРЩИКОВ

Л. М. ЛОБАНОВ¹, Н. М. МАХЛИН², А. Е. КОРОТЫНСКИЙ¹, В. Е. ВОДОЛАЗСКИЙ², В. Ю. БУРЯК²

¹ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²ГП «НИЦ СКАЭ ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины». 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11.

E-mail: electro@paton.kiev.ua

В работе представлены результаты разработки технических средств полувиртуального типа для подготовки сварщиков и специалистов сварочного производства, выполненных в НИЦ СКАЭ совместно с ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины и ИПМЭ им. Г. Е. Пухова НАН Украины. Рассмотрен достигнутый к настоящему времени уровень развития технических средств обучения и аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства, позволяющий прогнозировать расширение областей применения современных информационных технологий, в том числе по воспроизведению смешанной реальности с максимальной адаптацией виртуального пространства к реальному сварочному оборудованию и обеспечивающих удаленный доступ телекоммуникационных систем. Показано, что упрощение подготовки и приближение ее к условиям реальных процессов сварки возможно применением нового поколения сварочных тренажеров, в которых широко используются современные информационные технологии. Библиогр. 15, рис. 3.

Ключевые слова: виртуальная реальность, информационные технологии, дуговые сварочные тренажеры, обучение, сварочное оборудование, аттестация сварщиков

Технические средства подготовки (тренажеры) могут быть классифицированы по способу сварки, условиям его реализации, степени имитации реального процесса и инструментов.

По степени имитации процесса сварки все технические средства подготовки можно подразделить на [1, 2]:

компьютерные тренажеры, в которых имитация зоны сварки и сварочной дуги осуществляется в виртуальном пространстве средствами машинной графики и синтеза изображений;

тренажеры, обеспечивающие имитацию процесса сварки малоамперной дугой без плавления электрода и образования сварочной ванны;

тренажеры с использованием элементов реального процесса сварки и сварочного оборудования.

В настоящее время на мировом рынке учебного оборудования и технических средств подготовки сварщиков представлены тренажеры всех трех типов.

Для компьютерных тренажеров (в основном, разработки и производства фирм из США, стран ЕС, Канады, Австралии, Японии), ярким примером которых может служить продукция компании «SOL-DAMATIC» (Испания), характерна максимальная степень использования виртуальных эффектов при имитации процесса сварки [3–8]. В тренажерах этого типа воспроизведение сварочной обстановки – зоны горения дуги, разделки кромок, шва и жидкой ванны – осуществляется путем их изображения на дисплее персонального компьютера (ПК) или на экране специального сварочного шлема со встроен-

ными очками виртуальной реальности. Однако компьютерным тренажерам присущ ряд недостатков, ограничивающих их возможности:

- отсутствие четкой взаимосвязи между параметрами процесса сварки, сварными соединениями и сварочными инструментами, которые средствами машинной графики могут быть отображены только условно;

- неизбежность использования системы специальных сенсоров и специальных сварочных шлемов или аналогичных устройств со встроенными очками виртуальной реальности, а также наличия коммуникаций, обеспечивающих их соединение с ПК или подобными процессорами, что создает определенные неудобства для обучаемых и ограничивает возможности их перемещения в пространстве;

- необходимость в подготовительных операциях по установке пределов отклонений от нормативных значений параметров процесса сварки;

- необходимость последующей адаптации к реальным сварочным инструментам и процессам;

- затруднения в процессе выработки у обучаемых, не имеющих первоначальной подготовки, необходимых профессиональных психомоторных навыков;

- высокая стоимость (от € 7000).

По мнению многих специалистов наиболее широкими функциональными и дидактическими возможностями характеризуются тренажеры второго и третьего типов, обеспечивающих приближение процесса обучения к условиям реального

процесса сварки, малоамперные и дуговые тренажеры сварщика [1, 9].

Основной особенностью малоамперных дуговых тренажеров является максимальное приближение имитируемого процесса сварки к реальному благодаря существованию малоамперной дуги, ток которой составляет 4...6 А, а мощность не превышает 250 В·А, вследствие чего в имитаторе свариваемого изделия образуется зона термического влияния без плавления основного и электродного металлов.

Малоамперные дуговые тренажеры представляют собой аппаратно-программные комплексы, в которых предусмотрено непосредственное измерение и оценивание с помощью ПК таких непрерывно изменяющихся во времени параметров процесса сварки, как ток, напряжение и длина дуги, скорость сварки, углы наклона имитатора электрода сварочного инструмента относительно имитатора свариваемого изделия. Непосредственные измерения в малоамперных дуговых тренажерах выполняются с помощью системы входящих в их состав датчиков различной физической природы. Пропорциональные параметрам процесса сварки сигналы с информационных выходов этих датчиков поступают на входы многоканального согласующего модуля тренажера, осуществляющего частотную коррекцию и приведение в соответствие уровней входных сигналов диапазону входных напряжений аналого-цифрового преобразователя (АЦП). С выходов каналов согласующего модуля нормализованные аналоговые сигналы подаются на входы многоканального АЦП, обеспечивающего преобразование входных аналоговых сигналов в цифровой код, подаваемый на шину данных ПК для дальнейшей обработки и анализа.

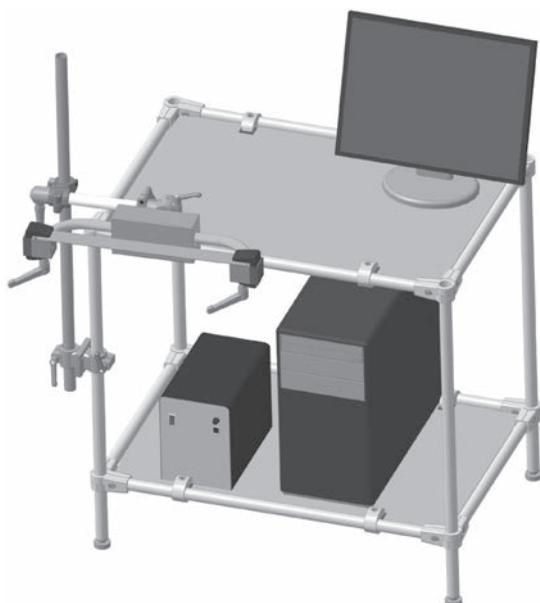


Рис. 1. Упрощенный общий вид тренажера МДТС-05М1 модификации ОБЦ 650 УХЛ4.2

Результатом непосредственной обработки поступивших в ПК сигналов является информация (отображаемая в числовом, графическом или табличном виде) о текущих значениях протекающих в сварочном контуре и составляющих его цепях токов, напряжения дуги, длины дугового промежутка, углов наклона электрода имитатора сварочного инструмента. Математическая обработка поступивших в ПК данных позволяет также получить информацию о текущих значениях скорости сварки, эффективной тепловой мощности дуги и погонной энергии. Полученные в результате обработки поступивших в ПК данных текущие значения параметров сварки сравниваются с их граничными значениями, заданными перед началом сеанса обучения. В случае выхода текущего значения контролируемого параметра за регламентированные учебным заданием области ПК автоматически вырабатывает звуковые речевые сигналы обратной связи с обучаемым, воспроизводимые с помощью аудиосредств, например, головных телефонов.

Среди известных образцов и моделей малоамперных дуговых тренажеров сварщика в настоящее время наиболее широкие функциональные, технологические и дидактические возможности имеет разработанный и изготавливаемый в НИЦ СКАЭ малоамперный дуговой тренажер сварщика МДТС-05М1, позволяющий моделировать и имитировать процессы ручной дуговой сварки покрытыми электродами (ММА), сварки неплавящимся электродом (TIG) и сварки плавящимся электродом (MIG/MAG). Несколько упрощенный общий вид тренажера МДТС-05М1 модификации ОБЦ 650 УХЛ4.2 приведен на рис. 1, а основные параметры тренажера МДТС-05М1 приведены ниже.

Основные параметры тренажера МДТС-05М1

Ток сварочной дуги, А	4,5±0,3
Напряжение холостого хода, В, не более.....	65
Число информационных каналов блока технологического интерфейса БТИ-05М1 ОБЦ 650.05.00.000	6
Разрядность встроенного в блок технологического интерфейса БТИ-05М1 ОБЦ650.05.00.000 аналого-цифрового преобразователя, бит, не менее.....	11
Контролируемые и задаваемые параметры режима сварки:	
скорость сварки (скорость перемещения электрода), мм/с.....	2...12
длина дугового промежутка:	
в режиме имитации сварки плавящимся электродом, мм	1...6
в режиме имитации сварки неплавящимся электродом, мм	0,5...4,0
углы наклона электрода поперек и вдоль шва, град	±85
погонная энергия, Дж/мм	11...50
напряжение дуги, В.....	20...45
средняя скорость движения электрода при ручной дуговой сварке (в режиме имитации плавления электрода), мм/с	4,0±1,0
темп подачи присадочной проволоки в зону сварки	

(сварочной дуги), мин ⁻¹	10...20
длительность сеанса обучения, с.....	90, 180, 240, 360
Номинальное напряжение питающей однофазной сети переменного тока частотой 50 Гц, В.....	220
Потребляемая электрическая мощность (без учета мощности, потребляемой компьютером и его периферийными устройствами), кВт·А, не более.....	0,35

Тренажер МДТС-05М1 обеспечивает возможность освоения навыков возбуждения дуги и поддержания ее в технологически обоснованном диапазоне длины, равномерного перемещения дуги по заданной траектории, а также поддержания угла наклона электрода к свариваемой поверхности, обеспечения регламентированного теплового режима сварочной ванны. При TIG-сварке возможно дополнительное освоение техники подачи присадочного материала в сварочную ванну.

Важной составной частью программного обеспечения (ПО) тренажера МДТС-05М1 является учебно-методическая документация (УМД), включающая программу обучения, тестовую программу, библиотеку теоретического материала по реализуемым процессам сварки и библиотеку справочных данных, содержащую типы и размеры характерных сварных соединений, а также виды основных дефектов в этих соединениях.

Технические решения, возможности аппаратной части, информационные ресурсы и построение, в том числе методическое, ПО тренажера МДТС-05М1 обусловили его широкое применение как технического средства обучения персонала сварочного производства в учебных заведениях профессионального образования и учебных центрах подготовки и повышения квалификации сварщиков Украины, России, Казахстана, Македонии, Беларуси и других стран. Только в России в эксплуатации находятся более 1200 тренажеров данного типа, при этом в ряде образовательных заведений, учебных и аттестационных центров РФ на базе тренажеров МДТС-05М1 созданы целые тренажерные классы и лаборатории для подготовки сварщиков MMA-, TIG- и MIG/MAG-сварки. Опыт применения тренажера МДТС-05М1 подтверждает его высокую эксплуатационную надежность, экономичность и эф-

фективность как для профессионального отбора и начальной профессиональной подготовки сварщиков, так и для повышения их квалификации, производственного тренажа и тестирования, а в ряде случаев — и для допускового контроля.

Традиционный подход к обучению сварщиков с использованием реальных процессов сварки связан со значительным расходом металла, сварочных материалов и электроэнергии. Интенсифицировать и качественно усовершенствовать процесс обучения навыкам и умениям с одновременным сокращением операционных издержек возможно только с применением аппаратно-программных средств высокого научно-технического уровня, обеспечивающих совмещение действительной и виртуальной реальности. В наибольшей степени такому подходу соответствует разработанный и изготавливаемый в НИЦ СКАЭ и не имеющий аналогов тренажер сварщика дуговой сварки ТСДС-06М1.

Тренажер ТСДС – 06М1 обеспечивает:

- масштабное воспроизведение реальных процессов дуговой сварки;
- измерение мгновенных и усредненных значений параметров процессов со сравнением возможных отклонений от заданных или нормативных значений в динамике;
- компьютерную регистрацию и обработку полученной информации, ее документирование, хранение и воспроизведение в цифровом, графическом или табличном виде;
- осуществление обратной связи с обучаемым (тестируемым);
- автоматическое и однозначное оценивание действий и навыков обучаемого или тестируемого сварщика при реализации процессов сварки.

По структурному построению тренажер ТСДС-06М1 во многом схож с тренажером МДТС-05М1, однако отличается от последнего количеством и параметрами датчиков измерительной системы и схемно-конструктивными решениями. Общий вид тренажера ТСДС-06М1 показан на рис. 2, а его основные параметры приведены ниже.

Основные параметры тренажера сварщика дуговой сварки ТСДС-06М1

Номинальный сварочный ток модуля энергетического, А	300
Продолжительность нагрузки (ПН) при номинальном сварочном токе и длительности цикла $T_{ц} = 5$ мин, %.....	60
Напряжение холостого хода, В, не более.....	65
Напряжение питающей однофазной сети частотой 50/60 Гц, В	220±33
Контролируемые и задаваемые параметры:	
сварочный ток (установочно, с точностью ±5А):	
при MMA-сварке, А	80, 100, 120, 140, 160, 180
при TIG-сварке, А	80, 100, 120, 140
при MAG-сварке, А.....	125±10
напряжение дуги:	
при MMA-сварке, В	21...28

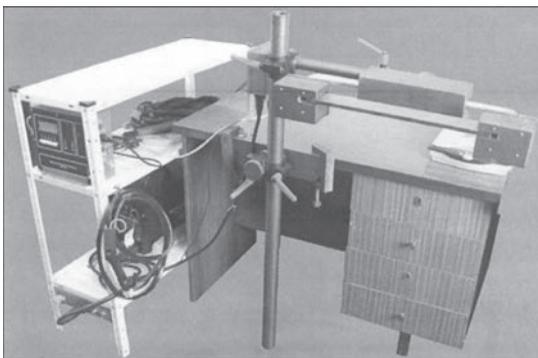


Рис. 2. Общий вид тренажера ТСДС-06М1

при TIG-сварке, В.....	9...16
при MAG-сварке, В.....	20...22
длина дугового промежутка:	
при MMA-сварке, мм.....	2...5
при TIG-сварке, мм.....	0,5...4,0
скорость подачи электродной проволоки при	
MAG-сварке, мм/с (м/ч).....	2,92...3,33 (105...120)
углы наклона электрода сварочного инструмента	
(в нижнем и потолочном положениях сварного образ-	
ца), град.....	
±(45±5)	
скорость сварки:	
при MMA-сварке, мм/с (м/ч).....	1...5 (3,6...18,0)
при TIG-сварке, мм/с (м/ч).....	0,5...2,5 (1,8...9,0)
при MAG-сварке, мм/с (м/ч).....	4,0...5,5 (15,0...20,0)
погонная энергия:	
при MMA-сварке, Дж/мм.....	70...410
при TIG-сварке, Дж/мм.....	60...300
при MAG-сварке, Дж/мм.....	80...120
расход инертного газа (аргона) при TIG-сварке,	
л/мин.....	5,5...12,0
длительность сеанса обучения (тестирования), с.....	
90, 180,	
240, 360	
Электрическая мощность, потребляемая модулем	
энергетическим, кВт·А, не более.....	5,0
Количество информационных каналов блока техно-	
логического интерфейса БТИ-06М (ОБЦ 611М.05.00.000).....	8
Разрядность каждого канала встроенного в блок техно-	
логического интерфейса БТИ-06М (ОБЦ 611М.05.00.000)	
аналого-цифрового преобразователя, бит, не менее.....	12
Потребляемая электрическая мощность (без учета	
мощности, потребляемой модулем энергетическим,	
компьютером и его периферийными устройствами),	
кВт·А, не более.....	0,50

В состав тренажерного комплекса ТСДС-06М1 входят энергетический модуль питания дуги, блок технологического интерфейса, позиционер, ПК с периферийными устройствами, комплект сварочных инструментов, защитная маска со светофильтром, комплект сварочных образцов, головные телефоны (наушники), стеллаж облегченной конструкции для размещения в нем энергетического модуля питания дуги, блока технологического интерфейса и принадлежностей тренажера, а также специализированное ПО. В качестве энергетического модуля питания дуги могут быть использованы с небольшими доработками стандартные, специализированные или универсальные сварочные источники питания преимущественно инверторного типа. Позиционер тренажера ТСДС-06М1 обеспечивает закрепление сварочного образца в токоподводах позиционера; возможность установки сварочного образца в различные пространственные положения; реализацию специальной схемы подключения сварочного образца к одному из полюсов сварочного источника питания; формирование сигналов, пропорциональных протекающим в сварочном образце токам; возможность калибровки контура измерений токов, протекающих в сварочном образце. В комплект сварочных инструментов тренажера ТСДС-06М1 входят

ручные инструменты сварщика на основе широко распространенных стандартных электрододержателя для MMA-сварки, горелки для TIG-сварки и горелки для MIG/MAG-сварки. Сварочные инструменты оснащены трехкоординатным датчиком угловых положений электрода относительно вектора гравитации. Комплект сварочных образцов тренажера ТСДС-06М1 содержит пластинчатые образцы для выполнения стыковых и угловых швов, а также неповоротных стыков труб и других тел вращения. Форма и геометрические размеры сварочных образцов обеспечивают их многогранное использование при обучении, тестировании, допуском контроле или предаттестационной подготовке. Эти же образцы могут быть использованы и для процедуры аттестации сварщиков.

ПО тренажерного комплекса ТСДС-06М1, как и ПО тренажера МДТС-05М1, выполнено на платформе LabVIEW, что обеспечивает возможность:

- ввода исходных данных сварки в диалоговом режиме;
- отображения на дисплее ПК контролируемых параметров;
- осуществления обратной связи с обучаемым (тестируемым) путем автоматической подачи речевых сигналов («подсказок»);
- контроля процесса сварки в целом и по отдельным параметрам;
- проведения статистической обработки результатов сеанса тренажа, тестирования, допускового контроля или аттестационных испытаний;
- получения оценки уровня навыков техники сварки и качества работ за счет наличия элементов экспертной системы;
- документирования результатов сеанса обучения (тестирования, допускового контроля или аттестационных испытаний);
- передачи текущей информации в режиме «on-line» по каналам стандартных информационных систем и сетей (например, сети Интернет);
- дистанционного установления требований к тестированию, допусковому контролю или аттестационным испытаниям.

В состав ПО тренажера ТСДС-06М1 входят программы обучения, тестирования и допускового контроля сварщиков и соответствующая УМД, которая адресована не только сварщикам, непосредственно выполняющим сварочные работы, но и другим специалистам сварочного производства. При необходимости ПО тренажера ТСДС-06М1 может быть дополнено и программой аттестации сварщиков дуговой сварки.

Учебная программа (программа обучения) построена на основе репродуктивного метода, имеет иерархическую структуру и представляет собой двухуровневую систему практических занятий.

Основной целью занятий первого, локального, уровня является достижение обучаемым стабильных результатов по формированию отдельных навыков ведения реальных процессов MMA-, TIG- и MIG/MAG-сварки, причем эти результаты должны соответствовать предварительно заданным значениям параметров сварочного процесса и техники сварки. Цель второго, комплексного, уровня занятий — достижение и поддержание совокупности сформировавшихся на локальном уровне навыков и умений, обеспечивающей стабильную повторяемость выполнения реальных процессов сварки в целом с заданным уровнем качества.

Следует подчеркнуть, что автоматическое определение координат пятна сварочной дуги и фактической скорости сварки при овладении навыками поддержания в заданных пределах скорости сварки (скорости перемещения электрода) являются одними из наиболее существенных составляющих профессиональной подготовки сварщиков. Обеспечение достоверного контроля этих составляющих представляет собой одну из сложных и все еще недостаточно решенных задач при построении дуговых тренажерных сварочных систем (ТСС). И хотя существует ряд способов оценки скорости ручной сварки и устройств для их реализации [2, 10, 11], однако множественные попытки применить эти способы в силу их технических или экономических аспектов не привели к желаемому результату, соответствующему требованиям к современным ТСС. Это обусловило проведение в ИЭС им. Е. О. Патона совместно с НИЦ СКАЭ исследований, теоретических и экспериментальных работ по поиску простых в реализации, недорогих и удовлетворяющих по точности способов определения координат перемещающейся дуги и оценивания скорости сварки, а также принципов построения устройств для осуществления таких способов. В результате упомянутых исследований и работ был разработан сравнительно легко осуществимый резистометрический способ определения координат перемещающейся дуги и оценивания скорости сварки, а также устройства для его реализации [12, 13]. В основу этого способа положен разработанный В. В. Васильевым и Л. А. Симак в ИПМЭ им. Г. Е. Пухова метод определения координат измерительного зонда в проводящей среде [14, 15], развитый в ИЭС им. Е. О. Патона и НИЦ СКАЭ для дуговых ТСС применительно к перемещающемуся пятну сварочной дуги или ее имитатора. Учитывая преимущества резистометрического способа определения линейной координаты пятна сварочной дуги и измерения скорости сварки, этот способ и цифровые устройства для его реализации успешно использованы во всех современных аппаратно-программных тренажерных комплексах (сва-

рочных тренажерах) серий МДТС и ТСДС и широко представленных в Украине и в ряде стран ближнего и дальнего зарубежья.

Поскольку тренажерные комплексы МДТС-05М1 и ТСДС-06М1 полностью совместимы с современными цифровыми каналами и системами передачи, хранения, приема и воспроизведения информации (включая Интернет), то появляется возможность осуществления на их основе не только дистанционного обучения сварщиков (в том числе с использованием реальных процессов сварки), но и дистанционного тестирования, аттестации и сертификации персонала сварочного производства. Такие возможности единого информационного пространства позволят международным и национальным центрам сертификации персонала не только фиксировать протоколы тестирования, допускового контроля и аттестации, но и контролировать их проведение, соответствие знаний и умений обучаемых (тестируемых) национальным и международным требованиям. Одновременно за счет пополнения УМД нормами международных образовательных стандартов и правил упрощается учет их специфики при предаттестационной подготовке. При этом непосредственно процедуры тестирования, допускового контроля и аттестации персонала можно выполнять в учебных или аттестационных центрах, находящихся на значительных (практически любых) расстояниях от сертификационных центров, выдающих разрешительные документы.

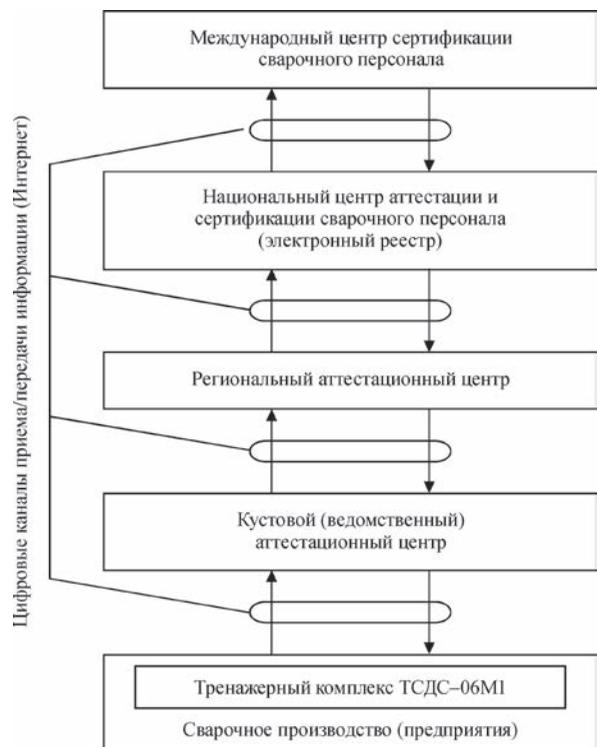


Рис. 3. Структурная схема системы дистанционной аттестации и сертификации сварочного персонала (с использованием тренажера ТСДС-06М1)

Схема системы дистанционной аттестации и сертификации сварочного персонала приведена на рис. 3.

Необходимо особо отметить, что модернизация существующих тренажерных систем и дальнейшее развитие дополнительных средств обучения сварщиков и специалистов сварочного производства возможны лишь на основе анализа и обобщения практического опыта применения таких технических средств обучения и аттестации в заведениях и учреждениях профессионального образования всех уровней, учебных и аттестационных центрах, а также непосредственно на производстве.

Накопленный опыт практического применения информационных технологий и разработанных в последние десятилетия технических средств в обучении, повышении квалификации и аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства создает благоприятные предпосылки решения насущных задач подготовки соответствующего современным требованиям сварочного персонала в странах СНГ и в других странах.

Выводы

1. Дуговые аппаратно-программные комплексы (сварочные тренажеры) с использованием информационных технологий, созданные в ИЭС им. Е. О. Патона совместно с НИЦ СКАЭ, обеспечивают расширение технологических и дидактических возможностей современных технических средств подготовки сварщиков и специалистов сварочного производства, интенсификацию и упрощение процесса обучения и его приближение к условиям реальных процессов сварки.

2. Достигнутый к настоящему времени уровень развития технических средств профессионального отбора, обучения, повышения квалификации, тестирования, допускного контроля и аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства позволяет прогнозировать расширение областей применения современных информационных технологий, в том числе по воспроизведению смешанной реальности с максимальной адаптацией виртуального пространства к реальному сварочному оборудованию, а также применение телекоммуникационных систем, обеспечивающих удаленный доступ через глобальные сети.

3. При создании сварочных тренажеров нового поколения опережающее развитие будут получать технологии виртуальной реальности, совмещенные с реальным сварочным оборудованием, реальными сварочными инструментами и имитаторами свариваемых изделий, позволяющие создавать практически любую учебную обстановку с поддержкой режима реального времени и эффективной системой оценки действий обучаемых,

при этом представляется, что в сварочных тренажерах нового поколения найдут широкое применение микропроцессорные устройства и системы, а также цифровые системы технического зрения.

В заключение авторы считают необходимым отметить, что в разработке и внедрении аппаратно-программных комплексов (сварочных тренажеров) МДТС-05М1 и ТСДС-06М1 приняли участие В. Л. Кобрянский, А. Г. Скирта, И. В. Вертецкая, М. И. Скопюк, А. Ф. Мужиченко, А. Г. Сипаренко, В. А. Богдановский, В. М. Гавва, А. Д. Чередник, В. Е. Попов, Д. С. Олияненко, А. А. Муха, С. Ф. Тархов, В. А. Федотов, а в освоении промышленного изготовления этих тренажеров А. А. Свириденко, Н. М. Пасичный, В. Н. Андрейченко, В. Е. Иванов, А. У. Мнухин, В. П. Тищенко, Г. И. Писарев, А. В. Науменко.

Список литературы

1. Патон Б. Е., Коротынский А. Е., Богдановский В. А. и др. (2010) Информационные технологии при подготовке сварщиков и специалистов сварочного производства: методология и технические средства. *Сварка и Диагностика*, **3**, 37–44.
2. Васильев В. В., Симак Л. А., Богдановский В. А. и др. (2003) *Имитационное моделирование и тренажерно-обучающие системы в электросварке*. Киев, НАН Украины.
3. Koboyashi K., Kato H., Shimamoto S. (2004) Modified training system for manual arc welding by using mixed reality and investigation of its effectiveness. *Journal of the Japan society for precision engineering*, **70**, **7**, 941–945.
4. Heston T. (2008) Virtually welding: a tour of welding simulators that could help the manufacturing word rethink welding training. *Fabricator*, **38**, **3**, 56–59.
5. Porter N., Cote J., Gifford T., Lam W. (2006) Virtual reality welder training. *Journal of ship production*, **22**, **3**, 126–138.
6. Hasimoto N., Kato H., Ikehara R. (2006) Training system for manual arc welding by using mixed reality – reduction of position – perception error of electrode tip. *Journal of the Japan society for precision engineering*, **72**, **2**, 249–253.
7. *Product description Fronius virtual welding* (www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-BFA25696-036863A3/fronius_international/hs.xsl/79_15490_ENG_HTML.htm).
8. (2018) Компания Fronius – новатор внедрения цифровых и коммуникационных технологий. *Автоматическая сварка*, **2**, 59–61.
9. Кайтель С., Аренс С., Молл Х. (2014) Использование компьютерных технологий в обучении сварщиков. *Там же*, **1**, 54–58.
10. Даниляк С. Н. (1990) Вопросы построения измерительных преобразователей контроля теплосодержания сварочной ванны и скорости сварки для сварочных тренажеров. *Моделирование в тренажерных системах*. Киев, Наукова думка, сс. 111–118.
11. Бигдаш В. Д. (1990) Устройства контроля скорости сварки в тренажерных сварочных системах. *Моделирование в тренажерных системах*. Киев, Наукова думка, сс. 143–150.
12. Патон Б. Е., Коротынский О. Е., Богдановский В. О., Гавва В. М., Махлин Н. М., Бурак В. Ю., Чередник А. Д. (2009) *Спосіб оцінювання параметрів руху зварювальної дуги в дугових тренажерних системах*. Україна, Пат. 86609.
13. Лобанов Л. М., Махлин Н. М., Коротынский А. Е. и др. (2018) Резистометрический способ измерения скорости сварки для тренажерных сварочных систем. *Автоматическая сварка*, **1**, 15–21.
14. Васильев В. В., Грездов Г. И., Симак Л. А. и др. (2002) *Моделирование динамических систем. Аспекты монито-*

ринга и обработки сигналов. Васильев В. В. (ред.). Киев, НАН Украины.

15. Симак Л. А. (1984) Метод автоматического определения координат зонда в проводящей среде на основе дифференциальных преобразований. *Электронное моделирование*, **6**, 90–91.

References

1. Paton, B.E., Korotynsky, A.E., Bogdanovsky, V.A. et al. (2010) Information technologies in education of welders and specialists of welding production: Methodology and technical means. *Svarka i Diagnostika*, **3**, 37-44 [in Russian].
2. Vasiliev, V.V., Simak, L.A., Bogdanovsky, V.A. et al. (2003) *Simulation modeling and training-education systems in electric welding*. Kiev, NASU [in Russian].
3. Koboyashi, K., Kato, H., Shimamoto, S. (2004) Modified training system for manual arc welding by using mixed reality and investigation of its effectiveness. *J. Japan Society for Precision Engineering*, **70(7)**, 941-945.
4. Heston, T. (2008) Virtually welding: A tour of welding simulators that could help the manufacturing world rethink welding training. *Fabricator*, **38(3)**, 56-59.
5. Porter, N., Cote, J., Gifford, T., Lam, W. (2006) Virtual reality welded training. *J. of Ship Production*, **22(3)**, 126-138.
6. Hasimoto, N., Kato, H., Ikehara, R. (2006) Training system for manual arc welding by using mixed reality – reduction of position – perception error of electrode tip. *J. Japan Society for Precision Engineering*, **72(2)**, 249-253.
7. *Product description Fronius virtual welding*. www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-BFA25696-036863A3/fronius_international/hs.xml/79_15490_ENG_HTML.htm.
8. (2018) Fronius Company as a pioneer of implementation of digital and communication technologies. *Avtomatich. Svarka*, **2**, 59-61.
9. Keitel, S., Ahrens, C., Moll, H. (2014) Computer-based technologies and their influence on welding education. *Ibid.*, **1**, 51-55.
10. Danilyak, S.N. (1990) Problems of design of measuring transducers for control of heat content of welding pool and speed of welding simulators. *Modeling in simulating systems*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
11. Bigdash, V.D. (1990) Devices of welding rate control in welding simulating systems. *Modeling in simulator systems*. Kiev, Naukova Dumka, 143-150 [in Russian].
12. Paton, B.E., Korotynsky, O.E., Bogdanovsky, V.O. et al. (2009) *Method of evaluation of welding arc movements parameters in arc simulating systems*. Pat. 86609, Ukraine [in Ukrainian].
13. Lobanov, L.M., Makhlin, N.M., Korotynsky, A.E. et al. (2018) Resistometric method of welding speed measurement for simulating welding systems. *The Paton Welding J.*, **1**, 8-13.
14. Vasiliev, V.V., Grezdov, G.I., Simak, L.A. et al. (2002) Modeling of dynamic systems: *Aspects of monitoring and signal processing*. Ed. by V.V. Vasiliev. Kyiv, NASU [in Russian].
15. Simak, L.A. (1984) Method of automatic determination of probe coordinates in conducting medium on the base of differential transformations. *Elektronnoe Modelirovanie*, **6**, 90-91 [in Russian].

Л. М. Лобанов¹, Н. М. Махлін², О. С. Коротинський¹,
В. С. Водолазький², В. Ю. Буряк²

¹ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.

03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11.

E-mail: office@paton.kiev.ua

²ДП «НДЦ ЗКАЕ ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України».

03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11.

E-mail: electro@paton.kiev.ua

СУЧАСНІ АПАРАТНО-ПРОГРАМНІ КОМПЛЕКСИ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ЗВАРЮВАЛЬНИКІВ

В роботі представлені результати розробки технічних засобів напіввіртуального типу для підготовки зварювальників і фахівців зварювального виробництва, виконаних в НДЦ ЗКАЕ спільно з ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України та ІПМЕ ім. Г. С. Пухова НАН України. Розглянуто досягнутий до теперішнього часу рівень розвитку технічних засобів навчання та атестації зварювальників і фахівців зварювального виробництва, що дозволяє прогнозувати розширення областей застосування сучасних інформаційних технологій, в тому числі по відтворенню змішаної реальності з максимальною адаптацією віртуального простору до реального зварювального обладнання та забезпечують віддалений доступ телекомунікаційних систем. Показано, що спрощення підготовки та наближення її до умов реальних процесів зварювання можливо застосуванням нового покоління зварювальних тренажерів, в яких широко використовуються сучасні інформаційні технології. Бібліогр. 15, рис. 3.

Ключові слова: віртуальна реальність, інформаційні технології, дугові зварювальні тренажери, навчання, зварювальне обладнання, атестація зварювальників

L.M. Lobanov¹, N.M. Makhlin¹, A.E. Korotynsky¹,
V.E. Vodolazsky¹, V.Yu. Buryak¹

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.
11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

²SE «Scientific and engineering center of welding and control in the field of nuclear energy of Ukraine»
of the E.O. Paton Electric Welding Institute
of the NAS of Ukraine.

11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: electro@paton.kiev.ua

MODERN HARDWARE-SOFTWARE COMPLEXES FOR TRAINING OF WELDERS

The article presents the results of development of technical means of semi-virtual type for training welders and welding production specialists at the SE Scientific and engineering center of welding and control in the field of nuclear energy in cooperation with the E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine and the G.E. Pukhov IPME of the NAS of Ukraine. The level of development of technical means for training and certification of welders and welding production specialists was considered, which allows predicting the expansion in the fields of application of modern information technologies, including those reproducing the mixed reality with the maximum adaptation of virtual space to real welding equipment and providing the remote access of telecommunication systems. It was shown that simplification of training and its approximation to the conditions of real welding processes is possible using a new generation of welding simulators, in which modern information technologies are widely applied. 15 Ref., 3 Fig.

Keywords: virtual reality, information technologies, arc welding simulators, training, welding equipment, certification of welders

Поступила в редакцію 20.03.2018