

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОЙ СВАРКИ

ЮЙХУЭЙ ЯО¹, С. И. ПЕЛЕШЕНКО¹, В. Н. КОРЖИК², В. Ю. ХАСКИН², В. В. КВАСНИЦКИЙ³

¹Компания «Вэйхань наука и технология». 518071, Китай, Гуанчжоу, Шеньжен, авеню Хуан 1001, строение А4

²ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

³НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского». 03056, г. Киев, пр-т Победы, 37.

Одним из эффективных путей решения проблемы нехватки высококвалифицированных сварщиков является использование виртуальных систем сварки для их обучения. Такие системы базируются на искусственном интеллекте, заложенном в основу компьютеризированного тренажера, снабженного адаптированным под задачи обучения интерфейсом. Уже сейчас такие системы расширяют возможности обучения за счет увеличения количества моделируемых сварочных технологий и методов сварки. Можно ожидать, что в будущем они помогут различным учреждениям значительно уменьшить себестоимость обучения специалистов. Целью работы являлось создание искусственного интеллекта для обучения сварщиков, позволяющего разработать виртуальную систему обучения сварке в реальном времени с функциями прогнозирования и моделирования морфологии, а также интеллектуальной оценкой качества сварного шва. В результате выполнения работы была создана система искусственного интеллекта для сети сварочных тренажеров V60, обладающая следующими достоинствами: возможностью моделирования реалистичного внешнего вида и качества сварного шва; возможностью моделирования напряженно-деформированного состояния сваренных деталей и температурных полей в режиме реального времени; базой данных для моделирования большого количества сварочных технологий и применяемых материалов; возможностью моделирования процессов 3D-печати; наличием системы виртуального тестирования и анализа качества сварных деталей; системой сертификации; развлекательным модулем; доступом к кафедре экспертов; высокой экономической целесообразностью. Установлено, что качество имитации сварочных процессов виртуальным тренажером зависит от скорости графической составляющей и тем выше, чем выше уровни учета теплового влияния сварочного источника на нагрев свариваемого образца и возникающего напряженно-деформированного состояния. Библиогр. 13, табл. 1, рис. 10.

Ключевые слова: сварочный тренажер, ручная дуговая сварка, сварка дугой с неплавящимся электродом, сварка дугой с плавящимся электродом, искусственный интеллект, виртуальная сварка

Как отмечают ведущие специалисты-сварщики различных стран мира, вопросам обучения и повышения квалификации рабочих-сварщиков следует уделять постоянное внимание [1]. Также важным моментом является правильная организация сварочных работ и соблюдение соответствующих норм охраны труда на промышленных предприятиях. В последнее время работы в этих направлениях велись в недостаточном объеме как в Украине, так и в некоторых других странах мира, в том числе в Китае. Это привело к снижению количества подготовленных рабочих-сварщиков, а также к падению заинтересованности таких рабочих в трудоустройстве по специальности. Так, вице-президент одной из компаний, расположенных в зоне дельты реки Янцзы, отмечает: «Мы столкнулись с очень большой проблемой. Мы не можем найти высококвалифицированных сварщиков, которые согласились бы работать за 280000 юаней (\$40000) в год». В городе Ухань (КНР) наблюдается катастрофическая нехватка высококвалифицированных сварщиков.

Проблему решения нехватки высококвалифицированных сварщиков в Китае пытаются решить различными путями. Так, для реализации проекта по строительству скоростных железных дорог китайское правительство отправило лучших китайских сварщиков на курсы повышения квалификации в Германию. Расходы на такое обучение достигли 1 млн евро. Обычной практикой для Китая является обучение сварщиков на курсах внутри страны. Но и в этом случае тратятся десятки миллионов. Однако данная проблема носит не только экономический характер. К социальному аспекту проблемы нехватки сварщиков относятся предрассудки, связанные с этой профессией. Сюда относятся убеждения о связанном с профессией низком социальном статусе, плохих условиях труда, не высокой заработной плате. Все это приводит к нежеланию молодых людей учиться сварочному делу. К техническим проблемам, снижающим популярность профессии, относятся: высокий уровень загрязнения рабочего места (пыль, брызги и др.) и профессиональные риски. Имеют-

ся и проблемы, непосредственно связанные с обучением персонала: сложности реализации учебного процесса и оценки обученных специалистов, потребление больших количеств расходных сварочных материалов и энергоносителей, выделение учебного времени и оборудования и др.

Одним из эффективных путей решения проблемы нехватки высококвалифицированных сварщиков является использование виртуальных систем сварки для их обучения. Такие системы базируются на искусственном интеллекте, заложенном в основу компьютеризированного тренажера, снабженного адаптированным под задачи обучения интерфейсом. Международный институт сварки уже начал применять такие системы для обучения сварщиков [2]. Уже сейчас такие системы расширяют возможности обучения за счет увеличения количества моделируемых сварочных технологий и методов сварки. Можно ожидать, что в будущем они помогут различным учреждениям значительно уменьшить себестоимость обучения специалистов.

Целью данной работы является создание искусственного интеллекта для обучения сварщиков, позволяющего разработать виртуальную систему обучения сварке в реальном времени с функциями прогнозирования и моделирования морфологии, а также интеллектуальной оценкой качества сварного шва. Для достижения данной цели решались следующие задачи:

1. Анализ существующих виртуальных сварочных тренажеров, определение их достоинств и недостатков.

2. Виртуальное моделирование в реальном времени различных процессов сварки соединений разных типов для определенного набора свариваемых материалов, включающее моделирование сварочной ванны, разбрызгивания металла из нее, возникающих тепловых полей, прогнозирования формирования шва, а также отображение рабочих параметров сварочных процессов и оценка качества сварных изделий.

3. Разработка пользовательского интерфейса для использования очков (шлема) виртуальной реальности, различных видов сварочного инструмента и рабочей платформы с закрепленными деталями.

4. Создание и испытание виртуального сварочного тренажера с системой искусственного интеллекта, сравнение с существующими аналогами.

Разработки в области виртуальных систем сварки ведутся с начала 1980-х годов. Так, разработанный в 1981 г. ИЭС им. Е. О. Патона совместно с ИПМЭ им. Г. Е. Пухова НАН Украины дисплейный тренажер ЭТС впервые позволил оценить на практике перспективность использова-

ния информационных технологий при подготовке сварщиков [3] и послужил прообразом целой гаммы тренажеров, разработанных впоследствии. В сотрудничестве с ИЭС им. Е.О. Патона развитие систем сварочного тренинга продолжил SLV Halle (Германия) и, как первый европейский институт, предложил полезный в обучении сварочный тренажер [4]. В начале 2000-х годов в развитии и усовершенствовании технических средств подготовки сварочного персонала (сварочных тренажеров) четко выделились две тенденции — создание глубоко виртуальных и полувиртуальных систем [5]. Последние в то время были признаны наиболее приближенными к реальным процессам сварки, позволяющими эффективно вырабатывать, совершенствовать и закреплять необходимые стойкие психомоторные навыки сварщиков. На сегодня более корректно разделять существующие сварочные тренажеры на следующие виды:

Компьютеризированные. Являются максимально приближенными к реальным сварочным процессам. В них применяется электрическая дуга малой мощности, реальный шов отсутствует, движения сварщика прослеживаются в виде линии плавления на металлической пластине, режимы и их изменение в зависимости от движений сварщика фиксируются при помощи компьютерной программы [6]. К тренажерам такого типа можно отнести ТСДС-06М1 (ИЭС им. Е.О.Патона, Украина) [7], GSI SLV Welding Trainer (GSI SLV, Германия) [5] и Real Weld Trainer (Real Weld Systems, Inc., США) [6].

Полувиртуальные. В них применяют виртуальные технологии для частичного моделирования сварочного оборудования и свариваемых деталей. При этом используются физические модели свариваемых деталей. Этот тип тренажеров также называют тренажерами с дополненной реальностью. К ним относятся Soldamatic Augmented Training (Seabery Soluciones, Испания) [8], Miller Augmented Arc (США).

Виртуальные. В них применяются виртуальные технологии моделирования окружающей среды, свариваемых деталей, сварочного оборудования и т. д. Наличие физических объектов сведено к минимуму. Примерами таких тренажеров являются The Lincoln Electric VRTEX 360 (США) [9], 123 Certification ARC®+ (Канада), Fronius Virtual Welding (Fronius, Австрия) [10], «Волжанка-1» (г. Нижний Новгород, РФ) [11], Weihan V60 (КНР).

Рассмотрим более подробно основные из перечисленных моделей, относящихся к этим трем видам сварочных тренажеров.

В ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработан тренажер ТСДС-06М1, относящийся к компьютеризированным тренажерам [5]. Его ос-

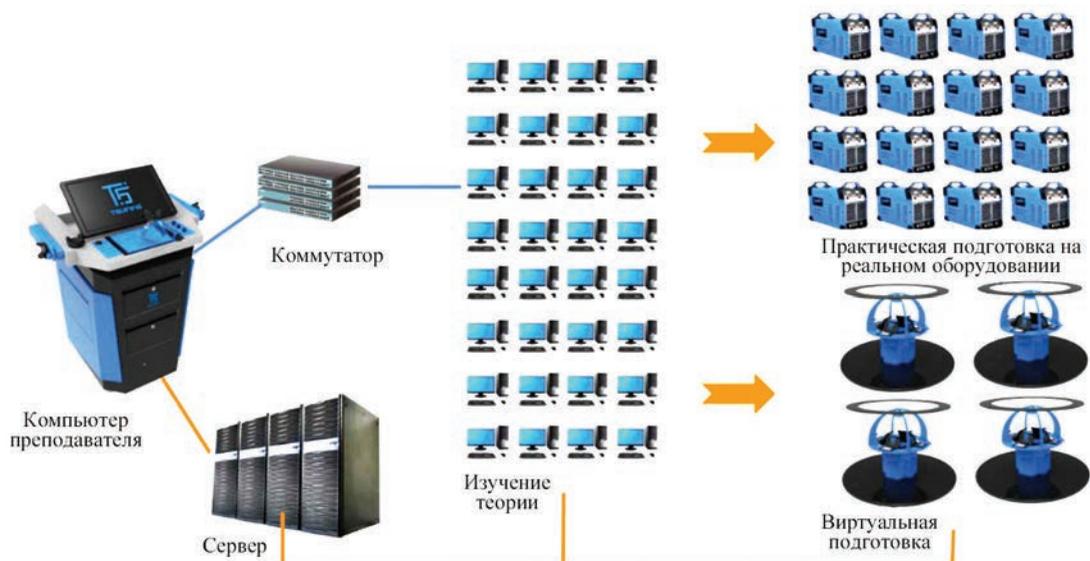


Рис. 1. Концепция комплекса для обучения сварке, включающая реальные и виртуальные тренажеры

новным преимуществом является максимальная приближенность к реальным условиям сварки за счет использования малоамперной дуги. Однако этот тренажер ориентирован только на ручную дуговую сварку покрытыми электродами (ММА) и ручную сварку неплавящимся (вольфрамовым) электродом в среде инертных газов (ТИГ) с подачей присадочной проволоки и без нее, а также на сварку плавящимся электродом в среде инертных/активных газов (MIG/MAG). В нем имеется оперативная автоматическая обратная связь с обучающей системой в виде речевых сигналов. В классе компьютеризированных сварочных тренажеров модель ТСДС-06М1 является одной из лучших. Близкой к нему разработкой является тренажер GSI SLV Welding Trainer (GSI SLV, Германия) [5]. В отличие от тренажера ТСДС-06М1 сварочный тренажер с дополненной реальностью Soldamatic позволяет при помощи виртуальной сварочной маски имитировать основные сварочные технологии: ММА, ТИГ и МИГ/МАГ (ручную сварку плавящимся электродом в среде инертных/активных газов) [8]. Для полной имитации сварочных процессов тут используются физические модели свариваемых деталей (или их пластиковая имитация) с нанесенным на поверхности QR-кодом. За счет наличия QR-кодов на моделях деталей и сварочных горелках на дисплее маски дополненной реальности имитируется процесс сварки. Данный тренажер является одним из наиболее популярных в мире. Его используют такие фирмы, как Abicor Binzel, Miller и др. Аналогичным образом устроен сварочный тренажер VRTEX 360 фирмы Lincoln Global, Inc (США) [9]. В отличие от тренажера Soldamatic тренажер VRTEX 360 снабжен виртуальным сварочным шлемом с индивидуальной настройкой фокуса каждого из окуляров. Тренажер Virtual Welding фирмы Fronius может в большей

степени считаться виртуальным [10]. На нем можно обучаться как с применением физических моделей, так и без таковых. При этом сварщик должен работать стоя. В чистом виде виртуальным является сварочный тренажер «Волжанка-1», разработанный в Сормовском механическом техникуме (г. Нижний Новгород, РФ) [11]. Он снабжен шлемом, полностью воссоздающим виртуальную реальность трех вышеуказанных сварочных процессов без необходимости применения физических моделей. Сварщик может работать как стоя, так и сидя.

В современных компьютерных тренажерах за счет использования сенсорных камер, компьютерных систем обратной связи и специального программного обеспечения происходит считывание и расчет различных сварочных параметров в процессе сварки на малоамперном сварочном токе. Это можно рассматривать как существенный недостаток системы обучения, так как сварочный процесс не воспроизводится в полной степени – возникает потребность в использовании расходных материалов и специально оборудованных учебных классов, отсутствует возможность полноценной регулировки силы тока, затрудняются регулировка в реальном времени расхода подачи газов, выбор этих газов и их смесей, выбор типа и состава присадочного материала и т. д. В виртуальных системах все это доступно в полной мере. Преимуществами компьютеризированных систем являются возможности работы со сварочной горелкой в условиях максимально приближенных к реальной сварке, ознакомление со сварочной дугой, тренировка ее поджига. В свою очередь виртуальные системы предоставляют следующие преимущества:

1. Мониторинг процесса обучения каждого учащегося с компьютера-тренажера преподавателем

ля (инструктора) либо непосредственное наблюдение за прогрессом учащегося на мониторе тренажера, за которым тот работает.

2. Возможность для преподавателя (инструктора) в режиме реального времени оказывать помощь и корректировать работу учащегося.

3. Доступна опциональная возможность контроля в режиме онлайн/офлайн и корректировка работы непосредственно специалистами компании-разработчика тренажера, либо ведущими специалистами по сварке международных учебных и исследовательских учреждений, с которыми сотрудничает компания-разработчик.

4. Доступ к форуму для обсуждения с инструкторами и специалистами интересующих учащихся вопросов.

5. Лекции ведущих специалистов по сварке в режиме онлайн/офлайн.

6. Учащийся получает визуальные и звуковые подсказки от самой системы в процессе сварки.

7. Устранение риска возникновения травм у учащихся в процессе обучения.

8. Возможность использования нескольких уровней сложности обучения. Например, трех уровней – новичок, продвинутый, профессионал. В зависимости от уровня сложности меняются сварочные параметры, материалы, поставленные задачи. Это помогает инструктору в разработке и внедрении собственных планов обучения.

9. Автоматическая оценка работы учащегося системой. По окончании каждого процесса/этапа сварки учащийся и инструктор получают расчеты в виде диаграмм и графиков, где указаны посекундные сварочные параметры, наличие дефектов и т.д., что облегчает работу преподавателя (инструктора).

Перечисленные преимущества, а также большее количество разработок моделей сварочных тренажеров (например, [8-11]), свидетельствует о преобладании заинтересованности ведущих мировых фирм, связанных со сваркой, в использовании виртуальных и полувиртуальных сварочных тренажеров по сравнению с компьютеризированными.

К основным достоинствам рассмотренных виртуальных и полувиртуальных сварочных тренажеров относятся:

- возможность значительно снизить стоимость обучения за счет экономии материалов образцов, электроэнергии, газов и сварочных материалов;

- возможность имитировать основные процессы сварки в различных пространственных положениях;

- наглядная оперативная демонстрация ошибок сварщика;

- регистрация всех параметров сварочного процесса с возможностью их повторного воспроизведения для лучшего понимания влияния действий сварщика на качество получаемого результата.

Особенностями исполнения того или иного сварочного тренажера являются уровень учета теплового влияния сварочного источника на нагрев свариваемого образца и уровень учета возникающего напряженно-деформированного состояния (НДС). Чем выше эти уровни, тем ближе к реальности результаты виртуальной имитации сварочных процессов. Качество имитации сварочных процессов в виртуальной среде напрямую зависит от движка, на котором создается графическая составляющая. К недостаткам рассмотренных тренажеров относятся:

- ограниченное количество моделируемых сварочных процессов (обычно ММА, ТИГ и МИГ/МАГ);

- ограниченное количество сварочных материалов и материалов свариваемых образцов;

- использование индивидуального подхода в обучении, отсутствие использования сетевых ресурсов и удаленного доступа;

- отсутствие возможности получения реального опыта проведения сварочных процессов;

- неполное использование возможностей виртуальной реальности.

Для устранения указанных недостатков и учета описанных особенностей целесообразно применить следующую концепцию создания комплекса для обучения сварке (рис. 1). Виртуальная подготовка сварщика должна перемежаться с реальной и быть основанной на глубоком изучении теории. Переход к сварочной практике возможен только после изучения теории и только в условиях непрерывного контроля преподавателя за процессом обучения. Такой контроль может осуществляться как непосредственно, так и в режиме удаленного доступа, что обеспечит один из вариантов обратной связи. Виртуальные сварочные тренажеры должны объединяться в единую сеть, дающую возможность ученикам с хорошей успеваемостью помогать отстающим учащимся, что обеспечит другой вариант обратной связи. Базы данных для моделирования сварочных процессов должны храниться на удаленных серверах и по возможности пополняться обновляющейся информацией об используемых материалах и процессах. Отдельные виртуальные сварочные тренажеры должны иметь структуру, показанную на рис. 2. Впервые нами предлагается помимо обучающих модулей добавить развлекательный. Как показывает практика, периодическое кратковременное переключение внимания учащихся с объекта обучения на развле-

кательный объект повышает эффективность усвоения знаний.

Для реализации предложенной концепции комплекса обучения сварке необходимо реализовать общий для всей его виртуальной части искусственный интеллект (рис. 3). Он должен состоять из базы данных для моделирования изучаемых сварочных процессов, системы работы с этими данными, системы диалогового режима для общения с обучающимся сварщиком и программной оболочки, объединяющей эти три части в единое целое.

Одной из задач работы искусственного интеллекта является реализация в процессе обучения обратной связи с компьютером преподавателя (инструктора). Инструктор должен иметь возможность в реальном времени удаленно давать задания, регулировать параметры сварки и наблюдать за процессом либо со своего компьютера, либо непосредственно на дисплеях тренажера. Обучающийся сварщик должен иметь возможность получения консультаций в режиме онлайн как от экспертов учебного учреждения, так и от специалистов компании-разработчика (в нашем случае – компании «Вэйхань наука и технология»), включая специалистов учреждений-партнеров, в число которых входят сварочные институты и ведущие мировые компании.

На основании описанных подходов компанией «Вэйхань наука и технология» (г. Шеньжен, КНР) с использованием опыта технологических разработок ИЭС им. Е. О. Патона и НТТУ «Киевский политехнический институт» разработан виртуальный сварочный тренажер Weihan V60 (рис. 4). Начало серийного выпуска компанией «Вэйхань наука и технология» модели Weihan V60, относящейся к линейке тренажеров Virtual Welding, запланировано в июне 2017 г.

При разработке концепции создания системы Virtual Welding V60 учитывались вышеуказанные особенности и по возможности устранялись характерные недостатки, присущие тренажерам для обучения сварке. Так, для максимального приближения виртуального тренажера к реальности в нем используются реальные сварочные горелки, на которые одеваются контроллеры Vive tracker, служащие маркером для моделирования горелки в виртуальной реальности (рис. 5). Такие контроллеры позволяют отслеживать положение и перемещение сварочных горелок в пространстве. Горелка MMA имеет специализированное исполнение. Ее конструкция и принцип работы схожи с горелкой MMA тренажера Augmented Arc welding



Рис. 2. Структура сварочного тренажера

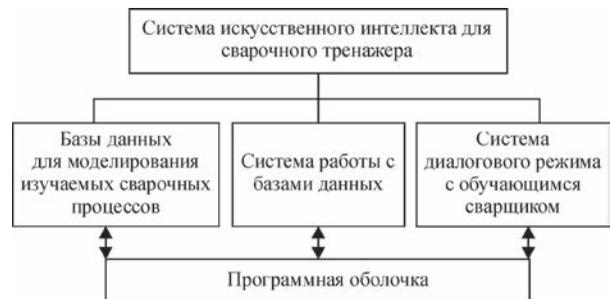


Рис. 3. Структура искусственного интеллекта для виртуального сварочного тренажера



Рис. 4. Виртуальный сварочный тренажер V60: 1 — мобильная платформа; 2 — сенсорный экран; 3 — виртуальная заготовка; 4 — кронштейн для имитации сварки в различных пространственных положениях; 5 — виртуальная сварочная горелка; 6 — ящик для хранения очков (шлема) виртуальной реальности; 7 — ящик для заготовок; 8 — ящик для горелок



Рис.5. Применение контроллера Vive tracker для моделирования виртуальных сварочных горелок на основе реальных и отслеживания их пространственных перемещений: *a* — контроллер Vive tracker; *б* — реальные сварочные горелки с надетыми на них контроллерами

simulator компании Miller (США) (рис.6). В этой горелке для максимального приближения к условиям работы с реальным электродом имитируется его плавление с уменьшением в процессе сварки. Применение очков или шлема виртуальной реальности HTC Vive фирмы HTC (Корея) позволяет выполнять виртуальную сварку в любом положении на виртуальном образце (рис. 7), а дополнительный кронштейн (позиция 4 на рис. 4) позволяет также использовать реальные физические образцы. Шлем виртуальной реальности HTC Vive на сегодняшний день считается одним из лучших [12]. Он позволяет моделировать характерные звуки сварочных процессов. Дополнительный аксессуар (контроллер Vive tracker) позволяет добавить любой новый предмет в виртуальную реальность. Отметим, что современные технологии сделали шлем виртуальной реальности сравнительно недорогим и доступным аксессуаром, применение которого способно улучшить учебный процесс в любом из трех видов сварочных тренажеров. Для достижения высокого качества имитации сварочных процессов в виртуальной среде в тренажере V60 использовано программное обеспечение Unity, который является одним из лучших на сегодняшний день [13].

В тренажере V60 применено моделирование сварного шва, сварочной ванны, разбрызгивания



Рис.6. Виртуальная горелка MMA, имитирующая плавление электрода с его уменьшением в процессе сварки

из ванны, температурных полей (рис. 8). В реальном времени отображаются рабочие параметры процесса сварки, а также вся сцена сварки в целом. Все это дает возможность получить реалистичную картину шва, получаемого в процессе виртуальной сварки (рис. 9).

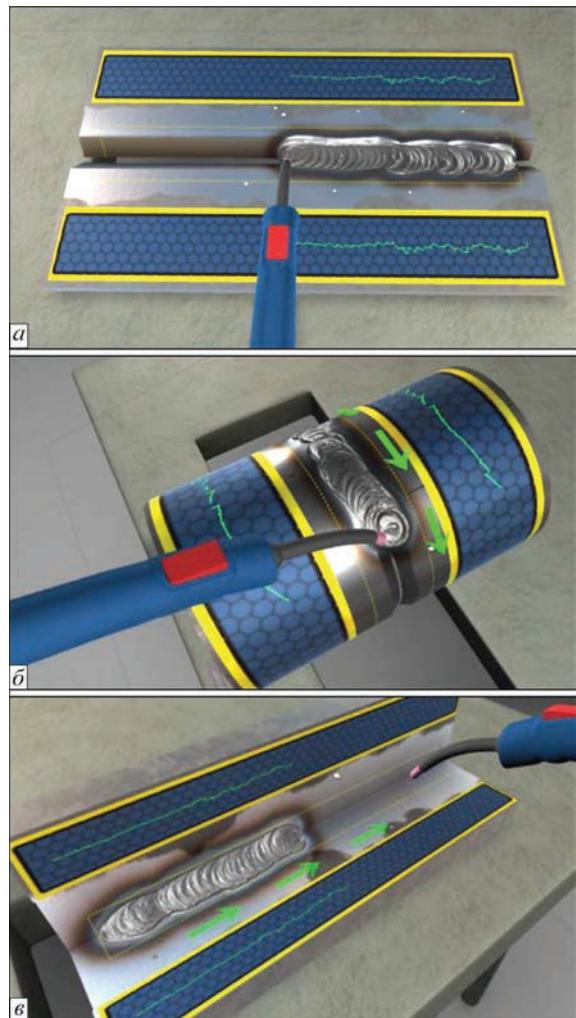


Рис.7. Виртуальная сварка МИГ/МАГ на тренажере V60: *a* — стык в нижнем положении; *б* — орбитальная сварка неповоротного стыка; *в* — угловой шов

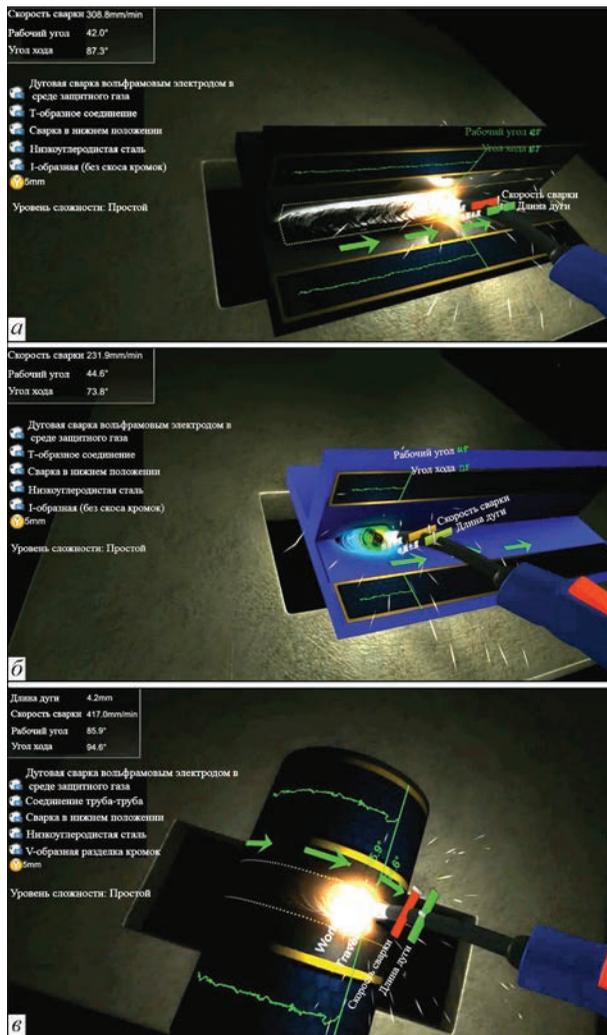


Рис. 8. Отображение параметров процесса сварки ТИГ в реальном времени с учетом динамики температурных полей и разбрызгивания из ванны на тренажере V60: а, б — тавровое соединение; в — орбитальная сварка неповоротного стыка

На сегодняшний день тренажер V60 работает с тремя основными сварочными процессами (ММА, ТИГ и МИГ/МАГ), но активно ведутся работы по моделированию процессов плазменной и лазерной сварки. В дальнейшем предполагается смоделировать такие гибридные сварочные процессы, как лазер-МИГ, плазма-МИГ и лазер-плазма.

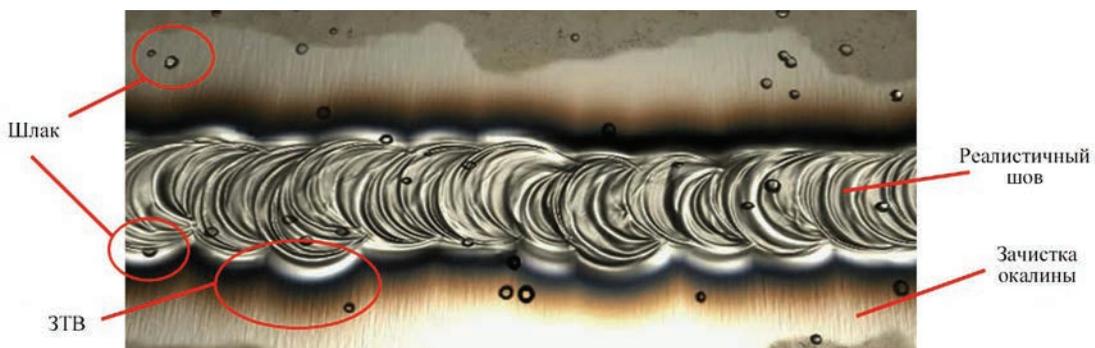


Рис. 9. Отображение реалистичной картины шва, получаемого в процессе виртуальной сварки на тренажере V60



Рис. 10. Дизайн станции виртуального обучения с четырьмя сварочными тренажерами V60

Виртуальные тренажеры V60 предлагает объединять по четыре в учебные станции (рис. 10). Станции, в свою очередь, объединяются в сеть учебного класса, позволяющую реализовать связи «учащийся – учащийся», «учащийся ↔ преподаватель», «учащийся – специалист-консультант». По сравнению с существующими аналогами разработанная система искусственного интеллекта и обучающей сети сварочных тренажеров V60 позволяет достичь ряда дополнительных преимуществ (таблица). Среди основных преимуществ можно выделить следующие:

- моделирование реалистичного внешнего вида и качества сварного шва;
- моделирование напряженно-деформированного состояния сваренных деталей;
- моделирование температурных полей в режиме реального времени;
- моделирование большого количества сварочных технологий и применяемых материалов, а также процессов 3D-печати;
- виртуальное тестирование и анализ качества сварных деталей;
- система сертификации; развлекательный модуль; доступ к кафедре экспертов;
- высокая экономическая целесообразность.

Преимущества разработанной системы искусственного интеллекта и обучающей сети сварочных тренажеров V60 по сравнению с существующими аналогами (подчеркиванием выделено отличие от аналогов [3–11])

Система виртуального обучения сварщиков			
Модуль обучения	Модуль сертификации	Развлекательный модуль	Модуль аппаратного обеспечения
Изучение теории <u>Анимационная визуализация процессов</u> <u>Лекции ведущих специалистов по сварке</u> <u>Доступ к наиболее распространенным данным по сварке</u>	Система международной сертификации Национальная система сертификации Система сертификации ядерных сварщиков	<u>Виртуальный инжиниринг</u> <u>Художественная сварка</u> <u>Граффити при помощи сварки</u> <u>Посещение виртуальных сварочных цехов, автоматических сварочных линий</u>	Рабочая платформа тренажера Оптическое отслеживание перемещения Сварочный шлем Сварочные горелки Тач-панель Главный компьютер Проектор <u>Имитация дефектов</u>
Модуль виртуального обучения			
Положения детали при сварке	Сварочные материалы	Сварочные технологии	Типы соединений
Нижнее положение Потолочное положение Вертикальное положение Горизонтальное положение	<u>Титан и титановый сплав</u> <u>Магний и магниевый сплав</u> <u>Низкоуглеродистая сталь</u> <u>Алюминий и алюминиевый сплав</u> <u>Нержавеющая сталь</u> <u>Медь и медный сплав</u> <u>Оцинкованная сталь</u>	Ручная дуговая сварка Сварка плавящимся электродом ТИГ сварка <u>Лазерная сварка</u> <u>Плазменная сварка</u> <u>Приварка шпилек</u>	Горизонтальное стыковое Т-образное Соединение труба-труба Соединение труба-пластина Соединение пластин внахлест

Отдельно стоит отметить, что примененные в сварочном тренажере Virtual Welding V60 базы данных, концепция и виртуальный программный продукт могут быть положены в основу создания сварочной маски с дополненной реальностью. В такой маске на реальную картину процесса сварки накладывается виртуальная, позволяющая сварщику непосредственно в процессе работы корректировать положение горелки и скорость процесса так, чтобы получать наилучший результат. Создание маски с дополненной реальностью может быть следующим шагом в развитии различных сварочных технологий.

Выводы

1. Создана система искусственного интеллекта для обучения сварщиков, позволяющая проводить виртуальное обучение сварке в реальном времени с функциями прогнозирования и моделирования морфологии, а также интеллектуальной оценкой качества сварного шва.

2. На основе анализа существующих виртуальных сварочных тренажеров было установлено, что их основными недостатками являются ограниченное количество моделируемых сварочных процессов (обычно ММА, ТИГ и МИГ/МАГ); ограниченное количество сварочных материалов и материалов свариваемых образцов; отсутствие использования сетевых ресурсов и удаленного доступа; отсутствие возможности получения реального опыта проведения сварочных процессов; неполное использование возможностей виртуальной реальности.

3. Установлено, что качество имитации сварочных процессов виртуальным тренажером зависит от движка графической составляющей и тем

выше, чем выше уровни учета теплового влияния сварочного источника на нагрев свариваемого образца и возникающего напряженно-деформированного состояния.

4. Разработанная система искусственного интеллекта для сети сварочных тренажеров V60 обладает следующими достоинствами: возможностью моделирования реалистичного внешнего вида и качества сварного шва; возможностью моделирования напряженно-деформированного состояния сваренных деталей и температурных полей в режиме реального времени; базой данных для моделирования большего количества сварочных технологий и применяемых материалов; возможностью моделирования процессов 3D-печати; наличием системы виртуального тестирования и анализа качества сварных деталей; системой сертификации; развлекательным модулем; доступом к кафедре экспертов; высокой экономической целесообразностью.

Список литературы

1. Липодаев В. Н. (2014) Семинар «Проблемы организации сварочных работ в Украине. Новые технологии и оборудование для высококачественной сварки». *Автоматическая сварка*, **1**, 68–71.
2. Патон Б. Е., Коротынский А. Е., Богдановский В. А. и др. (2010) Информационные технологии при подготовке сварщиков и специалистов сварочного производства: современные тенденции. *Сварка и Диагностика*, **1**, 10–15.
3. Патон Б. Е., Богдановский В. А., Васильев В. В., Даниляк С. Н. (1988) Электронные тренажерные системы в сварке. *Автоматическая сварка*, **5**, 45–48.
4. <http://www.svarka.info.ru/rus/lib/blog/?year=2011-06&docId=1044>: *Использование сварочных тренажеров в обучении специалистов по сварке*.
5. Кайтель С., Аренс С., Молл Х. (2014) Использование компьютерных технологий в обучении сварщиков. *Автоматическая сварка*, **10**, 54–58.

- (2014) IIW Commission XIV Workshop success: Showcasing latest international developments in welding training systems. *Australasian Welding Journal*, **59**, 18–22.
- <http://stc-paton.com/rus/services/simulator06>: *Обучение персонала сварочного производства и сертификация продукции сварочного и родственных производств. Тренажеры сварщика для электродуговой сварки. Тренажер ТСДС-06М.*
- http://avtograph-oem.ru/press-center/news/prezentaciya_virtualnogo_trenazhera_svarwika_soldamatic/: *Презентация виртуального тренажера сварщика Soldamatic.*
- http://www.lincolnelectric.com/ru-ru/equipment/training-equipment/Documents/VRTEX_360_brochure_rus.pdf: *Виртуальный тренажер сварщика VRTEX 360.*
- http://tctena.ru/stati/virtual_welding: *Сварные соединения в мире виртуальной подготовки.*
- <http://www.ruspromsoft.ru/solutions/education/welding-trainer>: *Виртуальный тренажер сварки Волжанка-1.*
- <https://www.vive.com/ru/product/>: *Система виртуальной реальности Vive.*
- <http://fb.ru/article/178300/igrovoy-dvijok-unity-unity-d-porusski>: *Ильюшенко Н. Игровой движок Unity. Unity 3D по-русски.*

Юйхуэй Яо¹, С. І. Пелешенко¹,
В. М. Коржик², В. Ю. Хаскін², В. В. Квасницький³

¹Компанія «Вейхань наука і технологія», м. Шеньжен, КНР (Shenzhen Weihai Science and Technology Co., Ltd., PRC)
²ІЕЗ ім. С. О. Патона НАН України.
03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11.
E-mail: office@paton.kiev.ua
³НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».
03056, м. Київ, пр-т Перемоги, 37.

КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ І КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ВІРТУАЛЬНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Одним з ефективних шляхів вирішення проблеми нестачі висококваліфікованих зварників є використання віртуальних систем зварювання для їх навчання. Такі системи базуються на штучному інтелекті, закладеному в основу комп'ютеризованого тренажера, забезпеченого адаптованим під завдання навчання інтерфейсом. Вже зараз такі системи розширюють можливості навчання за рахунок збільшення кількості модельованих зварювальних технологій і методів зварювання. Можна очікувати, що в майбутньому вони допоможуть різним установам значно зменшити собівартість навчання фахівців. Метою роботи було створення штучного інтелекту для навчання зварників, що дозволяє розробити віртуальну систему навчання зварюванню в реальному часі з функціями прогнозування і моделювання морфології, а також інтелектуальної оцінки якості зварного шва. В результаті виконаної роботи була створена система штучного інтелекту для мережі зварювальних тренажерів V60, що має наступні переваги: можливість моделювання реалістичного зовнішнього вигляду і якості зварного шва; можливість моделювання напружено-деформованого стану зварених деталей і температурних полів в режимі реального часу; базою даних для моделювання більшої кількості зварювальних технологій та матеріалів; можливість моделювання процесів 3D-друку; наявність системи віртуального тестування і аналізу якості зварних деталей; системою сертифікації; розважальним модулем; доступом до кафедри експертів; високою економічною доцільністю. Встановлено, що якість імітації зварювальних процесів віртуальним тренажером залежить від швидкості графічної складової і тим вище, чим вище рівні обліку теплового впливу зварювального джерела на нагрів зварюваного зразка і напружено-деформованого стану, що виникає. Бібліогр. 13, табл. 1, рис. 10.

Ключові слова: зварювальний тренажер, ручне дугове зварювання, зварювання дугою з неплавким електродом, зварювання дугою з плавким електродом, штучний інтелект, віртуальне зварювання

Поступила в редакцію 19.04.2017

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ім. С. О. ПАТОНА НАНУ
МІЖНАРОДНА АСОЦІАЦІЯ «ЗВАРЮВАННЯ»

**Міжнародна конференція
ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНІ ТЕХНОЛОГІЇ – СЬОГОДЕННЯ І МАЙБУТНЄ**

Присвячується 100-річчю
Національної академії наук України

5 – 6 грудня, 2018 р.
Україна, м. Київ

Голова:
академік НАН України Л. Лобанов
НАУКОВІ НАПРЯМКИ КОНФЕРЕНЦІЇ

- Технології, матеріали і обладнання для зварювання і споріднених процесів
- Міцність зварних конструкцій, теоретичні та експериментальні дослідження напружено-деформуючих станів та їх регулювання
- Вдосконалення зварних конструкцій, автоматизація їх розрахунку і проектування, оцінка і подовження ресурсу
- Нові конструкційні матеріали
- Неруйнівний контроль і технічна діагностика
- Інженерія поверхні
- Зварювання в медицині – технології, обладнання; наноматеріали і нанотехнології
- Проблеми екології зварювального виробництва
- Спеціальна електрометалургія
- Стандартизація, сертифікація продукції зварювального виробництва, підготовка і атестація спеціалістів

Відправлення тез доповідей для участі в роботі конференції – до 01.11.2017 р.

ІЕЗ ім. С. О. Патона НАН України,
вул. Казимира Малевича (Боженка), 11, м. Київ, 03680
тел: (38044) 200-60-16, 200-47-57; факс: (38044) 528-04-86
E-mail: office@paton.kiev.ua
www.paton.kiev.ua | www.patonpublishinghouse.com