

УДК 621.791

## ТЕХНОЛОГИЯ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И РЕГИСТРАЦИИ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

*С. В. БОЛОТОВ, К. В. ЗАХАРЧЕНКОВ, Н. К. БОБКОВ*

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

UDC 621.791

## TECHNOLOGY OF REMOTE CONTROL AND REGISTRATION OF WELDING PROCESSES

*S. V. BOLOTOV, K. V. ZAKHARCHENKOV, N. K. BOBKOV*

**Аннотация.** Разработана технология, позволяющая дистанционно контролировать ход процесса дуговой сварки, получить документальное подтверждение качества сварочных работ. Технология реализована на основе регистраторов сварочных процессов и программного обеспечения в виде клиентского приложения, серверной части и базы данных.

**Ключевые слова:** сварочные процессы, контроль, регистратор, автоматизированная система, паспорт сварного шва.

**Abstract.** A technology has been developed that allows you to remotely control the progress of the arc welding process, to obtain documentary evidence of the quality of welding work. The technology is implemented on the basis of welding process recorders and software in the form of a client application, a server part and a database.

**Keywords:** welding processes, control, recorder, automated system, weld certificate.

Актуальной для современного производства является задача обеспечения качества ответственных сварных конструкций. Подтвердить качество сварки возможно при выполнении следующих условий:

- наличие аттестованной (квалифицированной) технологии сварки по СТБ ISO 15614-1...13–2009;

- аттестованный сварщик в соответствии с СТБ EN 287-1–2009 (право выполнения сварочных работ на опасных производственных объектах, потенциально опасных объектах, а также технических устройствах, на них эксплуатируемых, поднадзорных Госпромнадзору), ПНАЭ Г-7-003–87 и Нормами и правилами по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Организация и выполнение сварочных работ на объектах использования атомной энергии», СТБ 2350–2013 (право осуществлять сварку арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций, металлических конструкций и трубопроводов в строительстве);

- прошедшее процедуру аттестации или проверку на соответствие паспортным данным по ГОСТ Р МЭК 60974-1–2012 (ГОСТ IEC 60974-1–2018) сварочное оборудование;

- аттестованные или сертифицированные сварочные материалы;

– строгое соблюдение установленных инструкцией на технологический процесс сварки параметров режима.

Аттестация технологических процессов сварки, сварщиков, сварочного оборудования и материалов производится с участием специализированной организации, имеющей соответствующие сертификаты и разрешения, например, Центром сертификации и испытаний Белорусско-Российского университета.

Для контроля параметров режима сварки применяют автоматизированные системы на основе регистраторов сварочных процессов. Так, известны программно-аппаратные комплексы европейских производителей сварочного оборудования Kemppi WeldEye, Fronius WeldCube, ESAB WELDQAS, Ewm Xnet, а также российских компаний НПФ «ИТС», EVOSPARK [1]. Данные системы преимущественно ориентированы под конкретного производителя сварочного оборудования, позволяют лишь регистрировать и сохранять в память данные о параметрах режима сварки, имеют закрытый код и не позволяют гибко перестроить систему под конкретное сварочное производство организации.

Была разработана принципиально новая технология, позволяющая осуществлять дистанционный контроль качества сварки на объектах повышенной опасности.

Технология обеспечивает:

- идентификацию и подтверждение квалификации сварщика;
- идентификацию и проверку требуемых характеристик сварочного оборудования;
- получение с сервера заданий на сварку в соответствии с инструкциями на технологический процесс сварки;
- регистрацию, сохранение на сервере параметров режима сварки и сообщение об их выходе за установленные технологической инструкцией границы;
- отображение состояния сварочного оборудования на карте;
- учёт причин простоя сварочного оборудования;
- оценку качества сварочных работ;
- формирование отчётов о работе сварщиков и сварочного оборудования;
- формирование паспорта сварного шва.

Паспорт сварного шва является итоговым документом, подтверждающим качество сварки.

Научная новизна и значимость полученных результатов заключается в разработке автоматизированной системы контроля сварочных работ, позволяющей анализировать процессы плавления и переноса электродного металла, оценивать стабильность и качество процесса сварки, выставлять комплексную оценку, характеризующую качество сварочных работ [1, 2].

Регистратор сварочных процессов РСП-БРУ-01 (рис. 1) включает три основных блока [3, 4].

1. Основной блок. Располагается в месте установки сварочного источника питания. На лицевой панели основного блока расположены: дисплей, клавиатура; на боковой панели – зона для считывания удостоверений с RFID-метками;

на задней панели – разъём питания, кнопка включения/отключения питания, разъёмы подключения датчиков, разъём USB для подключения внешнего носителя информации, антенна GSM-модуля и антенна GPS-модуля. Данный блок обеспечивает идентификацию сварщиков с использованием RFID-меток, получение из программной части системы сменных заданий, определенных мастером для каждого сварщика, выбор сварщиком заданий для исполнения, регистрацию и усреднение значений параметров сварки, полученных с блока датчиков, с последующей передачей через GSM-связь или WI-FI в программную часть системы.



Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы

2. Блок датчиков. Располагается рядом с выходными зажимами сварочной цепи источника питания. Блок датчиков выполнен в защищённом корпусе с отверстием под сварочный кабель для бесконтактного измерения сварочного

тока, разъёмами для подключения к сварочным клеммам источника питания для измерения напряжения на дуге и разъёмом для соединения с основным блоком регистратора. В качестве датчиков использованы компенсационные датчики тока и напряжения, работающие на эффекте Холла, фирмы LEM (Швейцария): LF 505-S, LV 25-P/SP. Блок датчиков обеспечивает регистрацию сварочного тока и напряжения на дуге с точностью  $\pm 1,5\%$  и передачу сигнала в основной блок регистратора. В результате проведенных в Белорусско-Российском университете экспериментов установлено, что для исследования процессов дуговой сварки плавящимся электродом оптимальной частотой опроса при измерениях регистратором сварочного тока и напряжения на дуге является 10...20 кГц. При этом сохранение данных о параметрах режима сварки (усреднение данных) следует проводить с частотой 10 Гц [5].

3. Пульт сварщика. Пульт сварщика располагается в месте проведения сварочных работ и связан по протоколу RS-485 с основным блоком. На передней панели пульта расположены ЖКИ, кнопки, разъём для подключения термопары. Пульт сварщика предназначен для дистанционного переключения сварочных швов (слоёв), звукового оповещения сварщика о выходе параметров режима за установленные пределы, контроля температуры предварительного подогрева.

Программная часть автоматизированной системы (см. рис. 1) включает следующие основные модули:

1) автоматизированное рабочее место (АРМ) мастера. Мастер распределяет задания сварщикам на выполнение каждого шва каждого изделия, узла, детали. Критериями эффективности распределения заданий между сварщиками является минимизация количества перемещений и переключения режимов сварки каждым сварщиком. В случае выхода в процессе сварки шва параметров сварочного процесса за пределы допустимых значений более 1 с подряд в клиентском приложении мастера соответствующее задание (изделие, узел, деталь, шов) подсвечивается цветовым индикатором. Если сварочное оборудование простаивает более 5 мин подряд после завершения выполнения очередного задания сварщиком, мастер вносит причину простоя оборудования. По результатам работы системы мастеру выводятся результаты комплексной оценки качества сварочных работ;

2) АРМ сварщика. Перед началом работы сварщик идентифицирует себя на регистраторе с помощью удостоверения RFID-меткой. После идентификации сварщик выбирает первое в списке задание, после чего на регистраторе и пульте сварщика (опционально) высвечиваются допустимые параметры сварочного процесса. Сварщик выставляет на сварочном аппарате рекомендуемые параметры режима сварки и подтверждает начало сварки прохода. При выходе параметров режима сварки за рекомендуемые границы регистратор и/или пульт сварщика (опционально) производит звуковую и световую индикацию (с помощью зуммера), на дисплее регистратора отображается запись: выход тока (напряжения) за верхнюю (нижнюю) границу. При длительном нарушении параметров режима сварки (более 10 с) блокируется работа сварочного аппарата. При простое оборудования более 5 мин сварщик вводит причину простоя. После завершения сварки шва сварщик подтверждает завершение процесса сварки на

регистраторе или с пульта (опционально), после чего сварщик переходит к выполнению следующего задания из списка. В случае пропуска задания сварщик ставит в известность мастера о причине, по которой выполнение задания невозможно;

3) АРМ контролера. По мере завершения выполнения заданий сварщиками контролеры оценивают качество сварных швов, подлежащих контролю. При выявлении брака и/или дефектов сварных швов контролеры фиксируют факт брака или выявленные дефекты сварного соединения. В процессе выполнения сварочных работ контролер просматривает паспорта сварных швов, уделяя особое внимание швам, подсвеченным цветовой индикацией (по которым были зафиксированы выходы параметров сварочных процессов за пределы допустимых значений). По результатам работы системы контролерам выводятся отчеты о выпуске продукции и браке;

4) АРМ руководителей организации. Руководителям организации в реальном времени с задержкой на время передачи данных на сервер выводятся информационно-аналитические отчеты о выпуске продукции, браке, простоях оборудования, паспорта сварных швов (рис. 2).

## Показания сварочного тока по слою №1, А



|                       | Значение    |              |          | Обеспечение допуска |
|-----------------------|-------------|--------------|----------|---------------------|
|                       | минимальное | максимальное | среднее  |                     |
| Сварочный ток, А      | 31.8        | 101.0        | 83.3     | нет                 |
| Напряжение на дуге, В | 24.8        | 46.6         | 27.6     | да                  |
| <b>Оценка</b>         |             |              | <b>7</b> |                     |

Рис. 2. Фрагмент паспорта сварного шва

Технология дистанционного контроля и регистрации сварочных процессов состоит из следующих этапов.

1. Ввод с помощью клиентского Web-приложения сменных заданий руководителем сварочных работ (мастером), включающих: наименование изделия, узла, детали; цех, участок, рабочее место, маркировку сварных соединений (швов); прошедший аттестацию технологический процесс сварки с допусками на контролируемые параметры режима; ФИО сварщика, имеющего соответствующую область распространения квалификации; сварочное оборудование с требуемыми техническими характеристиками; основные и сварочные материалы с указанием номера партии и акта входного контроля.

2. Радиочастотная идентификация (с помощью удостоверения или брелока с RFID-меткой) сварщика, сварочного оборудования на регистраторе сварочных процессов. Считывание сменных заданий с сервера для конкретного сварщика и сварочного оборудования с использованием канала GSM или WI-FI. Выбор сменного задания к выполнению.

3. В случае невозможности выполнения сварочных работ выбор из базы данных сварщиком или мастером причины простоя оборудования.

4. Запуск сварщиком на регистраторе процесса контроля сварочных работ.

5. Регистрация термопарой, установленной на свариваемом изделии, температуры предварительного нагрева области сварки. Сравнение с допуском на температуру в соответствии с технологической инструкцией. Переход к следующему этапу при обеспечении допуска.

6. Регистрация и передача данных с блока датчиков (сварочный ток, напряжение на дуге) на регистратор и пульт сварщика. Сравнение регистрируемых параметров с допусками в соответствии с технологической инструкцией. Выдача звукового сигнала в случае выхода параметров режима сварки за допустимые значения. Блокировка работы сварочного аппарата в случае длительного (более 10 с) нарушения параметров режима сварки.

7. Передача данных с регистратора на сервер с использованием канала GSM или WI-FI.

8. Анализ данных на сервере. Выставление комплексной оценки после каждого прохода (корневой, заполняющий, облицовочный) сварного шва.

9. Формирование паспорта каждого сварного шва.

10. Визуальный и выборочный неразрушающий контроль (рентген, УЗК) сварных швов. Ввод контролером результатов контроля в автоматизированную систему.

11. Формирование руководителями отчётов о выполненных операциях, о работе сварщика, о работе и простоях сварочного оборудования. Принятие корректирующих действий.

Принципиальной новизной предлагаемой технологии является использование информационно-аналитической модели, позволяющей на основе регист-

рации и анализа параметров сварочных процессов выставить комплексную оценку, характеризующую качество сварного шва, работу сварщика и сварочного оборудования [1].

Отличительными особенностями предложенной технологии является объективная оценка качества сварочных работ; возможность постоянного контроля работы сварщиков и сварочного оборудования в реальном времени; документальное подтверждение качества сварки каждого соединения.

Технология прошла опытно-промышленные испытания при сварке магистральных трубопроводов в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», внедрена в сварочном производстве ЗАО «Машагропром» (г. Минск), ООО «ИНВЕСТАП-МАИНД» (г. Минск). Реализованная технология значительно превосходит имеющиеся аналоги (регистраторы сварочных процессов) по информативности, позволяет получить документальное подтверждение качества сварки.

Область применения технологии: сварочное производство в машиностроении, автомобилестроении, приборостроении, космической промышленности, атомной энергетике, нефтегазовой отрасли. Дистанционный контроль сварочных процессов позволяет значительно повысить качество сварных соединений, сократить затраты на исправление брака.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция создания информационных систем автоматического контроля работы сварщиков / С. В. Болотов [и др.] // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сб. науч. тр. XI Междунар. науч.-практ. конф. ИММВ-2022, Коломна, 16–19 мая 2022 г.: в 2 т. – Москва: РАИИ, 2022. – Т. 2. – С. 257–268.
2. Intelligent welding control system / S. V. Bolotov [et al.] // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2965. – P. 260–267.
3. **Болотов, С. В.** Регистратор параметров сварочных процессов РСР-БРУ-01 / С. В. Болотов // Современные проблемы машиностроения: сб. тр. XVI Междунар. науч.-техн. конф. – Томск: ТПУ, 2021. – С. 197–198.
4. Регистратор параметров сварочных процессов: заявка ВУ 20210320 / С. В. Болотов, В. Н. Почуйко, Н. К. Бобков. – Оpubл. 27.01.2022.
5. Investigation of the Criteria for Evaluating Electrode Metal Transfer in Short Circuit Gas-Shielded Arc Welding [Electronic resource] / S. V. Bolotov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2021. – № 1118. – P. 0120003. – Mode of access: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1118/1/012003/pdf>.

E-mail: s.v.bolotov@mail.ru, zaharchenkovkv@mail.ru.