



11. Adaptive Video with SCReAM over LTE for Remote-Operated Working Machines / I. Johansson [et al] // Wireless Communications and Mobile Computing. – 2018. – Vol. 2018, No 1. – P. 1–10.
12. Markvardt, R. V. Relevance of using software remote control for roadheader / R. V. Markvardt // Eurasia Science : Proceedings of XI International Scientific Conference, Moscow, 31 October, 2017. – Moscow, 2017. – P. 107–108.
13. Perspectives of applying webrtc for remote-controlled mining equipment / A. A. Kravtsov [et al] // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2020. – Vol. 4. – P. 592–599.
14. Okolnishnikov, V. Modelling of Technological Processes of Underground Coal Mining / V. Okolnishnikov, A. Ordin, S. Rudometov // Computational and Information Technologies in Science, Engineering and Education. – 2019. – Vol. 998. – P. 153–160.

УДК 004.8; 621.791

Программно-аппаратный комплекс регистрации параметров сварочных процессов и управления обучением сварщиков

*Сиваков Л. Ю.¹, Ерохова Д. И.¹, Толыго Н. А.¹,
Юденков М. А.¹, Агаев Р. А.¹, Маршалковский Р. С.²,
Болотов С. В.¹, канд. техн. наук, доцент;
Захарченков К. В.¹, канд. техн. наук, доцент;
Лупачев А. В.³, канд. техн. наук; Еремеев А. Д.³*

¹*Белорусско-Российский университет*

212000, Беларусь, г. Могилев, проспект Мира, 43

²*Белорусский национальный технический университет*

220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

³*ООО «ИНВЕСТАП МАИНД»*

220014, Беларусь, г. Минск, пер. Автодоровский, 15, каб. 16

Аннотация. Целью научной статьи «Программно-аппаратный комплекс регистрации параметров сварочных процессов и управления обучением сварщиков» является разработка и исследование комплекса для оптимизации обучения сварщиков путем мониторинга и анализа параметров сварочных процессов, обработки результатов визуально-измерительного, рентгенографического контроля и механических испытаний для каждого шва. Задачи научной статьи заключаются в разработке программно-аппаратного комплекса, способного регистрировать и анализировать параметры сварочных процессов, исследовании методов сбора и анализа данных сварочных процессов, проведение экспериментов для оценки эффективности комплекса в контексте обучения сварщиков. Для решения поставленных задач осуществляется сбор и анализ данных, их графическое представление. Разработанный комплекс позволяет регистрировать ток, напряжение, температуру, а также проводить анализ параметров сварочных процессов в реальном времени. Результаты исследования эффективности программно-аппа-



ратного комплекса отражаются в улучшении качества обучения сварщиков и сокращении дефектов в сварных соединениях. Представленный комплекс является эффективным средством повышения квалификации сварщиков в различных отраслях, улучшая контроль и управление обучением сварщиков.

Ключевые слова: регистратор сварочных процессов, блок датчиков, мобильное приложение, контроль параметров сварочных процессов, визуально-измерительный контроль, рентгенографический контроль.

Hardware-software registration complex of welding process parameters and welders' training management system

Sivakov L. Y.¹, Erokhova D. I.¹, Tolpygo N. A.¹, Yudenzov M. A.¹, Agaev R. A.¹, Marshalkovskiy R. S.², Bolotov S. V.¹, Zakharchenkov K. V.¹, Lupachev A. V.³, Eremeev A. D.³

¹*Belarus-Russian University;*

²*Belarusian National Technical University;*

³*LLC "INVESTUP MIND"*

Annotation. The scientific article “Software and Hardware Complex for Welding Process Parameter Monitoring and Welder Training Management” aims to develop and study a complex system designed to optimize welder training by monitoring and analyzing welding parameters, processing the results of visual measurement, radiographic control and mechanical test for every weld. The objectives of the scientific article include the development of a software and hardware complex capable of recording and analyzing welding process parameters, researching methods for data collection and analysis of welding processes, and conducting experiments to evaluate the effectiveness of the complex in the context of welder training. To address these objectives, data is collected, analyzed, and presented graphically. The developed complex allows for the registration of current, voltage, temperature, and real-time analysis of welding process parameters. The research results on the effectiveness of the software and hardware complex manifest in the improvement of welder training quality and the reduction of defects in welding joints. This complex serves as an effective tool for enhancing welder qualifications across various industries, improving control, and managing welder training.

Keywords: welding process recorder, sensor block, mobile application, control of welding process parameters, visual-measurement control, radiographic control.

Введение. В ранее проведенных исследованиях было выявлено, что существующие методы обучения сварщиков часто малоэффективны из-за недостаточного контроля параметров сварки. Более того, остаются нерешенными вопросы, связанные с недостаточной автоматизацией мониторинга сварочных процессов и отсутствием средств для непрерывного анализа и коррекции процесса сварки.

Целью настоящего исследования является разработка программно-аппаратного комплекса, предназначенного для регистрации и анализа параметров сварочных процессов с целью улучшения процесса обучения сварщиков. Дан-



ный комплекс позволит непрерывно мониторить и анализировать параметры сварки, что, в свою очередь, улучшит качество обучения и повысит эффективность сварочных процессов.

Основная часть. Программно-аппаратный комплекс разработан с использованием современных технологий [1–3] и включает в себя две основные компоненты: регистратор сварочных процессов (рис. 1) и мобильное устройство с приложением.

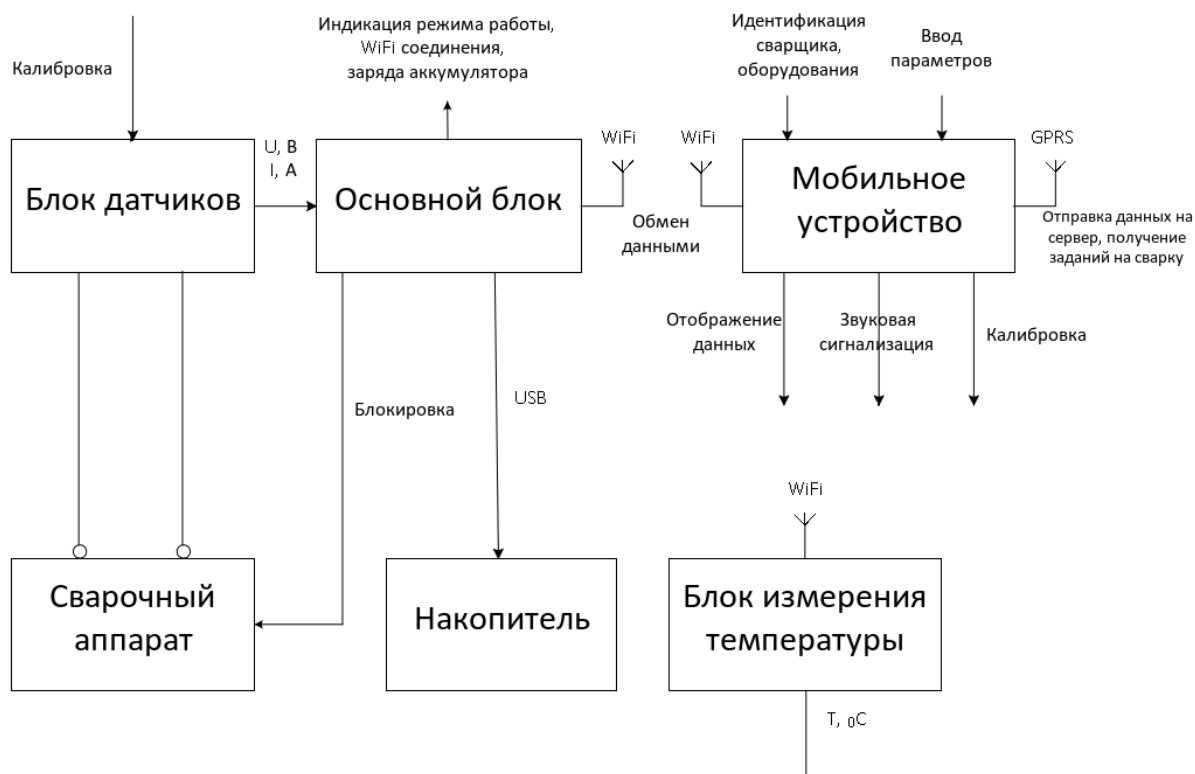


Рис. 1. Структурная схема программно-аппаратного комплекса

Регистратор сварочных процессов состоит из:

– блока датчиков, осуществляющего регистрацию мгновенных значений сварочного тока I и напряжения на дуге U ;

– основного блока, принимающего и обрабатывающего данные о токе и напряжении, осуществляющего индикацию режима работы, WiFi соединения и заряда аккумулятора;

– блока измерения температуры, предназначенного для контактного или бесконтактного измерения температуры предварительного нагрева или температуры околошовной зоны сварного соединения.

Блок датчиков подключается к выходным зажимам сварочного аппарата. Компенсационные датчики тока и напряжения, работающие на эффекте Холла, обеспечивают гальваническую развязку со сварочной цепью, измерение сварочного тока и напряжения на дуге с погрешностью не более 1,5 % [4]. Измерение мгновенных значений тока и напряжения осуществляется на частоте 10 кГц, усреднение измеренных значений производится с частотой 10 Гц [5–6].



Главным элементом основного блока регистратора является контроллер ESP32, на аналоговые входы которого поступают сигналы от блока датчиков. Основной блок имеет автономное аккумуляторное питание с контролем уровня заряда. С помощью светодиодов осуществляется индикация режима работы регистратора, наличия WiFi соединения и уровня заряда аккумулятора. В основной блок регистратора через USB разъем подключается накопитель информации, осуществляющий непрерывную регистрацию данных о параметрах режима сварки. В случае длительного нарушения заданных технологической инструкцией параметров режима сварки, основной блок через контакт встроенного реле осуществляет блокировку работы сварочного аппарата. Основной блок производит обмен данными с мобильным устройством по WiFi каналу [7–9].

Блок измерения температуры имеет автономное аккумуляторное питание. Предусмотрено контактное непрерывное измерение температуры в зоне сварного соединения с помощью термопары К-типа с погрешностью до ± 5 °C или бесконтактное кратковременное измерение температуры предварительного нагрева зоны сварки пирометром на расстоянии до 0,5 м с погрешностью до ± 3 °C. Блок измерения температуры осуществляет обмен данными с мобильным устройством по WiFi каналу.

Корпуса основного блока, блока датчиков и блока измерения температуры напечатаны на 3D-принтере с помощью экологически чистых, новейших технологий [10].

Мобильное устройство (рис. 1) позволяет производить идентификацию сварщика и сварочного аппарата, вводить необходимые параметры для работы регистратора сварочных процессов. Мобильное устройство осуществляет отображение регистрируемых параметров сварочных процессов, температуры предварительного нагрева и околошовной зоны, калибровку блока датчиков. Отправка регистрируемых данных на сервер, получение заданий на сварку производится по GPRS каналу [8].

Программная часть системы, связанная с регистрацией параметров сварочных процессов, предоставляет множество полезных функций и возможностей для облегчения процесса мониторинга и анализа результатов работы сварщиков [11].

Для обеспечения безопасности и конфиденциальности данных, система предоставляет возможности управления доступом, определяя, кто имеет доступ к определенным возможностям приложения. Администратор имеет права на калибровку сварочного оборудования, когда сварщик имеет доступ только к двум режимам сварки: ручной и автоматический режимы.

Сварщики могут наблюдать параметры сварочных процессов в реальном времени, используя интерфейс мобильного приложения. Приложение предоставляет пользователю возможность мониторинга и анализа данных, что помогает в обучении сварщиков. Пользователи могут подключать оборудование, выбирать задания для сварки, просматривать графики и диаграммы параметров тока и напряжения в режиме реального времени (рис. 2).

Система поддерживает одновременный мониторинг нескольких параметров, таких, как ток, напряжение, температура, что обеспечивает полную информацию о процессе. Добавлена возможность точечного просмотра значений параметров в определенной точке.



Параметры сварки отображаются в виде графиков и диаграмм, что делает их анализ более наглядным и понятным. Пользователи могут выбирать интересные их параметры для мониторинга и сравнения.

Система способна автоматически выявлять выход параметров сварочных процессов за пределы допустимых значений и уведомлять пользователя об этом посредством звукового сигнала. Так по результатам мониторинга сварочных процессов на рис. 2 можно заключить, что сварщиком в отдельные сессии сварки допущены выходы за установленные технологической инструкцией минимальное значение сварочного тока 270 А и максимальное значение 315 А.

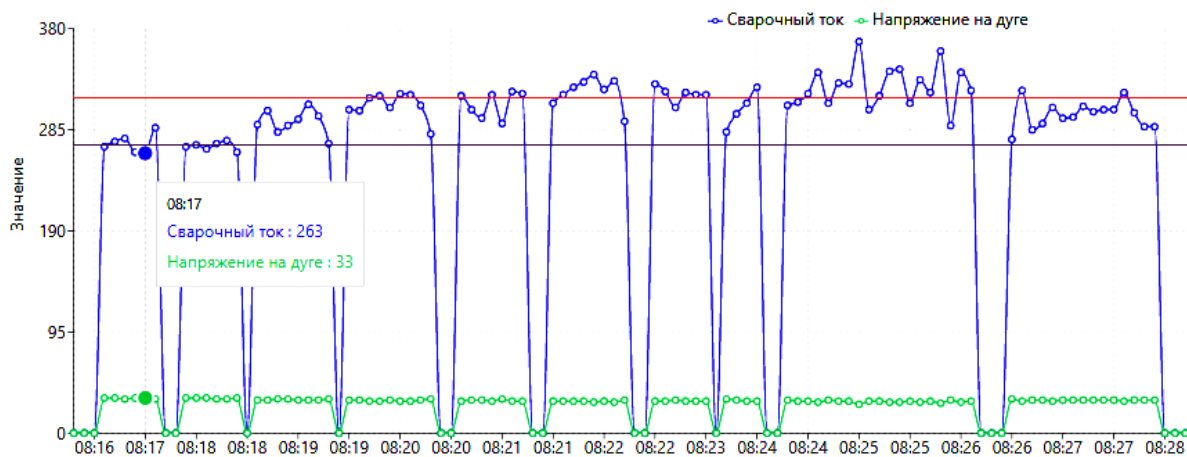


Рис. 2. Результаты мониторинга сварочных процессов

Все данные о сварочных процессах записываются и сохраняются для последующего анализа и отчетности памяти телефона, так и на сервере [4; 12]. При сбоях в подключении к интернету, добавлена возможность кеширования информации процесса сварки для последующей отправки на сервер [13; 14].

Для технического надзора доступна функция калибровки сварочного оборудования. Значения калибровочных коэффициентов для сварочного оборудования хранятся в памяти микроконтроллера. Режим калибровки представляет собой интерфейс мобильного приложения для изменения и просмотра калибровочных коэффициентов. Для сотрудника с ролью технического надзора отображаются текущие значения коэффициентов и значения параметров сварочного оборудования. Для корректировки калибровочных коэффициентов используются элементы пользовательского интерфейса.

Мобильное приложение работает на базе системы мониторинга, которое представляет собой серверное решение [4; 13]. Система предоставляет данные о сотрудниках, включая руководителей сварочных работ, сварщиков и технический надзор. На основе занимаемой должности предоставляется информация об авторизованном пользователе для доступа к нужному функционалу [12; 13].

Система мониторинга имеет возможность обрабатывать информацию об изделиях, деталях и сварных швах, предоставляет информацию о доступном оборудовании. Пользователь может вводить, изменять и искать данные об изделиях, узлах, деталях, сварных швах и оборудовании. Система мониторинга также выполняет функции и задачи обработки информации заданий. Для предоставле-



ния сварщику технологических инструкций предусмотрены функции фильтрации соответствующих данных [8; 15].

Визуальный интерфейс системы мониторинга представляет собой веб-приложение, которое предоставляет администраторам инструменты для управления правами доступа к системе, паспорта сварного шва, отчетов о работе сварщиков и сварочного оборудования, обеспечивая повышение эффективности управления персоналом [15; 16].

Программное обеспечение для обучения сварщиков [17] реализует обработку данных о сварщиках, ввод, добавление и изменение информации о конкурсах и номинациях конкурсов, в которых участвует каждый сварщик, видах сварочных работ, которые выполняет сварщик в процессе обучения и аттестации. Качество сварочных работ в процессе обучения оценивается с учетом размеров, формы, материала заготовки и технологического процесса сварки. При проведении конкурса и аттестации сварщиков с целью формирования объективной непредвзятой оценки каждому сварщику и образцу присваивается QR-код либо RFID-метка, что обеспечивает возможность объективной непредвзятой оценки сварочных образцов конкурсной комиссией. Члены конкурсных и аттестационных комиссий оценивают образцы, не зная, кто из сварщиков выполнял сварку образца [17].

По результатам конкурсных работ, контроля сварочных работ в процессе обучения и аттестации сварщиков в базе данных сохраняется информация о результатах визуально-измерительного и рентгенографического контроля (для свариваемых труб и пластин), о качестве и времени сборки и сварки, о выполнении требований охраны труда, о результатах выполнения теоретического теста, о расходе сварочных материалов и о результатах механических испытаний (для арматуры). По результатам рентгенографического контроля в базе данных сохраняются снимки каждого образца. На основании представленных результатов формируется итоговая оценка работы каждого сварщика с учетом штрафных баллов за нарушения, допущенные в процессе сварки. При уточнении значений исходных данных осуществляется автоматический пересчет оценок результатов выполнения сварочных работ [17].

По результатам конкурса, контроля обучения и аттестации формируются итоговый и подробные отчеты в формате Excel. В итоговом отчете содержатся данные обо всех дефектах сварных швов, выявленные по результатам визуально-измерительного, рентгенографического контроля (для труб и пластин) и механическим испытаниям (для арматуры) по всем номинациям и видам работы с указанием количества дефектов по каждой номинации. В подробных отчетах, формирующихся для каждой номинации и вида работ, для каждого сварщика указываются все дефекты, выявленные по результатам визуально-измерительного и рентгенографического контроля (для труб и пластин) и механических испытаний (для арматуры).

Программное обеспечение для обучения сварщиков представляет собой веб-приложение, обеспечивающее автоматизацию хранения и обработки информации о результатах визуально-измерительного, рентгенографического контроля (для труб и пластин) и о результатах механических испытаний (для арматуры) [17]. При запуске приложения отображается главная страница, содер-



жащая навигационное меню, с помощью которого происходит переход на другие страницы приложения.

С главной страницы осуществляется переход к страницам с информацией о сварщиках, видах сварочных работ, выполняющихся в процессе обучения, соответствующих номинациях конкурсов и аттестациях сварщиков. Соответствующие формы обеспечивают ввод, изменение, удаление, сортировку и поиск информации по различным критериям о сварщиках, видах сварочных работ, выполняющихся в процессе обучения, и соответствующих номинациях конкурсов, результатах контроля сварочных работ в процессе обучения, проведения конкурсов и аттестации.

Программное обеспечение для обучения сварщиков [17] позволяет оперативно получать информацию о результатах обучения, участия в конкурсах и аттестации. Детализация информации о результатах работ, получаемая из отчетов о результатах визуально-измерительного и рентгенографического контроля (для труб и пластин), результатов механических испытаний (для арматуры) позволяет оценить, какие ошибки совершает сварщик в процессе выполнения работ. Результаты анализа отчетов позволяют эффективно управлять обучением сварщиков за счет целенаправленного устранения ошибок в работе, выявленных в процессе обучения, проведения конкурсов и аттестации.

Использование QR-кодов и RFID-меток для идентификации сварщиков и сварочных образцов позволяет повысить объективность и непредвзятость оценки членов аттестационных и конкурсных комиссий за счет оценки сварочных образцов при отсутствии у оценивающих информации о том, кто из сварщиков какой образец варил. Объективная оценка позволяет создать конкурентную среду, в которой более квалифицированные сварщики, получающие более высокие оценки по результатам обучения, конкурсов и аттестаций, будут выполнять более сложные и высокооплачиваемые работы, по которым они прошли аттестацию [17].

Наличие нескольких видов оценки работы сварщиков позволяет анализировать различные аспекты работы сварщика, определять недостающие ему знания, умения и навыки. Это помогает определять направления обучения сварщика в зависимости от его квалификации, обучения, аттестации с учетом потребностей рынка.

Разработанное программное обеспечение может использоваться в образовательных учреждениях, в организациях, занимающихся обучением и аттестацией сварщиков; на промышленных предприятиях, где сварка является одним из основных производственных процессов; в лабораториях, занимающихся анализом сварочных процессов; при проведении конкурсов сварщиков.

Аппаратные решения для обмена данными и серверный компонент разработанного комплекса успешно прошли апробацию и используются в ОАО «БелАЗ» и РУП «Белоруснефть» для регистрации параметров сварочных процессов, контроля сварных швов, формирования отчетов о работе сварщиков и сварочного оборудования, автоматической оценки работы сварщиков.

Заключение. Представленный в статье программно-аппаратный комплекс обеспечивает регистрацию, обработку, анализ и визуализацию данных о параметрах сварочных процессов в реальном времени с помощью мобильного при-



ложения. Программное обеспечение обучения сварщиков позволяет обрабатывать данные о результатах визуально-измерительного и рентгенографического контроля (для труб и пластин), механических испытаний (для арматуры), формировать отчеты по результатам оценки сварки контрольных образцов в процессе обучения, аттестации и проведения конкурса сварщиков.

Реализация мобильного приложения позволяет перенести все расчеты на мобильные устройства, минимизируя функционал и стоимость аппаратной части разработанного комплекса. Аппаратные решения, мобильное приложение и серверный компонент разработанного комплекса успешно прошли апробацию в Центре сертификации и испытаний Белорусско-Российского университета, в ООО «ИНВЕСТАП-МАИНД». Программное обеспечение для управления обучением сварщиков успешно прошло апробацию при проведении конкурсов сварщиков в 2022 и 2023 годах.

Литература

1. Концепция создания информационных систем автоматического контроля работы сварщиков / С. В. Болотов [и др.] // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции (ИММВ-2022, Коломна, 16–19 мая 2022 г.). В 2 т. – М. : РАИИ, 2022. – Т. 2. – С. 257–268.

2. Болотов, С. В. Технология дистанционного контроля и регистрации сварочных процессов / С. В. Болотов, К. В. Захарченков, Н. К. Бобков // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: сб. ст. 8-й Междунар. науч.-техн. конф. / Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2022. – С. 42–48.

3. Болотов, С. В. Технология повышения эффективности контроля сварочных процессов в интеллектуальной системе welding control / С. В. Болотов, К. В. Захарченков, Е. В. Макаров, В. А. Фурманов // Энергетика, информатика, инновации – 2021 : Сб. трудов XI-й Межд. науч.-техн. конф. В 2 т. – 2021. – Т. 2. – С. 227–230.

4. Болотов, С. В. Разработка блока датчиков сварочного тока и напряжения на дуге / С. В. Болотов, А. В. Янкович, Н. К. Бобков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. / ред. кол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 318.

5. Bolotov, S. V. Investigation of the Criteria for Evaluating Electrode Metal Transfer in Short Circuit Gas-Shielded Arc Welding [Electronic resource] // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering: IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 2021. – № 1118. – P.0120003. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1118/1/012003/pdf>.

6. Болотов, С. В. Информационно-измерительный комплекс для исследования процессов плавления и переноса электродного металла при дуговой сварке / С. В. Болотов [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2020. – № 6 (91). – С. 4–11.

7. Болотов, С. В. Структура установки для управления и контроля процесса дуговой сварки / С. В. Болотов, Н. А. Толпыго, Н. К. Бобков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования



Рос. Федерации, Беларус.-Рос. ун-т ; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2023. – С. 370–371.

8. Болотов, С. В. Реализация сбора данных в автоматизированной системе регистрации сварочных процессов / С. В. Болотов, В. Н. Почуйко, Н. К. Бобков // ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2021: Сб. трудов XI-й Межд. науч.-техн. конф. В 2 т. – 2021. – Т. 2. – С. 3–6.

9. Пат. 12889, МПК В23К 9/10. Регистратор параметров сварочных процессов / С. В. Болотов, В. Н. Почуйко, Н. К. Бобков; заявка № и 20210320, заявл. 13.12.2021; опубл. 01.04.2022.

10. Болотов, С. В. Разработка печатных плат и корпуса регистратора сварочных процессов / С. В. Болотов, Н. К. Бобков, Е. Л. Болотова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]; Могилев, 22–22 апреля 2022 г. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2022. – С. 350.

11. Intelligent welding control system / S. V. Bolotov, K. V. Zakharchenkov, E. Makarov, V. Furmanov // CEUR Workshop Proceedings, 2021. – P. 260–267.

12. Болотов, С. В. Разработка автоматизированной системы регистрации сварочных процессов / С. В. Болотов, К. В. Захарченков, Н. К. Бобков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]; Могилев, 22–22 апреля 2022 г. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2022. – С. 20–22.

13. Болотов, С. В. Система автоматизированного контроля работы сварщиков и качества сварочных работ / С. В. Болотов, Е. В. Макаров, В. А. Фурманов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]; Могилев, 22–23 апреля 2021 г. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 358.

14. Свидетельство о регистрации компьютерной программы № 1475 Республика Беларусь. Автоматизированная система регистрации сварочных процессов / С. В. Болотов, К. В. Захарченков, В. А. Фурманов, Е. В. Макаров; заявитель и правообладатель Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет»; заявл. 13.12.2021; опубл. 24.01.2022. – 1 с.

15. Состав и структура программно-аппаратного комплекса контроля эффективности работы оборудования и идентификации персонала / В. В. Войтов [и др.] // Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей Научное издание. Под общей редакцией Т. Ю. Коротковой, сост. М. С. Липатов, Е. Н. Лашина. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 273–277.

16. Болотов, С. В. Автоматизированная система контроля качества дуговой сварки / С. В. Болотов, К. В. Захарченков, В. П. Куликов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2023. – № 3 (80). – С. 144–152.

17. Программа управления подготовкой сварщиков WELDINGTRAINING: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023613932 Российская Федерация / М. А. Юденков, Р. А. Агаев, К. В. Захарченков, А. Д. Еремеев, А. В. Лупачев, А. Г. Кротова. – № 2023613932; заявл. 23.10.2022; опубл. 21.02.2023.