

В. А. Галкин



Е. М. Вышемирский



С. И. Полосков

УДК 621.791.754'29

В. А. Галкин, инж. (НПП «Технотрон»),

А. В. Шипилов, инж.,

Е. М. Вышемирский, канд. техн. наук

(ОАО «Газпром»),

С. И. Полосков, д-р техн. наук (ФГУ НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н. Э. Баумана)

sales@tehnotron.ru

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ TIG-СВАРКИ С ПОДАЧЕЙ ПРИСАДОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ

Показано, что одним из важных резервов обеспечения поставки качественной продукции с минимальными затратами и в сжатые сроки является применение блочно-модульного принципа конструирования. На основе этого принципа разработан параметрический ряд автоматов «ОКА», предназначенных для орбитальной TIG-сварки трубопроводов диаметром 18 – 220 мм с подачей присадочной проволоки. Проведенные квалификационные испытания оборудования показали целесообразность его применения не только при ремонте, но и при монтаже компрессорных станций. Головная партия автоматов «ОКА» отправлена в опытно-промышленную эксплуатацию дочерним предприятиям ОАО «Газпром».

Ключевые слова: автоматическая орбитальная сварка, аппаратура управления, компрессорная станция, сварочный автомат, сварочный источник, трубопровод, центратор.

Введение. В настоящее время на целом ряде потенциально опасных объектов увеличивается объем использования автоматических способов сварки [1, 2]. Комплекс работ, проведенный [3] при монтаже и ремонте трубопроводов компрессорных станций, показал перспективность применения автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом в инертных газах (TIG-сварки). Важным фактором ее практической реализации является не только разработка технологии сварки, обеспечивающей получение требуемых формы и размеров швов [4], но и создание необходимого сварочного оборудования.

Ориентация на потребителя требует организации производства, обеспечивающей поставку качественной продукции с минимальными затратами и в сжатые сроки [5]. Один из резервов решения этой проблемы – применение типовых конструкторских решений, основанных на принципах унификации и стандартизации, устранении необоснованного многообразия типов и конструкций изделий и деталей, их форм, размеров, марок материалов. Блочно-модульный принцип четко прослеживается в разработках ведущих мировых производителей сварочного оборудования. Он позволяет им в максимально короткие сроки разрабатывать оборудование под конкретные задачи, оперативно удовлетворяя требования потребителей. Однако в отечественных разработках он прослеживается не столь явно.

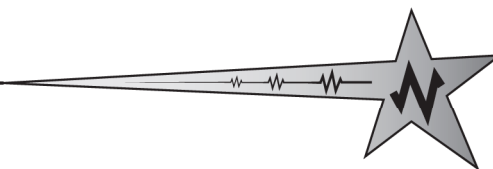
Цель работы – рассмотрение комплекса вопросов по созданию гаммы автоматов для орбитальной сварки неплавящимся электродом на основе модульных компонентов и агрегатов.

На основании накопленного опыта [6] сформулированы следующие задачи: выбор оптимальных решений по созданию блочно-модульных компонентов, узлов и агрегатов; реализация выбранных решений в оборудовании; проведение квалификационных испытаний, определение рациональных областей применения технологий сварки и оборудования.

Выбор оптимальных решений по созданию параметрического ряда автоматов на основе модульных компонентов, агрегатов и необходимой элементной базы. Так как объединенное в группу по определенному признаку оборудование называется параметрическим рядом, а его части – гаммой, то произведена общая классификация сварочных автоматов по диаметру свариваемых труб; реализуемым процессам сварки; составу, типу приводов и комплектации. Специфика сварочных работ обусловила создание автоматов как функционально делимых структур (рис. 1), когда на стык устанавливается только сварочная головка, а источник и аппаратура управления находятся вне рабочей зоны.



Рис. 1. Характерная структура орбитальных сварочных автоматов



Такая структура позволяет скомпоновать из блочно-модульных компонентов автомат под определенный объект или конкретную задачу.

При анализе конструкторских решений были использованы следующие взаимодополняющие подходы, обобщенные в работе [7]:

- конструирование оборудования с конструктивно-заменяемыми узлами, единым рядом разъемов и присоединяемых элементов;
- применение в качестве базовой модели наиболее простого по технологическим возможностям автомата с последующим наращиванием его функциональных возможностей либо наиболее сложного – с последующим упрощением его конструкции.

При создании параметрического ряда автоматов с использованием конструктивно-заменяемых блоков и модулей в качестве оптимизирующего параметра целесообразно выбирать диаметр и толщину свариваемых труб, так как они определяют технологию сварки, а следовательно, технологические параметры процесса [8]. При этом, с точки зрения единства в подходе к проектированию оборудования, в качестве базовых блоков и модулей целесообразно выбирать наиболее технологически сложные компоненты с возможностью их упрощения по реализуемым процессам сварки.

Реализация выбранных решений в параметрическом ряду сварочных автоматов. Проведенный анализ показал, что проектируемый ряд автоматов должен, в первую очередь, обеспечить сварку трубопроводов диаметром 18 – 220 мм из сталей перлитного класса. При этом сварочные головки по условию однотипности трубопроводов должны быть объединены в единую гамму, обеспечивающую сварку труб диаметром 18 – 45, 40 – 80, 70 – 140 и 120 – 220 мм. В соответствии с поставленными задачами была определена необходимость разработки базовых модулей, агрегатов и устройств, приведенных в табл. 1. Широкое использование принципов агрегатирования требует применения унифицированных деталей, узлов и механизмов. Для примера в табл. 2 приведен состав унифицированных деталей, узлов и механизмов гаммы сварочных головок, предназначенных для TIG-сварки с присадочной проволокой труб диаметром 18 – 220 мм.

Рассмотренные принципы агрегатирования и перспективной унификации использовали при анализе и последующем проектировании других агрегатов и устройств параметрического ряда автоматов. Особое внимание при этом было уделено унификации стыковочных элементов агрегатов, блоков и модулей.

Имея отработанные конструкции не более восьми агрегатов, узлов и механизмов и разрабатывая новые только корпусные детали и узлы фиксации сварочной головки на трубе, можно комплектовать 10–12 видов орбитальных сварочных автоматов,

различающихся по конструктивному исполнению, техническим характеристикам и условиям эксплуатации (см. табл. 1 и 2).

Для орбитальной сварки стыков труб диаметром 18 – 220 мм разработали четыре сварочные головки, получившие в зависимости от диаметра трубы соответствующие индексы: «ОКА» 18 – 45, «ОКА» 40 – 80, «ОКА» 70 – 140 и «ОКА» 120 – 220.

Головки «ОКА» в зависимости от диаметра свариваемых труб различаются по конструктивному исполнению. Так, головки «ОКА» 18 – 45 и «ОКА» 40 – 80 – наиболее простой в эксплуатации инструмент для автоматической сварки труб. Механическое устройство контроля длины дуги обеспечивает поддержку установленной величины при сварке труб, имеющих овальность. Данные головки предназначены для сварки с присадочной проволокой, так как модуль подачи проволоки входит в стандартную комплектацию, но их можно применять и для сварки труб без подачи проволоки (механизм подачи проволоки легко снимается).

Головки для орбитальной сварки «ОКА» 70 – 140 и «ОКА» 120 – 220 способны воспроизводить все точные движения высококвалифицированного сварщика ручной аргодуговой сварки, для этого они оснащены механизмами АРНД и колебания дуги в разделке. Обе головки специально предназначены для многопроходной сварки труб с самыми строгими требованиями к качеству продукции. Минимальные установочные длина и радиус вращающихся частей предопределили возможность установки и функционирования головок «ОКА» даже в очень ограниченном околошовном пространстве между пучками труб. Гамма сварочных головок «ОКА» для сварки труб диаметром 18 – 220 мм приведена на рис. 2.

Техническая характеристика сварочных головок «ОКА»

	«ОКА» 18 – 45	«ОКА» 40 – 80	«ОКА» 70 – 140	«ОКА» 120 – 220
Диаметр свариваемых труб, мм	18 – 45	40 – 80	70 – 140	120 – 220
Толщина стенки трубы, мм	≤ 6	≤ 8	≤ 20	≤ 28
Максимальный ток сварки, А	120	160	200	200
Максимальная скорость сварки, об/мин	6,2	6,7	6,9	7,6
Диаметр присадочной проволоки, мм		0,8 – 1,2		
Скорость непрерывной подачи проволоки, м/ч		8 – 72		
Радиус вращающихся частей, мм	80	100	160	200
Установочная длина, мм	≥ 130	≥ 140	≥ 210	≥ 220
Масса головки (без токогазовых коммуникаций), кг	6,7	8,0	18,0	26,0

Таблица 1

Диаметр свариваемых труб, мм	Составные части сварочного автомата												
	Сварочная головка для сварки труб диаметром, мм				Аппаратура управления				Специализированный сварочный источник	Вспомогательные устройства			
	18 – 45	40 – 80	70 – 140	120 – 220	Упрощенный микропроцессный модуль	Универсальный микропроцессный модуль	Упрощенный пульт сварщика	Универсальный пульт сварщика		Автономная система охлаждения	Устройство для сборки труб диаметром 18 – 80 мм	Устройство для сборки труб диаметром 70 – 220 мм	Токогазовые коммуникации
18 – 45	●	○	○	○	●	●	●	●	●	○	●	○	●
40 – 80	○	●	○	○	●	●	●	●	●	○	●	○	●
70 – 140	○	○	●	○	○	●	○	●	●	●	○	●	●
120 – 220	○	○	○	●	○	●	○	●	●	●	○	●	●

Обозначение. Затемненные кружочки обозначают, что оборудование применяется, светлые – не применяется.

Таблица 2

Диаметр свариваемых труб, мм	Механизм вращения головки				Механизм подачи проволоки	Механизм АРНД	Механизм колебаний горелки	Катушка для проволоки			Горелка			Корпус с направляющими для сварки труб диаметром, мм			
	Мотор-редуктор (исполнение 1)	Мотор-редуктор (исполнение 2)	Мотор-редуктор (исполнение 3)	Мотор-редуктор (исполнение 4)				Исполнение 1	Исполнение 2	Исполнение 3	Исполнение 1	Исполнение 2	Исполнение 3	18 – 45	40 – 80	70 – 140	120 – 220
18 – 45	●	○	○	○	●	○	○	●	○	○	○	●	○	○	○	○	
40 – 80	○	●	○	○	●	○	○	○	●	○	○	●	○	○	○	○	
70 – 140	○	○	●	○	●	●	●	○	○	●	○	○	○	○	○	○	
120 – 220	○	○	○	●	●	●	●	○	○	●	○	○	○	○	○	○	

Обозначение. АРНД – автоматическое регулирование напряжения дуги; ●, ○ – см. табл. 1.

Для увеличения срока службы вольфрамовых электродов предусмотрена возможность принудительного охлаждения горелок от автономной системы охлаждения.

Существуют две основные концепции аппаратного обеспечения процессов автоматической орбитальной сварки трубопро-

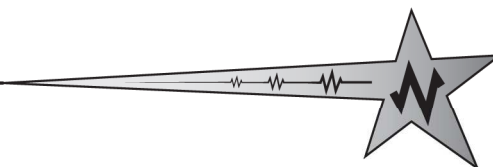
водов: исполнение сварочных источников, совмещенных с аппаратурой управления, и раздельное исполнение источника питания и аппаратуры – в виде отдельных блоков. Сбор и анализ сведений о предпочтениях потребителей показал целесообразность изготовления аппаратуры в виде отдельного блока, так как это повышает маневренность автоматов и их ремонтпригодность.

Для реализации большинства известных процессов орбитальной TIG-сварки [9, 10] разработан специальный сварочный источник ДС 200.33А, предназначенный для совместного применения с микропроцессорной аппаратурой управления.

Так как в современной силовой электронике применяют мощные IGBT-модули на базе биполярных транзисторов с изолированным затвором, то основой схемы источника стал двухтактный инвертор, выполненный на IGBT-модулях с соответствующими драйверами. Выходной выпрямитель – двухполу-



Рис. 2. Гамма сварочных головок ОКА



периодный. Ток изменяется путем широтно-импульсного регулирования. Для защиты источника от перегрева на охладителях силовых модулей установлены датчики температуры.

Источник имеет крутопадающую («штыковую») ВАХ, устойчивую регулировку тока от 5 А, высокую стабильность параметров процесса сварки и возможность плавного снижения тока при заварке кратера. Отличительная особенность источника – наличие газового клапана для обеспечения аргонодуговой сварки и возможность регулировки параметров продувки газа до возбуждения дуги и после прекращения процесса сварки.

Источник обладает следующими преимуществами: высокими сварочно-технологическими характеристиками благодаря программируемой циклограмме работы; возможностью задачи всех параметров сварки в цифровом виде; возможностью быстрого изменения сварочного тока за счет применения пульта дистанционного управления; высокой эластичностью сварочной дуги за счет высокой частоты преобразования сварочного тока; малой массой, делающей удобным его применение в монтажных условиях за счет применения источника инверторного типа; простотой в управлении и обслуживании за счет использования мнемонических символов на панели управления.

Источник ДС 200.33А имеет микропроцессорное управление, что обеспечивает улучшение его динамических свойств, и оперативную память характерных режимов сварки для быстрой перенастройки требуемых параметров. При этом контроль тока и напряжения осуществляется по показаниям цифрового индикатора, а контроль расхода газа – встроенным ротаметром.

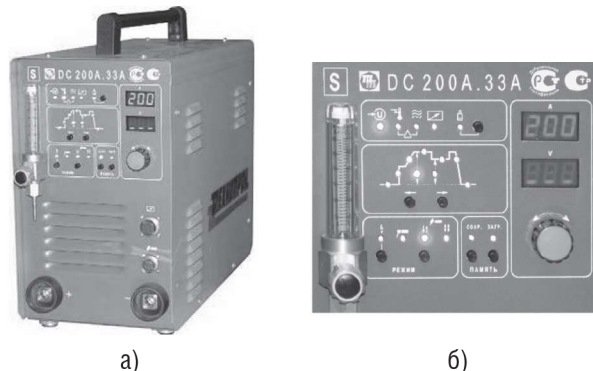
Источник может работать как в непрерывном, так и импульсном режиме работы. При этом непрерывный режим обеспечивает выполнение сварки сварочным током неизменной величины. Импульсный режим работы характеризуется чередованием импульсов сварочного тока разной величины. Регулируемыми параметрами в данном режиме являются ток в импульсе, ток в паузе, время импульса и время паузы.

Общий вид сварочного источника ДС 200.33А приведен на рис. 3.

В источнике предусмотрено его автоматическое отключение при перегреве, отсутствии одной из фаз питающего напряжения или снижении питающего напряжения более чем на 15 %.

Техническая характеристика источника питания ДС 200.33А

Режим работы.....	Непрерывный/Импульсный
Сварочный ток (плавнорегулируемый), А.....	5 – 200
Регулировка тока импульса/паузы, А.....	10 – 200
Регулировка времени импульса/паузы, с.....	0,1 – 10,0
Номинальный режим работы ПН, % (при 20 °С).....	100
Напряжение питания сети, В.....	380 (+10 %, -15 %)
Потребляемая мощность, кВт·А.....	≤ 11
Габаритные размеры, мм.....	564 x 220 x 431
Масса, кг.....	27



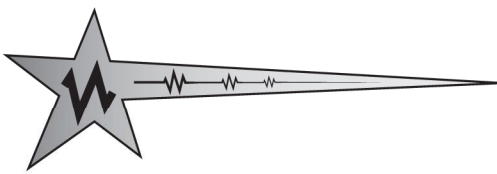
а) б)
Рис. 3. Общий вид сварочного источника ДС 200.33А (а) и его панели управления (б)

Для совместного управления сварочными головками и источником, а также реализации как современных, так и перспективных процессов орбитальной сварки с присадочной проволокой разработана микропроцессорная аппаратура управления ДС САУ 4.33, которая синхронизирует совместную работу сварочной головки и источника питания, обеспечивая реализацию следующих функций: воспроизводство выбранной технологии ТIG-сварки; обеспечение заданного цикла сварки, включая первичное возбуждение дуги и «заварку кратера»; разделение зоны сварки по секторам и автоматическое формирование режима сварки в каждом секторе в зависимости от пространственного положения горелки; управление многопроходной сваркой с заданием режимов в каждом проходе; запись задаваемых оператором с клавиатуры параметров сварки в оперативную память; длительное запоминание программ сварки; предотвращение аварийных ситуаций.

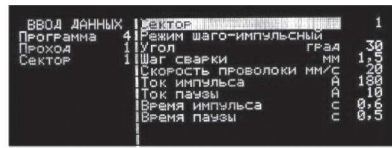
Разработано два варианта исполнения аппаратуры управления ДС САУ 4.33: упрощенный вариант, предназначенный для использования со сварочными головками «ОКА» 18 – 45 и «ОКА» 40 – 80, в котором функции АРНД и колебаний горелки не предусмотрены, а число электроприводов составляет два, и универсальный – с четырьмя электроприводами. В зависимости от исполнения, аппаратура обеспечивает не только поддержание выбранных режимов сварки, в том числе тока и напряжения дуги, скорости сварки и подачи проволоки, но и скорости и амплитуды колебаний горелки, автоматическое поддержание длины дуги блоком АРНД и т.д.

Благодаря микропроцессорному управлению аппаратура управления ДС САУ 4.33 обеспечивает непрерывный импульсный режим сварки, управляя сварочным источником, шаго-импульсный режим сварки, управляя перемещением сварочной горелки.

При сварке с колебаниями возможна реализация не только традиционного перемещения электрода поперек разделки, но и сложных колебаний с изменением скорости его поперечного перемещения или задержками электрода у кромок разделки. Аппаратура обеспечивает разнообразные варианты подачи присадочной проволоки, в том числе непрерывную; импульсную,



а)



б)

Рис. 4. Общий вид аппаратуры управления ДС САУ 4.33 (а) и панели программатора (б)

синхронизированную с импульсами тока; импульсную, синхронизированную не только с импульсами тока, но и положением электрода в разделке стыка.

Общий вид аппаратуры управления приведен на рис. 4.

Техническая характеристика аппаратуры управления ДС САУ 4.33

Число электроприводов	2/4
Напряжение питания электроприводов, В	48
Кратность регулировки электропривода	1: 20
Стабильность электропривода, %	≤ 2
Шаг перемещения головки при шаго-импульсном режиме, мм	0,5 – 3,0
Шаг перемещения проволоки при импульсной подаче, мм	3 – 40
Программируемый ток источника, А	5 – 200
Программируемое время импульса/паузы источника, с	≤ 10,0
Регулируемое время продувки газа до начала сварки, с	2 – 40
Регулируемое время обдува после завершения сварки, с	5 – 20
Напряжение питания аппаратуры, В	~36
Потребляемая мощность, кВт·А	0,15
Габаритные размеры, мм	470 x 242 x 298
Масса аппаратуры (без коммуникаций), кг	10

В зависимости от функциональной полноты аппаратуры управления, для оперативной корректировки режимов сварки разработано два пульта дистанционного управления: упрощенный – для работы со сварочными головками «ОКА» 18 – 45, «ОКА» 40 – 80 и универсальный – для работы как с головками «ОКА» 70 – 140 и «ОКА» 120 – 220, так и головками «ОКА» 18 – 45, «ОКА» 40 – 80. Для удобства работы с пультом регулировка каждого технологического параметра выделена отдельным вертикальным блоком. При этом верхняя кнопка всегда обеспечивает увеличение значения параметра, нижняя – его уменьшение. На рис. 5 приведен универсальный пульт.

Система оперативного контроля функционально входит в аппаратуру управления и обеспечивает регистрирование параметров сварки конкретных стыков, сравнение их с исходными параметрами, определенными выбранной технологией сварки, выявление отклонений и последующее формирование электронных протоколов сварки.

Вспомогательные устройства для качественной сварки

труб. К числу технологических операций, обеспечивающих высокое качество сварных соединений, кроме самой сварки, относятся подготовка кромок стыков труб к сварке [11], сборка труб [12] и, в случае необходимости, защита корня шва изнутри трубы [9]. Эти операции выполняются с применением специальных устройств и механизмов, среди которых особое место занимают устройства для сборки труб под сварку. Так как для обеспечения стабильности качества сварку целого ряда соединений необходимо выполнять без прихваток, то для сборки труб под автоматическую сварку применяют центрирующие устройства двух типов: для сборки и прихватки стыка с последующей сваркой со снятым центратором и для сборки с последующей автоматической сваркой без прихваток. Центраторы для сварки труб на прихватках подробно описаны в работе [12], поэтому рассмотрим устройства, обеспечивающие сборку труб без прихваток (рис. 6).

В процессе проведенных работ установлено, что для качественной сборки трубопроводов под сварку без прихваток необходимы центраторы двух типоразмеров: для труб диаметром 18 – 80 и 70 – 220 мм, а для сборки на прихватках – трех типоразмеров: для труб диаметром 18 – 80, 70 – 140 и 120 – 220 мм.

Квалификационные испытания, определение рациональных областей применения технологий сварки и оборудования. Представленное в данной работе оборудование для автоматической орбитальной сварки трубопроводов обвязки компрессорных станций прошло квалификационные испытания в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и вошло в реестр оборудования, рекомендованного для применения на объектах ОАО «Газпром».

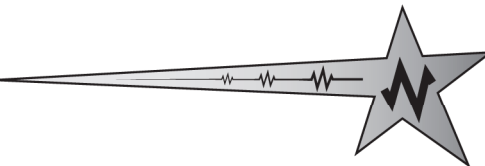
По результатам испытаний автоматы ОКА рекомендованы к применению при сварочных работах не только на действующих, но и строящихся компрессорных станциях ОАО «Газпром», в том числе, на таком уникальном объекте, как компрессорная



Рис. 5. Общий вид универсального пульта дистанционного управления



Рис. 6. Схема сборки труб под сварку без прихваток



станция «Портовая», предназначенном для увеличения давления газа до 22 МПа и последующей его подачи через морской участок Северо-Европейского газопровода (Nord Stream).

Головная партия автоматов «ОКА» отправлена в опытно-промышленную эксплуатацию дочерним предприятиям ОАО «Газпром», однако данное оборудование может применяться и в других отраслях промышленности – судостроении, химическом и энергетическом машиностроении, авиа- и ракетостроении.

Выводы

1. Одним из важных резервов обеспечения поставки качественной продукции с минимальными затратами и в сжатые сроки является применение типовых конструкторских решений, которые должны основываться на принципах унификации и стандартизации, устранении необоснованного многообразия типов и конструкций изделий и деталей, их форм, размеров, марок материалов.

2. Имея отработанные конструкции не более восьми агрегатов, узлов и механизмов и разрабатывая новые только корпусные детали и узлы фиксации сварочной головки на трубе, по запросам потребителей можно комплектовать целый ряд орбитальных сварочных автоматов, различающихся по конструктивному исполнению, техническим характеристикам и условиям эксплуатации.

3. В зависимости от диаметра свариваемых труб параметрический ряд автоматов «ОКА» предусматривает в своем составе две стандартные модели из унифицированных элементов, охватывающих диапазон диаметров труб 18 – 80 мм, с механическим устройством контроля длины дуги и два более высокотехнологичных автомата для сварки труб диаметром 70 – 220 мм, оснащенных механизмами АРНД и колебания дуги в разделке, что позволяет более полно воспроизводить движения высококвалифицированного сварщика ручной аргонодуговой сварки.

4. В процессе квалификационных испытаний оборудования установлена целесообразность его применения не только при ремонте, но и при монтаже трубопроводов обвязки компрессорных станций.

Список литературы

1. *Новые технологии сварки при строительстве и ремонте газопроводов* / Е. М. Вышемирский, А. В. Шипилов, В. И. Бес-

палов, Д. Г. Будревич // *Наука и техника в газовой промышленности*. 2006. № 2. С. 27 – 34.

2. *К вопросу об автоматизации сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций* / В. И. Гриненко, В. В. Рошин, В. А. Хаванов, С. И. Полосков // *Технология машиностроения*. 2008. № 8. С. 48 – 51.

3. *Шипилов А. В.* Особенности автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом трубопроводов обвязки компрессорных станций // *Сварка и Диагностика*. 2010. № 5. С. 42 – 47.

4. *Шипилов А. В., Куркин А. С., Полосков С. И.* Влияние формы и размеров сварных соединений на долговечность трубопроводов компрессорных станций // *Сварка и Диагностика*. 2010. № 6. С. 47 – 51.

5. *Полосков П. С., Полосков С. С.* Успешные взаимоотношения с поставщиками как фактор удовлетворения требований потребителей к качеству продукции // *Вопросы современной науки и практики*. Университет им. В. И. Вернадского. 2009. № 3(17). С. 109 – 114.

6. *Гецкин О. Б.* Создание автомата блочно-модульной конструкции для орбитальной сварки магистральных трубопроводов // *Сварка и Диагностика*. 2008. № 6. С. 19 – 23.

7. *Хаванов В. А., Седов Ю. С., Полосков С. И.* Реализация принципов унификации при разработке оборудования для дуговой сварки в монтажном производстве // *Сварочное производство*. 1993. № 9. С. 26 – 28.

8. *Шипилов А. В., Галкин В. А., Полосков С. И.* Создание гаммы автоматов для орбитальной сварки трубопроводов неплавящимся электродом // *Сб. тр. X Межд. науч.-практ. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности»*. СПб.: СПбГТУ, 2010.

9. *Букаров В. А.* Технология дуговой автоматической сварки в защитных газах // *Тр. НИКИМТ: Сварка в атомной промышленности и энергетике*. М.: ИздАТ, 2002. Т. 1. С. 149 – 210.

10. *Шефель В. В.* Автоматическая сварка трубопроводов атомных электростанций // *Автоматическая сварка*. 1987. № 2. С. 45 – 50.

11. *Волков В. А.* Специальное металлорежущее оборудование // *Технология машиностроения*. 2000. № 5. С. 6 – 10.

12. *Облегченные центраторы для сборки труб под сварку* / А. Н. Белоусов, С. И. Полосков, Е. Л. Гроссман, А. Е. Картавых // *Энергетическое строительство*. 1983. № 6. С. 58 – 59.