

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Главный редактор  
Б. Е. Патон

Ученые ИЭС им. Е. О. Патона

С. И. Кучук-Яценко (зам. гл. ред.),  
В. Н. Липодаев (зам. гл. ред.),  
Ю. С. Борисов, Г. М. Григоренко,  
А. Т. Зельниченко, В. В. Кныш,  
И. В. Кривцун, Ю. Н. Ланкин,  
Л. М. Лобанов,  
В. Д. Позняков,  
И. А. Рябцев, К. А. Юценко

Ученые университетов Украины

В. В. Дмитрик, НТУ «ХПИ», Харьков,  
В. В. Квасницкий,  
НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского», Киев,  
В. Д. Кузнецов,  
НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского», Киев  
М. М. Студент, Физ.-механ. ин-т  
им. Г. В. Карпенко НАНУ, Львов

Зарубежные ученые

Н. П. Алешин  
МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, РФ  
Гуань Цяо  
Ин-т авиационных технологий, Пекин, Китай

А. С. Зубченко

ОКБ «Гидропресс», Подольск, РФ

М. Зиниград

Ун-т Ариэля, Израиль

В. И. Лысак

Волгоградский гос. техн. ун-т, РФ

У. Райсген

Ин-т сварки и соединений, Аахен, Германия

Я. Пилярчик

Ин-т сварки, Гливице, Польша

Г. А. Турчин

С.-Петербургский гос. политехн. ун-т, РФ

Редакторы

Т. В. Юштина (отв. секр.), К. Г. Григоренко,

Н. А. Притаула

Электронная верстка

И. Р. Наумова, Д. И. Серета, А. И. Сулима

Адрес редакции

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ

03680, Украина, Киев-150,

ул. Казимира Малевича, 11

Тел.: (38044) 200 6302, 200 8277

Факс: (38044) 200 5484, 200 8277

Е-mail: journal@paton.kiev.ua

www.patonpublishinghouse.com

Учредители

Национальная академия наук Украины,

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ,

МА «Сварка» (издатель)

Свидетельство о государственной

регистрации КВ 4788 от 09.01.2001

ISSN 0005-111X

Журнал входит в перечень утвержденных

Министерством образования и науки

Украины изданий для публикации трудов

соискателей ученых степеней

За содержание рекламных материалов

редакция журнала ответственности не несет

Цена договорная

Издается ежемесячно

**СОДЕРЖАНИЕ**

К 100-летию со дня рождения В. Е. Патона ..... 3

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

*Нестеренков В. М., Матвейчук В. А., Русыник М. О., Овчинников А. В.* Применение аддитивных электронно-лучевых технологий для изготовления деталей из порошков титанового сплава VT1-0 ..... 5

*Махненко О. В., Миленин А. С., Великоиваненко Е. А., Пивторак Н. И., Ковальчук Д. В.* Моделирование температурных полей и напряженно-деформированного состояния малого трехмерного образца при его послойном формировании ..... 11

*Демченко В. Ф., Кривцун И. В., Крикент И. В., Шуба И. В.* Силовое взаимодействие тока дуги с собственным магнитным полем ..... 20

*Гусарова И. А., Потапов А. М., Манько Т. А., Фальченко Ю. В., Устинов А. И., Петрушинец Л. В., Мельниченко Т. В.* Диффузионная сварка в вакууме фольги из порошкового никель-хромового сплава ..... 31

*Дубовой А. Н., Карпеченко А. А., Бобров М. Н., Неделюко Ю. Е.* Формирование наноразмерной полигонизационной субструктуры в напыленных электродуговых покрытиях ..... 40

**ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ**

Барвинко Ю. П., Барвинко А. Ю., Яшник А. Н., Токарский Д. В. Состояние и перспективы производства в Украине сварных резервуаров для хранения нефти (Обзор) ..... 44

Соловей С. А. Современное состояние методов повышения коррозионной стойкости и сопротивления коррозионной усталости сварных соединений (Обзор) ..... 51

*Бурлака В. В., Гулаков С. В., Поднебенная С. К.* Инверторный прямоходовый источник питания с повышенным коэффициентом мощности ..... 59

**ХРОНИКА**

17-й Международный научно-технический семинар в Сваляве ..... 62

**Информация**

Перспективы роботизации сварочных процессов промышленных предприятий ..... 65

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор  
Б. Є. Патон

Вчені ІЕЗ ім. Є. О. Патона

С. І. Кучук-Яценко (заст. гол. ред.),  
В. М. Ліподаєв (заст. гол. ред.),  
Ю. С. Борисов, Г. М. Григоренко,  
О. Т. Зельніченко, В. В. Книш,  
І. В. Кривцун, Ю. М. Ланкін,  
Л. М. Лобанов,  
В. Д. Позняков,  
І. О. Рябцев, К. А. Ющенко

Вчені університетів України

В. В. Дмитрик, НТУ «ХПІ», Харків,  
В. В. Квасницький,  
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ,  
В. Д. Кузнєцов,  
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ  
М. М. Студент, Фіз.-механ. ін-т  
ім. Г. В. Карпенка НАНУ, Львів

Зарубіжні вчені

М. П. Альошин  
МДТУ ім. М. Е. Баумана, Москва, РФ  
Гуань Цяо  
Ін-т авіаційних технологій, Пекін, Китай  
О. С. Зубченко  
ДКБ «Гідропрес», Подільськ, РФ  
М. Зініград  
Ун-т Арієля, Ізраїль  
В. І. Лисак  
Волгоградський держ. техн. ун-т, РФ  
У. Райсген  
Ін-т зварювання і з'єднань, Аахен,  
Німеччина  
Я. Пілярчик  
Ін-т зварювання, Глівіце, Польща  
Г. А. Турчин  
С.-Петербурзький держ. політехн. ун-т, РФ

Редактори

Т. В. Юштіна (від. секр.), К. Г. Григоренко,  
Н. А. Притула  
Електронне верстання  
І. Р. Наумова, Д. І. Середа, А. І. Сулима

Адреса редакції

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ  
03680, Україна, Київ-150,  
вул. Казимира Малевича, 11  
Тел.: (38044) 200 6302, 200 8277  
Факс: (38044) 200 5484, 200 8277  
E-mail: journal@paton.kiev.ua  
www.patonpublishinghouse.com

Засновники

Національна академія наук України,  
ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ,  
МА «Зварювання» (видавець)

Свідоцтво про державну  
реєстрацію KB 4788 від 09.01.2001  
ISSN 0005-111x

Журнал входить в перелік затверджених  
Міністерством освіти і науки України  
видань для публікації праць  
здобувачів вчених ступенів

За зміст рекламних матеріалів редакція  
журналу відповідальності не несе

Ціна договірної  
видається щомісячно

## ЗМІСТ

До 100-річчя від дня народження В. Є. Патона ..... 3

### НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

*Нестеренков В. М., Матвійчук В. А., Русиник М. О.,  
Овчинников О. В.* Застосування адитивних електронно-  
променевих технологій для виготовлення деталей з порош-  
ків титанового сплаву BT1-0 ..... 5

*Махненко О. В., Міленін О. С., Великоіваненко О. А.,  
Півторак Н. І., Ковальчук Д. В.* Моделювання темпера-  
турних полів і напружено-деформованого стану ма-  
лого тривимірного зразка при його пошаровому  
формуванні ..... 11

*Демченко В. Ф., Кривцун І. В., Крикент І. В., Шуба І. В.*  
Силова взаємодія струму дуги з власним магнітним  
полем ..... 20

*Гусарова І. О., Потапов А. М., Манько Т. А., Фальчен-  
ко Ю. В., Устінов А. І., Петрушинець Л. В., Мельничен-  
ко Т. В.* Дифузійне зварювання в вакуумі фольги з  
порошкового нікель-хромового сплаву ..... 31

*Дубовий О. М., Карпеченко А. А., Бобров М. М., Неделько  
Ю. Є.* Формування нанорозмірної полігонізаційної субст-  
руктури в напиленних електродугових покриттях ..... 40

### ВИРОБНИЧИЙ РОЗДІЛ

*Барвінко Ю. П., Барвінко А. Ю., Яшник А. Н., Токарський  
Д. В.* Стан і перспективи виробництва в Україні зварних  
резервуарів для зберігання нафти (Огляд) ..... 44

*Соловей С. О.* Сучасний стан методів підвищення коро-  
зійної стійкості та опору корозійній втомі зварних з'єднань  
(Огляд) ..... 51

*Бурлака В. В., Гулаков С. В., Поднебенна С. К.* Інвертор-  
не прямоходове джерело живлення з підвищеним  
коефіцієнтом потужності ..... 59

### ХРОНІКА

17-й Міжнародний науково-технічний семінар  
у Сваляві ..... 62

### Інформація

Перспективи роботизації зварних процесів промислових  
підприємств ..... 65

## К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В. Е. ПАТОНА



18 марта 2017 г. исполняется 100 лет со дня рождения Владимира Евгеньевича Патона, кандидата технических наук, талантливого инженера, блистательного конструктора, лауреата Государственных премий, заслуженного изобретателя Украины, одного из основоположников украинской школы конструирования сварочной аппаратуры.

В. Е. Патон в 1941 г. окончил Уральский политехнический институт по специальности «Технология машиностроения» и был направлен на Новотагильский металлургический завод инженером-технологом.

С 1943 г. вся его дальнейшая трудовая и научная деятельность связана с Институтом электросварки им. Е. О. Патона, где он прошел путь от младшего научного сотрудника до заместителя начальника Опытного конструкторско-технологического бюро (ОКТБ), одним из создателей которого был в далеком 1959 г.

Еще во время Второй мировой войны в Нижнем Тагиле В. Е. Патон принимал активное участие в работах по внедрению автоматической сварки под флюсом бронекорпусов танков Т-34. Именно в это время он начал заниматься конструированием аппаратов для сварки. В 1948 г. им был создан универсальный сварочный автомат тракторного типа ТС-17, по своим характеристикам не имевший аналогов в мире, ставший одним из основных средств механизации сварочных работ в народном хозяйстве страны.

Среди специалистов-сварщиков Владимир Евгеньевич знаменит, прежде всего, как со-

здатель оригинальных конструкций универсальных сварочных автоматов общепромышленного назначения, а также созданными ученым многочисленными сварочными автоматами для различных отраслей промышленности (строительство, судо-, мосто-, приборостроение и т. д.). Широкий диапазон технических знаний и блестящий конструкторский талант позволял ему выбирать наиболее рациональные конструкторские решения, которые приводили практически к стопроцентному внедрению вновь создаваемой сварочной техники.

Огромный запас научных идей всегда привлекал к В. Е. Патону молодых, думающих сотрудников. Атмосфера творчества и доброжелательности позволяла работать молодым коллегам с полной отдачей при разработке сварочной аппаратуры нового поколения, в основу которой был положен метод и принципы агрегатирования, что успешно завершилось созданием нового класса сварочной техники.

В 1972 г. группа сотрудников ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона, в том числе и В. Е. Патон, становятся лауреатами Государственной премии Украины за создание и внедрение микроплазменной сварки при изготовлении радиолокационных станций, используемых в системе противоракетной обороны.

В 1983 г. В. Е. Патон становится одним из лауреатов премии СМ СССР за комплекс исследований, проектно-конструкторских и технологических работ по созданию прогрессивных технологий дуговой сварки и оборудования для сварочных работ при сооружении магистральных трубопроводов.

При строительстве телебашни в Киеве в 1968–1973 гг. под руководством В. Е. Патона был разработан оригинальный комплекс сварочного оборудования, позволивший осуществлять сварку конструкций на земле с последовательным наращиванием конструкций башни.

В. Е. Патон брал участие в создании нового вида сварочных аппаратов — магнитошагающих автоматов, которые решали проблему монтажно-вертикальной сварки.

Под руководством В. Е. Патона была создана целая гамма специальных автоматов

тракторного типа для судо-, мостостроения и других областей общего машиностроения.

Работы по сварке в космосе, начатые в Институте электросварки им. Е. О. Патона осенью 1964 г. по инициативе Б. Е. Патона и С. П. Королева, в течение последующих 15–20 лет развернулись в широкую программу исследований в области космических технологий, материаловедения, строительства металлоконструкций и даже астрофизики. Необходимая исследовательская и технологическая аппаратура проектировалась в ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона, а изготавливалась преимущественно силами Опытного завода сварочного оборудования при активном участии лабораторий Института электросварки. Во всех работах по созданию аппаратуры для сварки в космосе и космических технологий Владимир Евгеньевич Патон активно участвовал с первых дней одновременно в нескольких качествах: и как творец-конструктор, и как перспективно мыслящий аналитик, и как организатор работ, и как мудрый воспитатель молодых коллег. Конструкторскую группу Владимир Евгеньевич формировал лично сам, совмещая в ту пору должности заместителя начальника ОКТБ и руководителя отдела сварочной аппаратуры.

Эрудиция и широкий инженерный кругозор позволяли В. Е. Патону проводить смелые параллели между различными отраслями техники, например, сваркой в космосе и сваркой под водой, с их помощью определять направление работ, находить конкретные решения.

За это время конструкторский отдел, руководимый В. Е. Патоном, совместно с другими научными подразделениями Института электросварки создали целый ряд оборудования для сварки и напыления в космосе, а именно: комплекс экспериментальных аппаратов для исследования процессов сварки в космосе «Вулкан» (1965–1969 гг.); аппараты для активных астрофизических экспериментов «Зарница» и «Аракс» (1972–1975 гг.); аппараты для термического испарения металла и нанесения тонкостенных покрытий «Испаритель-80» и «Испаритель М» (1978–1983 гг.); универсальный ручной инструмент для элект-

ронно-лучевой сварки, резки, пайки и нанесения покрытий в условиях открытого космоса (УРИ), получивший высокую оценку космических экипажей Джанибекова–Савицкой и Соловьева–Кизима (1984–1986 гг.).

В. Е. Патон стоял у истоков работ по сварке в космосе и внес существенный вклад в создание аппаратуры для космических технологий, но никогда не подчеркивал своей роли. Большинство авторских свидетельств в области конструирования сварочной космической аппаратуры (около 25), полученных совместно с коллегами, так и остались неопубликованными в открытой печати, а описанные в них конструкции теперь считаются общеизвестными.

Сегодня в память о долгой и плодотворной работе творцов космической техники и непосредственными исследователями космоса в отделе космических технологий Института электросварки хранятся конверты и письма, побывавшие на борту космических станций «Мир» и «Салют». Среди них есть конверт, посвященный 50-летию ИЭС, с маркой, на которой изображен портрет Е. О. Патона — основателя Института электросварки, автографы Б. Е. Патона и В. Е. Патона и маркой, посвященной сварке.

В. Е. Патон вел активную организаторскую работу в Координационном совете по сварке в СССР, в Научном совете ГКНТ СССР по проблемам «Новые процессы сварки и сварные конструкции», много лет возглавлял Государственную экзаменационную комиссию сварочного факультета Киевского политехнического института.

В. Е. Патон — автор более 50 научных трудов и 90 изобретений.

Владимир Евгеньевич был натурой увлекающейся с огромным диапазоном интересов. Особенно отличался своим бережным и трогательным отношением к природе.

Ученики и соратники В. Е. Патона, все, кто имел честь работать с ним, помнят его как яркую личность, блестящего инженера, талантливого руководителя и благородного человека.

Институт электросварки им. Е. О. Патона,  
редколлегия журнала «Автоматическая сварка»

## 17-Й МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕМИНАР В СВАЛЯВЕ

20–24 февраля 2017 г. в Сваляве (Закарпатская обл.) Ассоциация технологов-машиностроителей Украины провела 17-й Международный научно-технический семинар «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте».

В семинаре приняли участие ученые и специалисты из Украины, Беларуси, России, Чехии, Узбекистана, Таджикистана, Эстонии и Сербии. На нем было представлено 98 докладов.

Традиционно рассматривались следующие вопросы:

- подготовка производства как основа создания конкурентоспособной продукции;
- совершенствование технологий механической и физико-технической обработки поверхностей трения и деталей машин;
- упрочняющие технологии и покрытия;
- современные технологии и оборудование в сборочном и сварочном производстве;
- ремонт и восстановление деталей машин в промышленности и на транспорте, оборудование для изготовления, ремонта и восстановления;
- технологическое управление качеством и эксплуатационными свойствами изделий;
- технический контроль и диагностика в машино- и приборостроении;
- экологические проблемы и их решения в современном производстве.

Пленарное заседание началось докладом профессора Таллиннского университета прикладных наук Томаса Пила, который ознакомил участников семинара с результатами новых исследований по совершенствованию комбинированных реновационных технологий, в частности, совмещения технологии холодного напыления меди и нанесения электролитического хрома на алюминиевые детали. Созданная комбинированная технология позволяет наносить реновационные покрытия как на всю восстанавливаемую деталь, так и на ее локальные участки.

О новых защитных покрытиях для повышения эксплуатационных свойств деталей железнодорожного транспорта рассказали в своих докладах сотрудники Украинского государственного университета железнодорожно-

го транспорта (Харьков) д-р техн. наук, проф. Л. А. Тимофеева и канд. техн. наук, доц. И. И. Федченко.

В течение ряда лет на пленарном заседании семинара представлялись доклады по результатам разработок технологии восстановления и упрочнения деталей «под ключ». В докладе директора ООО «НПП РЕММАШ» (Днепр) В. И. Титаренко рассмотрены подходы к разработке производственного оборудования для сварочно-наплавочных работ. Сообщения директора ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» (Киев) А. А. Голякевича и его сотрудников было посвящено разработкам по созданию перспективных наплавочных материалов для экстремальных условий эксплуатации. Доклад заместителя директора Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины (Киев) С. А. Клименко касался возможности создания в Институте новых режущих материалов при обработке деталей из высокопрочных сталей и сплавов и деталей с наплавленными покрытиями.

Доклады украинских ученых были представлены также разработками Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (Киев), Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины (Киев), Института проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины (Киев), Института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины (Киев), Технического центра НАН Украины (Киев), вузов Киева, Житомира, Харькова и ряда промышленных предприятий страны.

Ученые Узбекистана и Таджикистана в своих докладах основное внимание уделили вопросам работоспособности хлопкообрабатывающего оборудования и экологическим аспектам повышения долговечности техники коммунального хозяйства.

Белорусские и российские ученые основное внимание в своих работах уделили созданию и совершенствованию технологий механической и физико-технической обработки, обеспечивающих формирование в поверхностном слое изделий состояния, отвечающего условиям эксплуатационного нагружения.

Особенно приятно отметить активное участие в работе семинара как маститых ученых, имя которых широко известно в научной среде,

так и молодежи, для которых участие в семинаре — один из первых шагов в науке. Хотелось бы выделить очень уверенный и научно обоснованный доклад аспирантки ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины И. И. Перепичай, посвященный разработке технологии восстановления кожухотрубных теплообменников.

Материалы семинара были изданы в виде сборника работ.

Традиционно информационными спонсорами конференции выступили авторитетные научно-технические журналы «Сборка в машиностроении, приборостроении», «Трение и смазка в машинах и механизмах», «Упрочняющие технологии и покрытия», «Заготовительное про-

изводство» (издательство «Инновационное машиностроение», Россия), «Инженер-механик» (Беларусь), «Техническая диагностика и неразрушающий контроль», «Проблемы тертя та зношування» (Украина). Авторы докладов имеют возможность опубликовать их в виде статей в указанных изданиях.

Ассоциация технологов-машиностроителей Украины приглашает ученых и специалистов по производству и ремонту техники принять участие в работе 18-го Международного научно-технического семинара «Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте» в феврале 2018 г.

С. А. Клименко, д-р техн. наук

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ім. Є. 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.

ІЕС ім. Є. 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

Подписка на журнал «Автоматическая сварка» [www.patonpublishinghouse.com/ru/journals/as](http://www.patonpublishinghouse.com/ru/journals/as)

| Украина      |           | Россия       |            | Страны дальнего зарубежья |              |
|--------------|-----------|--------------|------------|---------------------------|--------------|
| на полугодие | на год    | на полугодие | на год     | на полугодие              | на год       |
| 720 грн.     | 1440 грн. | 5400 руб.    | 10800 руб. | 90 дол. США               | 180 дол. США |

В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.

Подписку на журнал «Автоматическая сварка» можно оформить непосредственно через редакцию или по каталогам подписных агентств: Каталог видань України, «Прессцентр», «Блицинформ», «Меркурий» (Украина); каталог «Газеты. Журналы» агентства «Роспечать», Объединенный каталог «Пресса России» (Россия); каталог АО «Казпочта» Издания Украины (Казахстан); каталог зарубежных изданий «Белпочта» (Беларусь).



Подписка на журнал «The Paton Welding Journal» [www.patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj](http://www.patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj)

| Украина      |           | Россия       |            | Страны дальнего зарубежья |              |
|--------------|-----------|--------------|------------|---------------------------|--------------|
| на полугодие | на год    | на полугодие | на год     | на полугодие              | на год       |
| 750 грн.     | 1500 грн. | 5400 руб.    | 10800 руб. | 174 дол. США              | 348 дол. США |

В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.

Журнал «Автоматическая сварка» в полном объеме переиздается на английском языке под названием «The Paton Welding Journal» и распространяется по редакционной подписке (тел./факс: 38044 200-82-77, 200-54-84, E-mail: [journal@paton.kiev.ua](mailto:journal@paton.kiev.ua)).



**Правила для авторов, лицензионные соглашения, архивные выпуски журналов на сайте издательства [www.patonpublishinghouse.com](http://www.patonpublishinghouse.com).**

**В 2017 г. в открытом доступе выпуски журналов с 2009 по 2015 гг. в формате \*.pdf.**

**Реклама в журналах «Автоматическая сварка» и «The Paton Welding Journal»**

**Реклама публикуется на обложках и внутренних вклейках следующих размеров**

- ◆ Первая страница обложки, 190×190 мм
- ◆ Вторая, третья и четвертая страницы обложки, 200×290 мм
- ◆ Первая, вторая, третья, четвертая страницы внутренней обложки, 200×290 мм
- ◆ Вклейка А4, 200×290 мм
- ◆ Разворот А3, 400×290 мм
- ◆ А5, 165×130 мм

**Стоимость рекламы**

- ◆ Цена договорная
- ◆ Предусмотрена система скидок
- ◆ Стоимость публикации статьи на правах рекламы составляет половину стоимости рекламной площади
- ◆ Публикуется только профильная реклама (сварка и родственные технологии)
- ◆ Ответственность за содержание рекламных материалов несет рекламодатель

Подписано к печати 23.02.2017. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 9,02. Усл.-отт. 10,11. Уч.-изд. л. 10,43 + 2 цв. вклейки.

Печать ООО «Фирма «Эссе».

## **Перспективы роботизации сварочных процессов промышленных предприятий\***

Промышленный робот — это автоматическая машина, представляющая собой манипулятор и перепрограммируемое устройство управления, выполняющее в производственном процессе двигательные и управляющие функции, заменяющие аналогичные функции человека при перемещении предметов производства и технологической оснастки. По сути, промышленный робот — это перепрограммируемый манипулятор.

### **Классификация промышленных роботов:**

- по специализации: специальные, специализированные, универсальные;
- по грузоподъемности: сверхлегкие, легкие, средние, тяжелые и сверхтяжелые;
- по числу степеней свободы: с двумя, тремя, четырьмя, более четырех;
- по возможности перемещения: стационарные, подвижные;
- по способу установки на рабочем месте: напольные, подвесные и встроенные;
- по виду системы координат: декартовая, сферическая, угловая (цилиндрическая), смешанная.

В результате использования промышленных роботов в сварочном производстве становится возможным:

- применение автоматизированной сварки швов в любой форме, а также сварка большого количества коротких швов, различным образом ориентированных в пространстве;

- выполнение дуговой сваркой сварных швов с любой формой линии соединения в оптимальном пространственном положении с наиболее производительными режимами сварки при оптимальном формировании сварных швов;

- уменьшение в ряде случаев калибра сварных швов благодаря гарантированной стабильности их параметров, обеспечивая таким образом гарантированный рост производительности, экономию сварочных материалов и электроэнергии и уменьшение сварочных деформаций;

- сокращение потребности в специальном сварочном оборудовании и изготовлении специальных и специализированных станков, установок и машин для сварки.



Роботизированный комплекс сварки торцевых стен полувагонов

Для роботизации сварочного производства необходимо скомпоновать специализированные средства робототехники, решить комплекс технико-экономических вопросов, связанных с внедрением средств робототехники на конкретном сварочном производстве.

### **Классификация сварных конструкций по конструктивным и технологическим признакам:**

- плоскостные сварные конструкции (СК);
- листовые СК типа тел вращения;
- каркасно-решетчатые СК (например, плоские и объемные фермы, ...);
- рамные СК, состоящие из соединенных сваркой продольных и поперечных балок, распорок и усиливающих элементов;
- корпусные СК, изготавливаемые из заготовок сортового проката, поковок, отливок, штамповок (стабины, стойки, ...);
- детали машин (сварные валы, шестерни, рукоятки, ...).

### **Условия (особенности) работы роботизированных комплексов**

Высокая температура вблизи зоны сварки, мощное нестационарное электромагнитное и световое излучение, разбрызгивание металла, выделение защитных газов и аэрозолей, токсичных газов, поверхности изделий могут быть покрыты окалиной, иметь заусенцы, застывшие брызги.

### **Область роботизации**

Из-за сложности реализации автоматизации сварочных процессов возникает необходимость использования средств роботизации, особенно в СК с короткими швами, сложной формы и пространственного расположения. Целесообразно применение роботизированных технологических комплексов (РТК) для сварки сварных конструкций малых размеров; сварки серийных крупногабаритных конструкций; контактной сварки тонколистовых и каркасно-решетчатых конструкций.

\* Статья на правах рекламы. При подготовке статьи использованы материалы сайта [weldingsite.com.ua](http://weldingsite.com.ua).



### Требования к манипулятору сварочного робота:

- не менее пяти степеней свободы;
- допустимые отклонения электрода от линии соединения сварных элементов не более 0,5 его диаметра, мм;
- наличие геометрической адаптации;
- наличие технологической адаптации;
- скорость установившегося переносного движения горелки до 1,5 м/с и клещей до 3 м/с.

### Что сдерживает роботизацию сварочных процессов?

♦ При расчете эффективности внедрения робототехнического комплекса (РТК) зачастую учитывается прямая сдельная зарплата сварщика, но при этом упускаются прямые и косвенные налоги на основную заработную плату (ЗП); дополнительную ЗП; расходы на содержание бытовых помещений; коэффициент, учитывающий возможность непрерывной работы РТК за счет отсутствия сменности работ, отпусков, больничных, непроизводительных потерь; снижение затрат на сварочные материалы (проволока, защитный газ) и электроэнергию; уменьшение трудоемкости при зачистке сварных швов; исключение затрат на обучение и переаттестацию квалифицированных сварщиков.

♦ Нежелание и неумение персонала предприятия вникать в новые технологические процессы. В результате этого приходится привлекать новых специалистов, что ставит под удар окупаемость инвестиций и создает противоречия в коллективе. Следует сказать и о проблематичности привлечения в проект оператора-программиста РТК должного уровня подготовки.

♦ Считается, что роботизированная сварка предназначена для больших объемов продукции, например, серийного производства автомобилей. При этом модельный ряд не должен меняться в течение ряда лет. Большинство руководителей считают, что их предприятия производят слишком маленькие партии товаров для того, чтобы инвестировать в роботизированную систему (недостаточная гибкость РТК).

♦ Робототехнические комплексы часто ломаются, их ремонт дорогостоящий и занимает много времени. Сложно найти квалифицированных специалистов по их ремонту и обслуживанию.

### Как обстоят дела по изложенным выше проблемам на самом деле

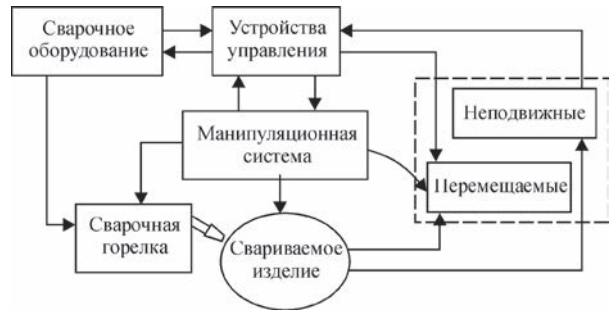
♦ Можно самостоятельно выполнить расчет экономической эффективности внедрения РТК. При этом необходимо в качестве исходных данных использовать реальные значения. В результате определяется срок окупаемости инвестиций и можно принять обоснованное решение.

♦ С момента появления сварочных роботов производители постоянно совершенствовали процесс написания рабочих программ, стремясь его максимально упростить и тем самым облегчить жизнь оператора-программиста. Сегодня эта проблема решена с помощью принципиально новой программы обучения роботов Kinetiq, разработанной фирмой «Robotiq» (Канада). Данная технология позволяет оператору руками перемещать сварочную горелку робота вдоль всей линии сварного шва, а затем с помощью пульта внести в память траекторию движения и определить параметры сварки. Существуют подобные программы и у других разработчиков.

♦ Современные РТК многофункциональны и способны в автоматическом режиме производить быструю замену инструмента. Для этого РТК необходимо окружить различными сменными инструментами. Гнезда для инструментов разработаны для их быстрой замены. Робот можно запрограммировать



Роботизированный комплекс сварки стенок контейнеров



Функциональная схема робототехнического комплекса

так, чтобы он весь день работал только в одном положении с определенным комплектом инструмента или в нескольких положениях, производя мелкие партии каждой детали. Оператору достаточно всего нескольких движений для полной смены одного комплекта на другой. Робот хранит в памяти множество разных программ и остается лишь переключить программу, чтобы робот начал сварку совершенно другой детали.

На фотографиях приведены примеры конфигурации РТК.

Нет необходимости самостоятельно подбирать конфигурацию и комплектацию РТК. Следует правильно составить техническое задание на требуемый комплекс и обратиться в компанию-интегратор РТК, которая имеет штат специалистов и

достаточный опыт в роботизации. На запрос предоставляют технико-коммерческое предложение на поставку РТК. Как правило, предложение включает несколько вариантов решения задачи. Остается сделать выбор в пользу одного из них. На рынке Украины работает ряд компаний-интеграторов РТК, таких как ООО НПФ «Техвагонмаш» (Кременчуг). Фирма-интегратор РТК, кроме поставки оборудования, производит монтаж, разрабатывает технологию, обучает персонал заказчика.

♦ Современные РТК, как правило, оснащены выходом USB, что позволяет переносить в память робота программы, созданные при помощи удаленного (offline) программирования. Кроме того, имеется функция подключения к сети Internet для online связи с поставщиком, осуществляющим гарантийное или послегарантийное сопровождение. Как показывает практика, 99 % сбоев комплекса происходит из-за ошибки оператора или программиста РТК (неправильно установленная в РТК деталь, некачественная сборка под сварку, ошибка при создании программы и т.п.). Эти ошибки легко диагностируются и устраняются на месте. Оставшийся 1 % — сбой программы. Диагностика и устранение ошибок производятся дистанционно без потерь времени. В крайне редких случаях требуется выезд специалиста-интегратора на место. Здесь решающий фактор — географическая удаленность и обязательность поставщика. Условия гарантийного или послегарантийного обслуживания должны быть обязательно учтены в договоре на поставку.

### Еще несколько доводов в пользу эффективности РТК

**Повышение производительности.** Один из основных способов обосновать затраты на робота, это сравнить производительность РТК с производительностью, которая имеется на данный момент с применением ручной или полуавтоматической сварки. Во многих случаях сварка роботом выполняется в 2–5 раз быстрее, чем любым другим способом. Это значит, что за каждый час можно выпустить в 2–5 раз больше деталей, чем выпускается сейчас. Например, система тандемной сварки МИГ, которая одновременно использует две дуги, объединенные роботом, может в разы увеличить производительность.

**Высокая надежность.** Внедрение РТК на производстве позволяет разгрузить цеха, уменьшить потребность в рабочей силе, сделать производство более выгодным. Роботы надежны, они могут работать круглосуточно, без отдыха или обеденного перерыва. К тому же, с роботами можно забыть что такое текучка кадров. Они лояльны к любой компании и не уйдут, после того как будут обучены.

Присутствуют здесь и **социальные моменты**: роботов можно использовать на вредных участках производства (зачистка сварных швов, например), сохраняя здоровье рабочих.

**Возможность увеличить объемы.** Когда подписан новый контракт или расширен диапазон выполняемых работ, роботы с легкостью справятся с дополнительным объемом. Рабочее пространство, занимаемое РТК, более компактно, чем рабочая зона для ручных работ. По мере расширения производства не приходится волноваться о новых зданиях, аренде или покупке дополнительных площадей.

**Гарантированное качество.** Высокая точность позиционирования промышленных роботов, постоянство скорости и четкая повторяемость операций обеспечивают надежное качество изделия и устраняют возможность производства брака. С роботами компания инвестирует в товар наперед, без необходимости исправлять дефекты после их возникновения, как это часто бывает с ручной или полуавтоматической сваркой.

Для проверки сварных швов, выполненных роботом, обычно достаточно визуального осмотра. При полуавтоматической или ручной сварке могут понадобиться дополнительные испытания, такие, как виборочный неразрушающий контроль, радиография или цветная дефектоскопия.

**Экономия на сварочном материале.** При ручной сварке расходуется больше присадочного материала, поскольку сварщику сложно идеально выдержать требуемую геометрию и запас прочности сварного шва. Точность работы робота намного выше: дозированное количество присадочного материала заложено программой. К тому же, при роботизированной сварке меньше разбрызгивания и, как следствие, расход сварочной проволоки ниже на 10–15 %.



Роботизированный комплекс для сварки под флюсом хребтовых балок полувагонов



Роботизированный комплекс сварки промежуточных балок вагонов



Роботизированный комплекс для сварки отопительных котлов



Роботизированный комплекс для сварки бортов самосвалов

**Сокращение затрат на обучение.** Сегодня на рынке труда не хватает квалифицированных сварщиков. Компании тратят огромные суммы денег на поиск и обучение сварщиков, намного больше, чем они осознают. Сварщики также постоянно должны проходить переподготовку и подтверждать свои навыки. Поэтому некоторые предприятия обеспечивают работников собственными учебными центрами. По сравнению с оплатой труда квалифицированных сварщиков, намного дешевле иметь одного оператора, который будет управлять работой РТК и загружать программное обеспечение (ПО).

**Контроль за качеством во время сварки.** Современное ПО роботов позволяет улучшить процесс контроля производства, например, ПО слежения за дугой следит, записывает и составляет отчеты с данными сварки в режиме реального времени. Показатели могут поступать в центральную базу хранения через интернет (локальную сеть). Другая программа автоматически исправляет ошибки и обеспечивает быстрое решение проблемы в случае неожиданной ошибки робота, если она возникнет. И в завершение, защита паролем и ведение журнала событий обеспечат текущую сводку любых изменений в процессе роботизированной сварки за определенный период времени. Указанные пакеты ПО разработаны, чтобы помочь компаниям поддерживать высокий стандарт качества даже в случае замены персонала.

Приведенные в статье аргументы помогут специалистам принять обоснованное решение в пользу роботизации производства. Для большинства производителей роботизация и автоматизация должны быть лишь вопросом времени. Если же решается задача установки робота впервые, следует выбрать надежного интегратора, который в тесном сотрудничестве с производственниками разработает систему, соответствующую индивидуальным пожеланиям. Для любого проекта по автоматизации сварки также важны техническая поддержка и обучение. Главные задачи автоматизации и роботизации — снизить производственные затраты и повысить качество сварки.

### **Будьте уверены, роботы помогут в достижении этих целей!**

Научно-производственная фирма «Техвагонмаш» имеет опыт проектирования и изготовления роботизированных сварочных комплексов на базе роботов Fanuc, Kawasaki, Motoman и выполняет полный спектр работ по их внедрению, включающий:

- анализ конструкции изделия на возможность роботизации;
- разработка компоновки робототехнического комплекса;
- разработка и изготовление вспомогательного оборудования: зажимных приспособлений, кантователей, вращателей, порталов;
- разработка технологии и режимов сварки;
- подбор сварочного оборудования и систем слежения;
- разработка систем вентиляции в составе робототехнических комплексов;
- интеграция в комплекс систем позиционирования, слежения и сварочного оборудования;
- обучение;
- сервисное обслуживание.

А. Н. Моторин, В. А. Дорошенко