

Механизированная синергетическая сварка с импульсной подачей электродной проволоки*

Рассмотрен ряд вопросов, связанных с синергетическим управлением процессом дуговой механизированной и автоматической сварки с регулируемой импульсной подачей электродной проволоки. Приведены результаты сравнительных экспериментальных исследований различных способов сварки с выявлением преимуществ синергетического управления с импульсной подачей электродной проволоки, реализуемой современными мехатронными системами.

Ключевые слова: дуговая сварка; наплавка; импульсное управление; источник сварочного тока; механизм подачи; электродная проволока; синергетика.

V.A. Lebedev, d.en.s.
(E.O. Paton Electric Welding Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev)

Mechanized synergic welding with pulsed electrode wire feed

A number of problems, related to synergetic control of the process of the arc mechanized and automatic welding with the regulated pulse feed of the electrode wire, are considered. It is noted, that the known systems with a synergetic control due to the impulse algorithms of operation of modern structures sources can be replaced by more simple and less power-intensive systems with the use of the controlled pulse feed of electrode wire. It is determined, that in the systems with the controlled pulse feed of electrode wire the various structures of feed-backs are used on the parameters of an arc process. It is shown, that the required component of feed-back structure in the considered process is a feed-back on the welding current.

Keywords: arc welding; surfacing; impulse control; welding current source; feed mechanism; electrode wire, synergetics.

Распространившись во многих сферах, механизированная дуговая сварка постоянно находится в поле зрения разработчиков оборудования и технологов с задачами совершенствования технических средств и технологии выполнения сварочных и наплавочных работ. При этом основными направлениями совершенствования являются следующие:

- получение сварных швов и наплавленных слоёв в различных пространственных положениях и разных условиях с высокими эксплуатационными показателями;
- снижение энерго- и ресурсозатрат;
- повышение надёжности и эффективности работы оборудования с минимизацией влияния сварщика-оператора на результат работы механизированного сварочно-наплавочного оборудования;
- упрощение выбора параметров сварочного оборудования.

В последнее время одним из наиболее эффективных способов влияния на процессы сварки и наплавки являются различные вари-

* В экспериментальной части работы принимали участие инженеры В.Г. Новгородский, И.В. Лендел.

анты импульсного управления переносом электродного металла [1, 2], при этом наиболее эффективными являются методы управления, основанные на импульсных алгоритмах работы современных инверторных источников сварочного тока и систем подачи электродной проволоки.

Следует отметить, что использование импульсных алгоритмов работы источников сварочного оборудования стало обычной практикой создания сварочных постов. Применение систем подачи электродной проволоки с импульсными алгоритмами работы пока ещё находится в состоянии становления, хотя новые конструкции управляемых по всем параметрам импульсных механизмов подачи позволяют утверждать, что это весьма эффективное средство управления сварочным процессом.

Оба этих направления постоянно совершенствуются, и одним из методов совершенствования является применение синергетических алгоритмов управления формированием импульсных воздействий, при которых, кроме всего прочего, существенно упрощается выбор параметров и настройка сварочного обо-

рудования. В большом числе механизированного и автоматического оборудования с использованием инверторных источников синергетическое управление является практической разработкой, например [3, 4], а системы импульсной подачи всё ещё не имеют надёжных технических решений по синергетическому управлению, но работы в этом направлении ведутся [5].

Следует особо отметить, современные системы, входящие в состав оборудования для дуговой сварки и наплавки имеют все признаки мехатронных систем [6].

Целью настоящей работы является выбор и апробация технических решений для реализации синергетического управления функционированием механизмов подачи электродной проволоки с управляемыми характеристиками для процесса механизированной сварки тонкими электродными проволоками в CO_2 с систематическими замыканиями дугового промежутка.

Процесс сварки с использованием импульсной подачи электродной проволоки носит управляемый характер.

Следует дополнительно отметить, что любая система с применением синергетического управления должна иметь определённую структуру обратных связей по параметрам технологического процесса.

При реализации импульсной подачи на основе импульсных алгоритмов управления одной из важнейших задач является выбор структур обратных связей по параметрам сварочного процесса. Обоснование выбора обратной связи начнём с рассмотрения представленных на рис.1, формализованных осциллограмм тока и напряжения при сварке в CO_2 с короткими замыканиями дугового промежутка, которые построены на основании рассмотрения и анализа большого числа реализаций процесса с выбором наиболее характерных моментов изменения тока $I_{\text{св}}$ и напряжения $U_{\text{св}}$ сварки при различных параметрах (наиболее применяемых) механизированного сварочного процесса.

Между короткими замыканиями дугового промежутка участок горения дуги, при котором дуга удлиняется, а ток дуги $I_{\text{д}}$ падает, при этом напряжение дуги $U_{\text{д}}$ вследствие определённых (жёстких) характеристик дуги стремится к стабилизации, может измениться лишь в случае изменения напряжения холостого хода $U_{\text{хх}}$ источника сварочного тока. В случае организации импульсной подачи электродной проволоки с частотой, зависимой от

частоты коротких замыканий с использованием обратной связи по напряжению дуги, сигнал для окончания импульса подачи (см. рис.1), имеется – это момент перехода к короткому замыканию, а сигнала при удлинении дуги для формирования импульса подачи практически нет.

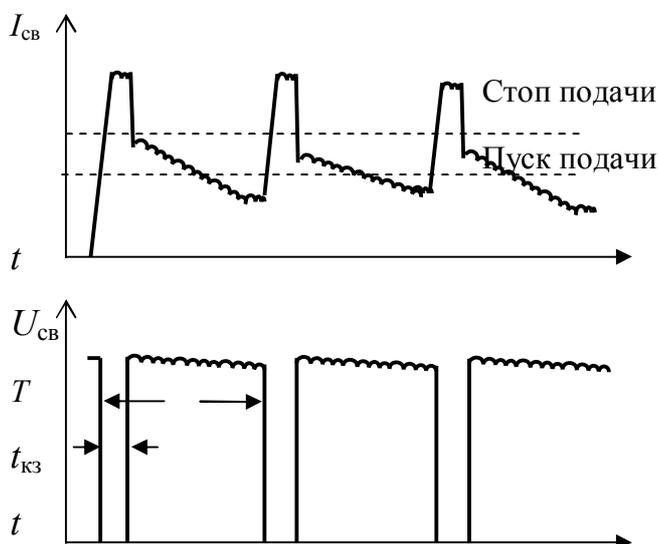


Рис. 1. Формализованные осциллограммы тока и напряжения при сварке в CO_2 с короткими замыканиями дугового промежутка

Обратную связь по напряжению сварки $U_{\text{св}}$ можно осуществить лишь для обычной подачи электродной проволоки, если использовать для обратной связи не мгновенные значения напряжения $U_{\text{св}}$, а её усреднённые (интегральные значения), т.е.

$$U_{\text{св}} = U_{\text{д}} (1 - Q),$$

где Q – скважность напряжения сварки $U_{\text{св}}$, определяемая в виде:

$$Q = \frac{t_{\text{кз}}}{T},$$

где $t_{\text{кз}}$ и T – время действия короткого замыкания и период переноса каплей электродного металла соответственно (см. рис.1).

Очевидно, что обратная связь по напряжению сварочного процесса, по сути, является обратной связью по скважности и, система будет поддерживать заданный уровень скважности процесса, т.е. управлять следованиям коротких замыканий дугового промежутка.

Процесс сварки с регулируемой импульсной подачей электродной проволоки, обеспечивающей синергетическое управление короткими замыканиями дугового промежутка и тем самым обеспечивающий стабилизацию процесса, снижение потерь электродного металла, уменьшение затрат электроэнергии и др. [7], должен обязательно основываться на

использовании информативной обратной связи по току дуги. Это, в первую очередь даёт возможность чётко останавливать действие импульса подачи при коротком замыкании дугового промежутка и запускать импульс подачи при удлинении дуги до заданного (выбранного) уровня.

При удлинении дуги ток снижается, что является сигналом для запуска импульса подачи в определённый момент. Кроме этого, весьма важным при использовании обратной связи по току является возможность формировать сигнал на запуск импульса подачи с некоторым опережением, что очень существенно, учитывая инерционные свойства системы подачи электродной проволоки.

Важно заметить, что сварка с управляемой импульсной подачей электродной проволоки может быть осуществлена системой управления с двумя видами обратных связей – по току и напряжению процесса. В таком объединённом синергетическом управлении обратная связь по току обеспечивает синхронизацию механических импульсов с частотой коротких замыканий и скоростью изменения длины дуги при образовании капель переносимого в ванну электродного металла.

Однако введение двух типов обратных связей для механизированной (полуавтоматической) сварки достаточно сложно схемотехнически и поэтому авторами разработана система синергетического управления процессом сварки с импульсной подачей электродной проволоки с введением одного типа обратной связи – по току дуги I_d .

Базовым устройством для такого управления процессов сварки служил быстродействующий компьютеризованный специализированный электропривод с вентильным электродвигателем и безредукторным механизмом передачи вращательного движения вала двигателя в линейное перемещение электродной проволоки с воспроизводимой частотой управляемого импульсного вращательного движения вала, а, следовательно, электродной проволоки 60...70 Гц [8].

На рис. 2 представлена структурная схема сопряжения измерительных цепей сварочного контура со входом электропривода. Уровень срабатывания прекращения действия импульса подачи устанавливается (задаётся) потенциометром задания R_1 .

В процессе экспериментальных исследований установлено, что оптимальным алгоритмом задания для процесса сварки в CO_2 в диапазоне токов до 300 А является выражение:

$$U_{\text{зад}} = k(I_{\text{зад}} + 100),$$

где $U_{\text{зад}}$ – напряжение задания, устанавливаемое потенциометром R_1 ; k – коэффициент пропорциональности; $I_{\text{зад}}$ – ток при котором происходит отключение импульса подачи.

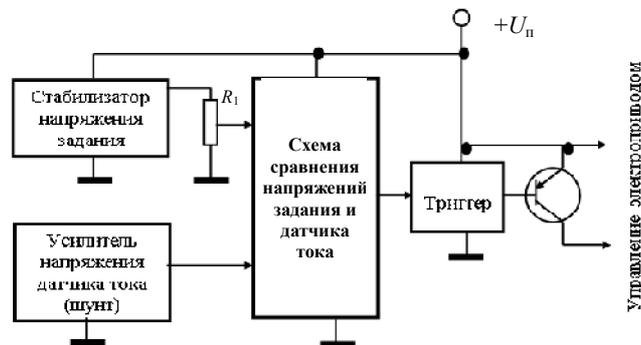


Рис. 2. Структурная схема сопряжения измерительных цепей сварочного контура со входом вентильного электропривода

В экспериментальных исследованиях проводились серии наплавки электродными проволоками в CO_2 диаметром 1,2 мм в нижнем положении на пластины из Ст3 на ряде обычно используемых в сварочном производстве режимов.

Следует отметить, что обычно при использовании импульсной подачи представляет некоторую сложность задание параметров импульсов – частота скважности, амплитуда. Так, для каждого режима сварки необходимы свои наиболее удачные (оптимальные) характеристики импульсной подачи.

Приведенные данные экспериментальных исследований позволяют обоснованно получить следующие результаты.

Результат 1. Система синергетического управления процессом дуговой механизированной сварки, сам дуговой процесс задаёт параметры частоты и скважности импульсов подачи, которые ему необходимы при заданном режиме и которые изменяются при отклонениях напряжений $U_{\text{св}}$ и $I_{\text{св}}$ а также напряжения питающей сети.

Результат 2. Процесс сварки при синергетическом управлении существенно стабильнее, чем при других вариантах управления, и об этом свидетельствуют данные, полученные, для примера, на одних и тех же параметрах дугового процесса, представленные в табл. 1 с вычислением коэффициентов вариации скважности тока сварки для большого числа реализаций и сравниваемых систем управления по скорости подачи электродной проволоки.

Коэффициенты вариации скважности тока для различных режимов сварки и способов подачи электродной проволоки

Вид управления подачей электродной проволоки	Характеристика режима	Коэффициент вариации скважности тока сварки, %
Подача плавная	$I_{CB} = 110 \text{ A}$ $U_{CB} = 23 \text{ В}$ Скорость подачи, 140 м/ч	24,1
Импульсная подача с жёстким алгоритмом следования импульсов	Частота, 15 Гц $I_{CB} = 110 \text{ A}$ $U_{CB} = 23 \text{ В}$ Скорость подачи в импульсе, 340 м/ч	6,6
Импульсная подача с обратной связью по току сварочного процесса	Частота, Скважность $I_{CB} = 110 \text{ A}$ $U_{CB} = 23 \text{ В}$	4,7

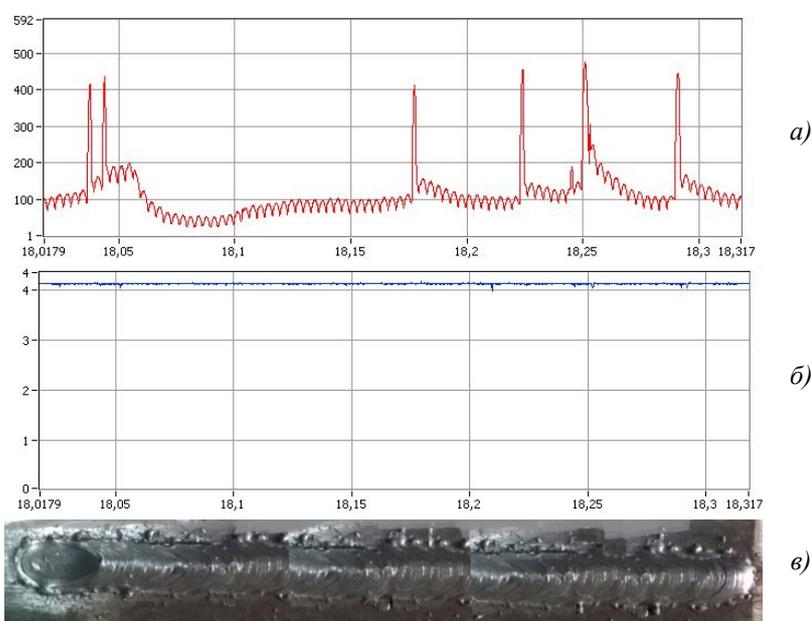


Рис. 3. Осциллограммы тока (а), скорости (б) и внешний вид наплавленного валика с постоянной скоростью подачи электродной проволоки (в)

По коэффициентам вариации скважности сварочного тока процесса можно судить о том, что процессы с управляемыми импульсными перемещениями электродной проволоки более стабильны в сравнении с традиционной полуавтоматической сваркой, при этом процесс сварки с обратной связью по току отличается очень высокой стабильностью.

Полученные другие результаты экспериментальных исследований в виде осциллограмм, формирования наплавленных валиков, образования брызг электродного металла, а, следовательно, его потерь и затрат на придание шву товарного вида представлены для

разных способов подачи электродной проволоки и управления процессом на рис. 3 – 5. Осциллограммы также свидетельствуют о высокой стабильности процесса с синергетическим управлением импульсной подачи электродной проволоки вследствие целенаправленного эффективного формирования и действия импульсов подачи электродной проволоки.

Дополнительно следует отметить, наблюдаемое визуально, более качественное формирование валика шва при использовании импульсных алгоритмов управления, а также резкое снижение и прилипание крупных брызг

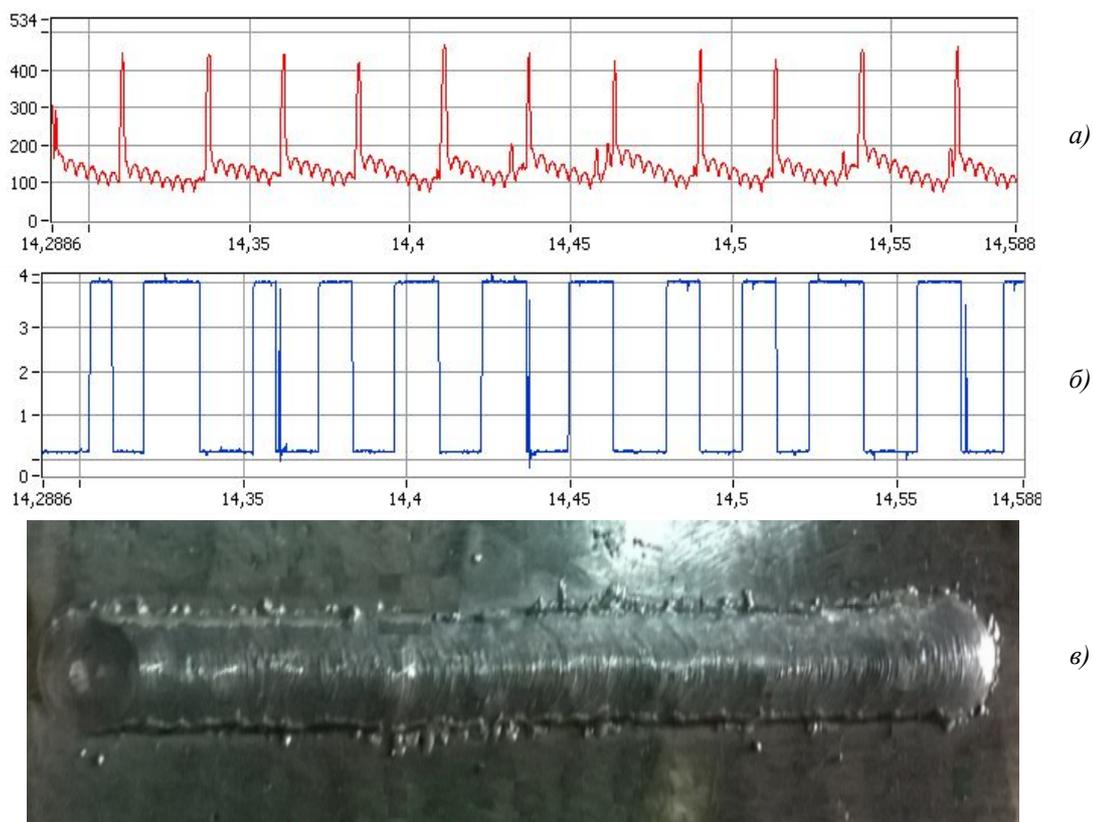


Рис. 4. Осциллограммы тока (а), скорости (б) и внешний вид наплавленного валика с импульсной скоростью подачи электродной проволоки без обратных связей (в)

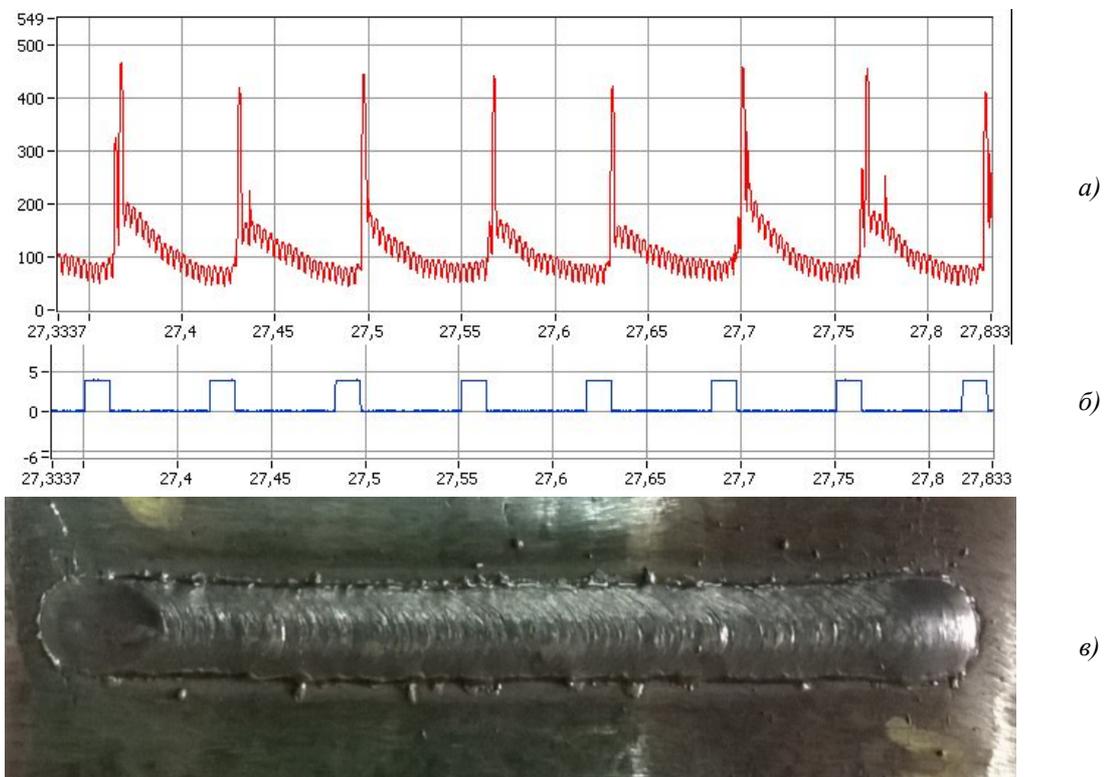


Рис. 5. Осциллограммы тока (а), скорости (б) и внешний вид наплавленного валика с импульсной скоростью подачи электродной проволоки с обратной связью по току сварки (синергетическое управление) (в)

расплавленного электродного металла к основному металлу, особенно выделяемое при синергетическом управлении импульсной подачей.

Следующим этапом изучения преимуществ применения синергетического управления импульсной подачи электродной проволоки будет комплекс детальных металлографических исследований и изучение механических (эксплуатационных) свойств полученных соединений и наплавленных валиков, так как первые исследования этих свойств позволили получить весьма обнадеживающие результаты.

Следует подчеркнуть, что рассматриваемое направление в совершенствовании синергетической дуговой автоматической или механизированной сварки плавящимся электродом является новым.

ВЫВОДЫ

1. Синергетическое управление дуговой механизированной и автоматической сварки в защитных газах с управляемой импульсной подачей электродной проволоки должно организовываться с обязательным использованием обратной связи по току дугово-го процесса.

2. Результатом использования управления процессом сварки с применением синергетического управления импульсной подачи электродной проволоки является существенное улучшение стабильности процесса и, как следствие, снижение потерь электродного металла и получение наплавленных валиков товарного вида.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Влияние** импульсной сварки на структуру и свойства сварных соединений труб из высокопрочных сталей: Физическая мезомеханика: спец. выпуск / Ю.Н. Сараев, О.И. Слепцов, В.П. Безбородов, И.В. Никонова, А.В. Тютев // Томск: Институт физики прочности и материаловедения СО РАН. 2005. № 8. С. 141–144.

2. **Chris Roehl**. Improved Pulsed Gas Metal Arc Welding Nets Higher Productivity / Chris Roehl, Ken Staze // WELDING JOURNAL. JULY. 2008. P. 38 – 41.

3. **Воропай Н.М., Илюшенко В.М., Ланкин Ю.Н.** Особенности импульсно-дуговой сварки с синергетическим управлением параметрами режимов (Обзор) // Автоматическая сварка. 1999. № 6. С. 25 – 32.

4. **Amin M.** Synergic control in MIG welding / M. Amin, A. Nasser // Metal Construction. 1987. № 9. P. 23–27.

5. **Лебедев В.А.** Механизированная и автоматическая синергетическая сварка с импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. 2013. № 2. С. 13–19.

6. **Лебедев В.А.** Современное дуговое автоматизированное и механизированное сварочное оборудование как мехатронная система // Электрика. № 9. 2009. С. 22–26.

7. **Лебедев В.А.** Особенности сварки сталей с импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. 2007. № 8. С. 30–35.

8. **Лебедев В.А., Максимов С.Ю., Рымша В.В., Радимов И.Н., Гулий М.В.** Новые механизмы подачи электродной и присадочной проволоки // Сварочное производство. 2011. № 5. С. 35–39.

REFERENCES

1. Influence of pulse welding on structure and properties of weld joints of pipes from high-strength materials. Yu. N. Saraev, O.I. Sleptsov, V.P. Bezborodov, I.V. Nikonova, A.V. Tyutev. *Physical mesomechanics: special issue*. 2005. No 8. Pp. 141–144.

2. Improved Pulsed Gas Metal Arc Welding Nets Higher Productivity. Chris Roehl, Ken Staze. *Welding journal*. 2008. No. 7. Pp. 38–41.

3. Voropay N.M. Ilyushenko V.M., Lankin Yu.N. Features of pulse-arc welding with synergetic control of modes parameters. *Automatic welding*. 1999. No 6. Pp. 25–32.

4. Synergic control in MIG welding. M. Amin, A. Nasser. *Metal Construction*. 1987. No 9. Pp. 23–27.

5. Lebedev V.A. Mechanical and automated synergetic welding with pulse feed of electrode wire. *Welding production*. 2013. No 2. Pp. 13–19.

6. Lebedev V.A. Modern arc automated and mechanical welding equipment as mechatronic system. *Electrics*. 2009. No 9. Pp. 22–26.

7. Lebedev V.A. Features of steel welding with pulse feed of electrode wire. *Welding production*. 2007. No. 8. Pp. 30–35.

8. Lebedev V.A., Maksimov S.Yu. Rymsha V.V., Radimov I.N., Guliy M.V. New mechanisms of electrode and filling wire feed. *Welding production*. 2011. No 5. Pp. 35–39.

Рецензент д.т.н. В.В. Овчинников