

**Journal of Scientific Papers “Social development & Security”**  
**home page: <https://paperssds.eu/>**



Datsenko Ivan (2017) K voprosu o vozmozhnosti ispol'zovaniya svarki modulirovanyim tokom samozashchitnoy poroshkovoy provolokoy v proizvodstve [To the question of the possibility of using modulated current welding with self-shielded flux cored wire in production]. *Social development & Security*. 1(1), 14 – 23.

**К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВАРКИ МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ САМОЗАЩИТНОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Иван Даценко \***

\* Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского,  
проспект Воздухофлотский, 28, г. Киев-49, 03049, Украина,  
e-mail: [docik\\_ivan@i.ua](mailto:docik_ivan@i.ua)  
к.т.н.



**Article history:**

Received: August, 2017  
1st Revision: September,  
2017  
Accepted: October, 2017

DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.1056834>

**Аннотация:** Как известно в производстве широкое применение нашла механизированная сварка порошковой самозащитной проволокой. При этом способы сварки которые используются не всегда позволяют реализовать потенциал который заложен в данной группе сварочных материалов. Кроме этого современные способы сварки характеризуются большим тепловложением в детали и сварное соединения. В связи с этим в статье рассмотрены пути повышения технологических возможностей механизированной сварки порошковой проволокой путём внедрения в производство механизированной сварки модулированным током.

**Ключевые слова:** сварка, самозащитная порошковая проволока, дуга, напряжение, сила тока, подача проволоки, сварное соединение, зона термического влияния, структура металла.



Даценко Иван К вопросу о возможности использования сварки модулированным током самозащитной порошковой проволокой в производстве [Электронный ресурс] / Иван Даценко // Соціальний розвиток і Безпека. – 2017. – Вип. 1 (1). – С. 14 – 23. – Режим доступу до журн. : <https://paperssds.eu/index.php/JSPSDS/article/view/10/2>

## 1. Постановка проблеми

Известно, что уменьшение мощности дуги (1) (соответственно и её тепловой мощности  $q$ ) достигают уменьшением силы сварочного тока, что при механизированной сварке выполняют путем уменьшения скорости подачи сварочной проволоки [5; 7]:

$$q = \eta \cdot UI, \quad (1)$$

где  $q$  – тепловая мощность дуги, Вт;

$\eta$  – эффективный К.П.Д. дуги, для электродуговой сварки  $\eta = 0,8 - 0,95$ ;

$U$  – напряжение на дуге, В;

$I$  – ток сварки, А.

Однако, для каждого способа сварки существует минимально допустимое значение силы сварочного тока, ниже которого нарушается устойчивость горения дуги и следует ее обрыв. Исходя из условия устойчивости горения дуги, для применяющейся в настоящее время механизированной сварки деталей возможности для уменьшения мощности дуги путем уменьшения силы сварочного тока (т.е. скорости подачи сварочной проволоки) исчерпаны. Следовательно, требуются иные условия для управления тепловым режимом сварки.

## 2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Первые работы по управлению электродуговой сваркой можно отнести к 30 – 50 годам прошлого столетия [1, 2-4]. Они были направлены в основном на создание автоматических систем регулирования внешними характеристиками источников сварочного тока для ручной дуговой сварки штучными электродами с целью стабилизации дугового процесса. С развитием механизированных способов сварки внимание исследователей было переключено на повышение стабильности горения дуги на основе изучения процессов в дуговом пространстве [5-7].

Указанные работы были направлены на получение стабильного горения дуги при жестко стационарном режиме сварки или на приближенном к таковому, так как, по мнению исследователей, именно при таком режиме можно было обеспечить высокие показатели качества сварки. Однако со временем выяснилось, что при этом суживаются возможности для регулирования режима сварки. При этом возникло противоречие: при снижении мощности дуги ниже определенного предела горение дуги становилось неустойчивым. Поэтому появились работы, направленные на поиск способов сварки, позволяющих либо уменьшить тепловое влияние дуги в зоне сварки при прежних значениях мощности дуги [2-4], либо вести сварку устойчивой дугой при существенно более низких значениях ее мощности. В

последнем случае положительные результаты были достигнуты при исследовании нового направления сварки – сварки на нестационарном, но управляемом режиме [2–4; 8]. При этом отдельные параметры режима сварки подвергались в процессе сварки принудительному целенаправленному и периодическому изменению, при котором происходило изменение характеристик дугового процесса, что, в конечном итоге, приводило к уменьшению тепловложения в свариваемые детали и изменению термического цикла металла.

Значительная часть предложений по увеличению расхода тепловой энергии дуги на плавление присадочного материала и уменьшению при этом доли тепла, идущей на нагрев свариваемых деталей, не нашли практического применения в силу их низкой технологичности. Однако, сама идея перераспределения тепла оказалась реализованной в последнее время в связи с использованием самозащитных порошковых проволок. Оказалось, что для плавления её металлической оболочки и шихты, содержащей металлические легирующие элементы, требуется больше тепловой энергии дуги, чем при плавлении сплошной сварочной проволоки.

Распределение в процессе сварки тепловой энергии на большую поверхность свариваемых деталей играет роль их сопутствующего подогрева, который уменьшает скорость охлаждения металла, особенно ЗТВ. При этом существенно снижается вероятность образования в металле сварного соединения неравновесных закалочных структур, а значит и появления сварочных напряжений.

Следует отметить, другие положительные результаты применения управления дугой посредством внешнего электромагнитного поля и колебания электрода. Прежде всего, эти приемы способствуют отрыву от конца плавящегося электрода капель жидкого металла меньшего размера, чем без применения этих приемов.

Известно, что при мелкокапельном переносе жидкого металла повышается устойчивость горения дуги и улучшаются возможности для усвоения легирующих элементов. Кроме того, увеличивается перемешивание металла в жидкой металлической ванне в формирующемся сварном шве, что способствует повышению однородности металла и образованию мелкозернистых структур, что, в свою очередь, улучшает механические характеристики сварного шва.

Как уже отмечалось, при традиционном способе механизированной сварки уменьшение мощности дуги достигается уменьшением сварочного тока путем уменьшения скорости подачи сварочной проволоки посредством управления электрическим двигателем механизма подачи. При этом увеличивается длина дуги и ее электрическое сопротивление, что и приводит к уменьшению сварочного тока. Однако увеличение длины дуги возможно до определенного предела, после которого возникает обрыв дуги.

Для избегания обрыва дуги было предложено при постоянной скорости подачи сварочной проволоки увеличить вылет электрода путем перемещения точки подвода к нему сварочного тока. Но существенно увеличить вылет электрода не удалось, так как возникает беспорядочное блуждание конца размягченной сварочной проволоки, что вызывает неустойчивость горения дуги и разбрызгивание электродного металла.

Приведенные выше приемы уменьшения сварочного тока имеют еще один существенный недостаток – незначительный диапазон изменения сварочного тока, что не позволяет достичь ощутимого эффекта снижения тепловой мощности дуги.

Таким образом, все вышеперечисленные способы изменения теплового режима механизированной сварки при постоянном значении сварочного тока (а значит и мощности дуги), т.е. на стационарном режиме, хотя и давали положительные результаты, но не нашли широкого распространения в силу присущих им недостатков. Поэтому привлекает внимание другое направление управления тепловым потоком дуги путем применения нестационарного режима сварки, при котором выполняется принудительное периодическое изменение параметров режима, что приводит к аналогичному изменению мощности дуги. В соответствии с принятой терминологией, такая сварка может быть отнесена к сварке пульсирующей дугой [2–4].

### **3. Виклад основного матеріалу**

Одним из первых предложений в области сварки пульсирующей дугой в начале 80-х годов прошлого столетия был способ сварки модулированным током [3, 4], аналогом которого является прием модуляции в радиотехнике.

Реализация данного способа осуществлялась путем воздействия на силовые цепи источника сварочного тока, в частности, путем периодического наложения на низкое значение сварочного тока импульсов от дополнительного маломощного источника питания. При этом возникала пульсация параметров сварочной дуги, т.е. сварочного тока и напряжения.

Исследования [1–4] показали, что пульсирование дуги приводит к существенному снижению влияния теплового поля дуги на сварное соединение, благоприятному изменению термического цикла формирования свойств металла шва и ЗТВ, измельчению структуры металла, снижению вероятности возникновения сварочных напряжений.

В развитии рассмотренного способа модуляции было предложено воздействовать не непосредственно на сварочные цепи, а на скорость подачи сварочной проволоки. А именно, с определенной периодичностью кратковременно уменьшать скорость подачи сварочной проволоки посредством управления механизмом подачи от номинального значения до значения, которое ниже минимально необходимого для устойчивого горения

дуги (вплоть до прекращения подачи), с последующим восстановлением её до номинального значения. Но при этом время подачи с уменьшенной скоростью подбирали таким образом, что дуга не успевала оборваться в силу инерционности изменения сварочного тока по сравнению с изменением скорости подачи. При таком режиме подачи сварочной проволоки среднее значение сварочного тока, а значит и тепловой мощности дуги, оказывается меньше, чем при стационарной подаче.

Практическая реализация рассмотренного приема подачи сварочной проволоки подтвердили его эффективность. Однако, результаты оказались скромнее, чем ожидалось из-за большой инерционности управления механизмом подачи, состоящем из электродвигателя в качестве привода и механического редуктора [8].

Однако в процессе исследования и практического применения были установлены недостатки указанных приемов и устройств для их реализации. В частности, происходила деформация сварочной проволоки, особенно при использовании порошковой проволоки, электродная проволока выходила из зацепления с подающими роликами, что нарушало процесс ее подачи, а следовательно ухудшалась стабильность горения дуги. Кроме того, затруднено регулирование режима подачи (время импульса, паузы, частота их следования).

Эти недостатки отсутствуют при аддитивном методе подачи сварочной проволоки. Суть его заключается в том, что изменение скорости подачи сварочной проволоки достигается путем периодического наложения на постоянную скорость подачи импульсного ускорения определенной амплитуды и частоты (рис. 1), т. е. можно сказать, что выполняется механическая модуляция подачи сварочной проволоки.

Такой прием позволяет существенно уменьшить постоянную составляющую скорости подачи сварочной проволоки и, в конечном счете, тепловую мощность дуги. При этом значение постоянной составляющей скорости подачи сварочной проволоки может быть и меньше критического значения, необходимого для поддержания устойчивого горения дуги при традиционном способе механизированной сварки.

Следует также отметить, что с уменьшением сварочного тока уменьшается и диаметр столба дуги, в результате чего уменьшается тепловое влияние дуги на основной металл свариваемых деталей, т.е. уменьшается ширина ЗТВ:

$$d_{CT} = 1,6 \frac{\sqrt{I^3}}{\sqrt{U_D^3}} ; \quad (2)$$

где  $I$  – ток дуги,  $U_D$  – напряжение дуги.

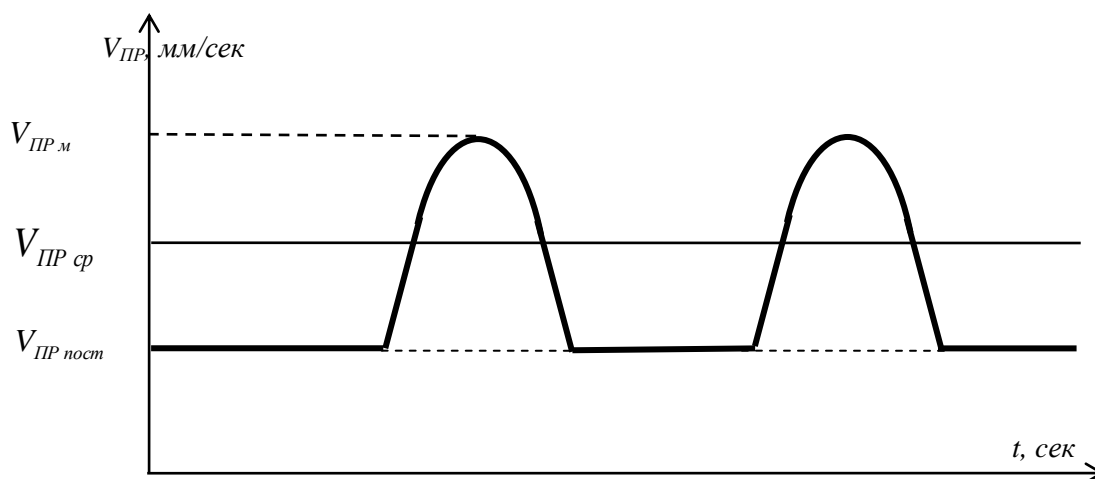


Рис. 1 Циклограмма аддитивного метода подачи сварочной проволоки

Для реализации предлагаемого способа подачи сварочной проволоки был предложен соответствующий механизм подачи [10].

В то же время следует отметить, что, несмотря на наличие определенной априорной информации в области сварки модулированным током и применения самозащитной порошковой проволоки, принять решение на её основе о целесообразности использования данной технологии для получения сварных соединений деталей не представляется возможным. Прежде всего, априорная информация об исследовании сварки модулированным током касается в основном сварки в среде углекислого газа и в большинстве случаев применительно к сварке трубопроводов, поэтому не все выводы из этих исследований могут быть непосредственно применены к сварке самозащитной порошковой проволокой.

Многие аспекты сварки модулированным током самозащитной порошковой проволокой не раскрыты. В частности, не исследован механизм формирования служебных свойств сварного соединения, отсутствуют данные о влиянии указанной технологии на прочностные свойства сварного соединения, не установлен характер влияния параметров режима на технологические показатели процесса сварки и показатели формирования металла сварного шва и ЗТВ. В результате нет обоснованных рекомендаций по технологическому процессу сварки. Отсутствует технико-экономическая оценка целесообразности практического применения указанной технологии.

Следовательно, несмотря на указание априорной информации о перспективности использования механизированной сварки модулированным током самозащитной порошковой проволокой, для подтверждения возможности и определения целесообразности применения её для получения сварных соединений деталей необходимо проведение экспериментальных исследований.

В связи с этим были проведены экспериментальные исследования в ходе которых выполнялась сравнительная оценка механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой с механизированной сваркой модулированным током порошковой самозащитной проволокой.

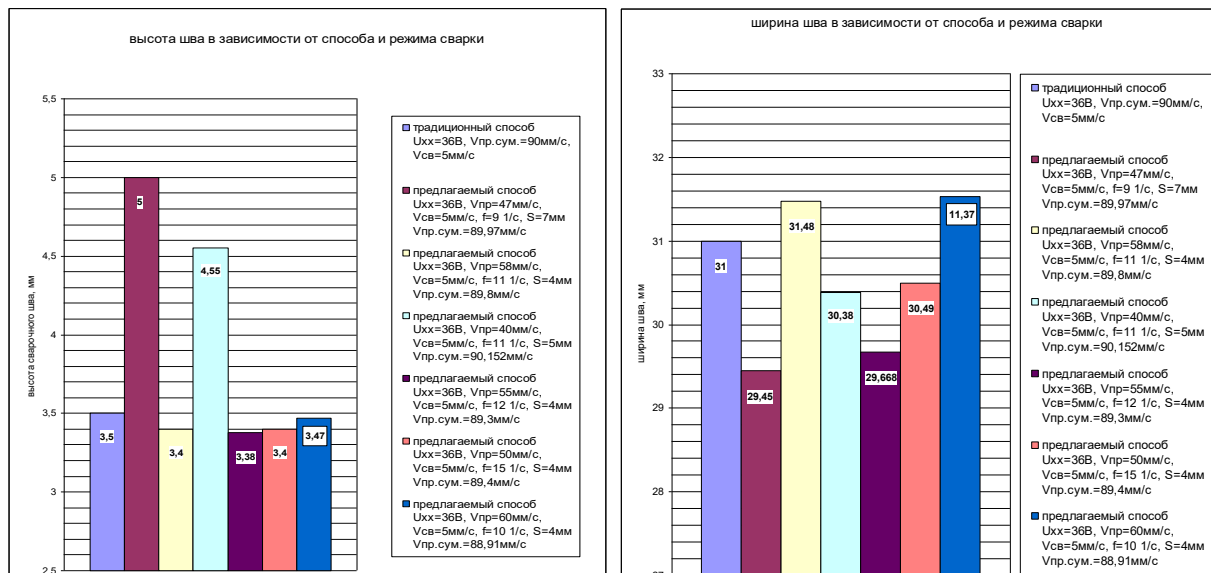


Рис. 2 Влияние способа сварки на высоту и ширину шва

Экспериментальные исследования проводились методом нанесения одиночных валиков на стальную пластину (метод валиковых проб). При этом целью работы было в первую очередь отработать режимы предлагаемого способа сварки и их влияние на свойства, наплавленного металла. В ходе исследований было установлено, что управляя режимами сварки модулированным током без изменения напряжения холостого хода источника и средней скорости подачи проволоки возможно добиться различных свойств шва. При этом происходит управляемый процесс формирования сварного соединения (рис. 2) путём влияния на частоту и амплитуду модуляции. Также в ходе статистической обработки экспериментальных данных были получены математические модели влияния режимов сварки модулированным током на свойства сварного соединения. Например, на твердость (3) наплавленного металла (рис.3):

$$\begin{aligned}
 H = & 35,73 + 3,932 \cdot x_1 + 0,6096 \cdot x_2 + 1,578 \cdot x_3 - 0,5124 \cdot x_4 + 0,8737 \cdot x_5 - \\
 & 0,7565 \cdot x_1 \cdot x_2 + 1,379 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,626 \cdot x_1 \cdot x_4 + 1,653 \cdot x_1 \cdot x_5 - \\
 & 0,7148 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,0068 \cdot x_2 \cdot x_4 + 1,863 \cdot x_2 \cdot x_5 + 0,6023 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0,9306 \cdot x_3 \cdot x_5 - 1,038 \cdot x_4 \cdot x_5 - \\
 & 0,158 \cdot x_{12} - 0,263x_{22} + 2,467 \cdot x_{32} - 0,6114 \cdot x_{42} - 1,13 x_{52}
 \end{aligned} \quad (3)$$

где  $H$  – твердость шва,  $HRC$ ;

$x_1$  – напряжение холостого хода сварочного источника  $U$ , В;

$x_2$  – скорость сварки  $V_{CB}$ , м/сек;

$x_3$  – базовая скорость подачи проволоки  $V_{PP}$ , м/сек;

$x_4$  – амплитуда модуляции  $\delta$ , мм;

$x_5$  – частота модуляции  $f$ , сек<sup>-1</sup>

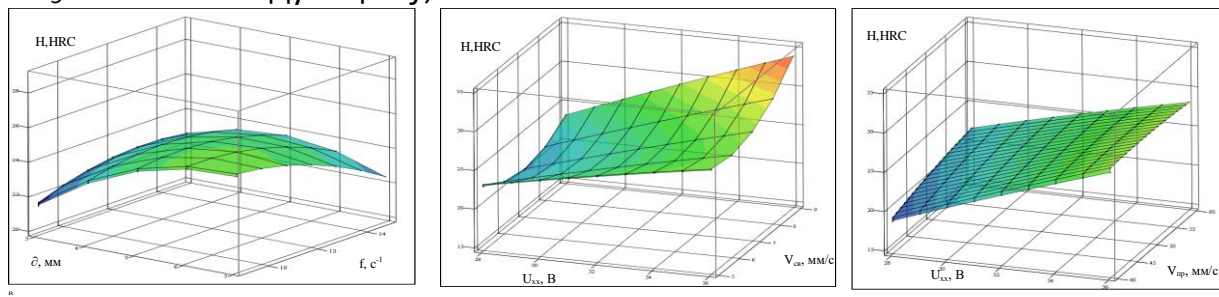


Рис. 3. влияние режимов сварки модулированным током на твёрдость металла шва

#### 4. Висновки.

Анализ данных и проведённых исследований показывает, что применение механизированной сварки с управляемой подачей сварочной проволоки по изложенному выше принципу аддитивности с использованием самозащитной порошковой проволоки позволит достичь следующих технологических эффектов по сравнению с традиционным способом механизированной сварки:

снизить тепловложение электрической дуги в свариваемое соединение и тем самым изменить термический цикл формирования свойств металла сварного шва и зоны термического влияния, что способствует образованию более благоприятной структуры металла, уменьшает вероятность возникновения в нем сварочных напряжений и различного рода дефектов, а также уменьшает ширину ЗТВ;

улучшить условия легирования расплавленного металла вследствие более мелкокапельного переноса электродного металла;

повысить стабильность горения дуги на низких значениях сварочного тока;

повысить степень измельчения структуры металла сварного шва и ЗТВ и степень его однородности в силу влияния пульсирующего теплового поля; повысить твердость металла сварного шва.

Все вышеперечисленное дает возможность предположить, что применение технологии механизированной сварки модулированным током существенно повысит качество сварного соединения.

#### TO THE QUESTION OF THE POSSIBILITY OF WELDING MODULATED CURRENT BY SELF-DEFENSE POWDER WIRE IN PRODUCTION

Datsenko Ivan \*

\* National University of Defense of Ukraine, pr-kt Vozduhoflotsky,



28, Kyiv-049, 03049, Ukraine,  
e-mail: [docik\\_ivan@i.ua](mailto:docik_ivan@i.ua)  
Ph.D.

**Abstract:** *The article deals with the issue of the concept of restorability as one of the most important technical and operational properties of military vehicles, and on the basis of developing a system image of the process of reconstruction of the properties of military vehicles object and repair, a typical structure of requirements is defined which should be taken into account in the development of tactical and technical the task of creating the latest weapons and military equipment.*

**Keywords:** *armament and military equipment, military vehicles, restoration, index, repairability.*

### Список использованных источников

1. Вагнер Ф.А. Оборудование и способы сварки пульсирующей дугой. – М.: Энергия, 1980. – 120 с.
2. Воропай Н.М. Параметры режимов и технологические возможности дуговой сварки с импульсной подачей сварочной проволоки // Н.М. Воропай Автоматическая сварка. – 1966. – № 10. – С. 3 – 9.
3. Воропай Н.М. Принципы построения устройств для импульсной подачи сварочной проволоки // Н.М. Воропай. – Автоматическая сварка. – 1998. – № 8. – С.19 – 25.
4. Воропай Н.М. Электромагнитные механизмы импульсной подачи сварочной проволоки // Н.М. Воропай, О.Н. Савельев, С.С. Семергеев – Автоматическая сварка. – 1980. – №5. – С. 45-54.
5. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.
6. Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов. – М. : Высшая школа, 1977. – 391 с.
7. Багрянский К.В., Добротина З.В., Хренов К.К. Теория сварочных процессов. – К. : Вища школа, 1976. – 424 с.
8. Каспржак Г.М., Щитова В.М. Структурная классификация и сравнительный анализ систем автоматического регулирования процесса дуговой сварки // Труды секции электросварки АН СССР. – М.: Академиздат, 1953, Вып. 1, С.31 – 57.
9. Финни Д. Введение в теорию планирования экспериментов. – М.: Наука, 1970. – 287 с.
10. Патент України Пристрій для подачі дроту / І.П. Даценко, В.В. Яблоков, В.М. Осауленко, М.В. Грибачов, О.Л. Кудрицький, В.В. Купців // Деклараційний патент на винахід № 57596А, 2003. – 6 с.

### References

1. Vagner F.A. (1980) Oborudovaniye i sposoby svarki pul'siruyushchey dugoy [Equipment and welding methods for pulsating arc.]. – Moscow: Energia, 1980. – 120 p.
2. Voropay N.M. (1966) Parametry rezhimov i tekhnologicheskiye vozmozhnosti dugovoy svarki s impul'snoy podachey svarochnoy provoloki [Parameters of modes and technological possibilities of arc welding with pulse feeding of a welding wire]. – Automatic welding. – 1966. – No.10. – P. 3 – 9.
3. Voropay N.M. (1998) Printsipy postroyeniya ustroystv dlya impul'snoy podachi svarochnoy provoloki [Principles of constructing devices for pulse feeding of welding wire]. – Automatic welding. – 1998. – No. 8. – P. 19 – 25.
4. Voropay N. M. Elektromagnitnyye mekhanizmy impul'snoy podachi svarochnoy provoloki [Electromagnetic Mechanisms of Pulsed Feeding of a Welding Wire] N. M. Voropai, S. S. Saveliev, Semergeyev – Automatic welding. – 1980. – № 5. – P. 45 – 54.
5. Yerokhin A.A. Osnovy svarki plavleniyem. [Basics of fusion welding] Moscow . : Mechanical Engineering, 1973. – 448 p.
6. Petrov G.L., Tumarev A.S. Teoriya svarochnykh protsessov [Theory of welding processes] Moscow : High School, 1977. – 391 p.
7. Bagryanskiy K.V., Dobrotina Z.V., Khrenov K.K. Teoriya svarochnykh protsessov [Theory of welding processes] Kiev: Higher school, 1976. – 424 pp.
8. Kasprzhak G.M., Shchitova V.M. Strukturnaya klassifikatsiya i sravnitel'nyy analiz sistem avtomaticheskogo regulirovaniya protsessa dugovoy svarki [Structural classification and comparative analysis of automatic control systems for the arc welding process] Proceedings of the Electric Welding Section of the Academy of Sciences of the USSR. – Moscow: Academizdat, 1953, Issue. 1, P. 31–57.
9. Finni D. Vvedeniye v teoriyu planirovaniya eksperimentov [Introduction to the theory of experiment planning] Moscow: Nauka, 1970. – 287 p.
10. Patent of Ukraine Device for wire feed / I.P. Datsenko, V.V. Yablokov, V.M. Osaulenko, M.V. Gribachov, O.L. Kudryckiy, V.V. Merchants // Declarative Patent for the invention No. 57596A, 2003. – 6 p.