

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №1 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-1>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/64TVN115.pdf>

DOI: 10.15862/64TVN115 (<http://dx.doi.org/10.15862/64TVN115>)

УДК 004.932; 621.791: 621.643

05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)

**Гаврилов Александр Игоревич**

ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана»  
Россия, Москва<sup>1</sup>

Доцент кафедры «Система автоматического управление» ИУ-1

Кандидат технических наук

E-mail: alexgarilov@mail.ru

**Гладков Эдуард Александрович**

ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана»  
Россия, Москва

Профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики» МТ-7

Доктор технических наук

E-mail: oshinnaumin0@gmail.com

**Мин Мин Тун**

ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана»  
Россия, Москва

Аспирант кафедры «Система автоматического управление» ИУ-1

E-mail: minmin7@mail.ru

**Ситу Аунг Со**

ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана»  
Россия, Москва

Аспирант кафедры «Система автоматического управление» ИУ-1

E-mail: sithuaungsoe@gmail.com

**Тхет Аунг**

ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана»  
Россия, Москва

Аспирант кафедры «Система автоматического управление» ИУ-1

E-mail: thetaung84@gmail.com

## **Применение технологий цифровой обработки изображений в нейросетевых системах управления сварочным оборудованием**

---

<sup>1</sup> Гаврилов Александр Игоревич, Кафедра "Системы автоматического управления" (ИУ-1), Российская Федерация, 107005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., дом 5, МГТУ им. Н. Э. Баумана, НУК ИУ, кафедра ИУ-1

**Аннотация.** В статье рассмотрены современные технологии адаптивного управления сварочными комплексами. Типовые структуры систем технического зрения и алгоритмов цифровой обработки изображений положены в основу структурного синтеза интегрированной мультисенсорной системы управления сварочными технологическими процессами. Представлены алгоритмы построения пространственных моделей разделки и сварного шва. Приведены процедуры геометрической адаптации на основе данных лазерной профилометрии и алгоритмы вычисления траектории перемещения сварочной горелки в системе координат свариваемых деталей. Рассмотрена структура системы управления на основе нейросетевой прогнозирующей модели. В данной статье приведены результаты моделирования нейросетевого регулятора системы позиционирования сварочной горелки.

**Ключевые слова:** цифровая обработка изображений; мультисенсорная система управления; мониторинг сварочных процессов; лазерная профилометрия сварочных процессов; нейросетевая прогнозирующая система.

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

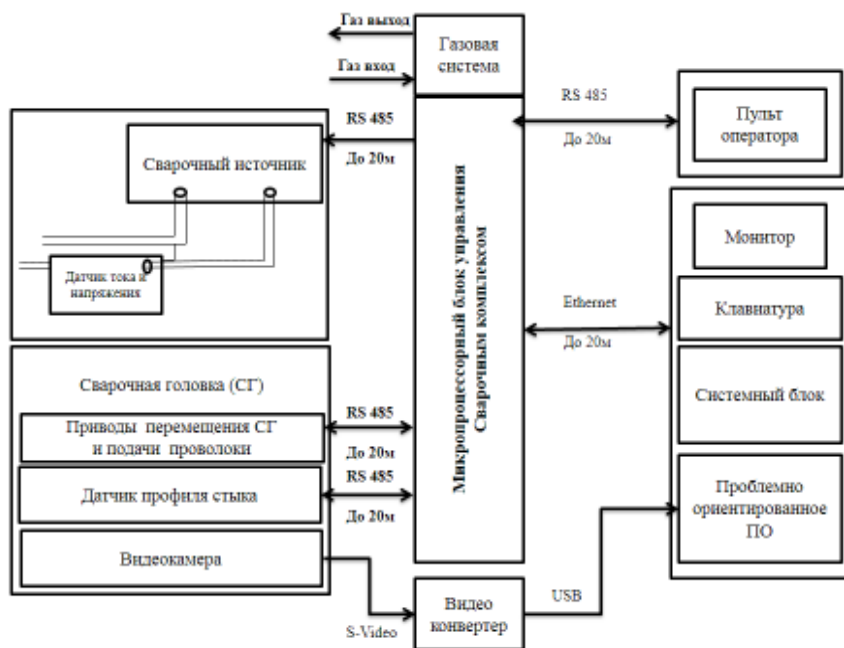
Гаврилов А.И., Гладков Э.А., Мин Мин Тун, Ситу Аунг Со, Тхет Аунг Применение технологий цифровой обработки изображений в нейросетевых системах управления сварочным оборудованием // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №1 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/64TVN115.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/64TVN115

## Введение

В настоящее время инновационные технологии в области переработки и транспортировки углеводородного сырья стремительно развиваются наряду с повышением потребностей социума в данных продуктах. Сети транспортировки – магистральные трубопроводы становятся все более разветвленными, их протяженность растет, повышаются темпы строительства. Основной критической технологией соединения труб большого диаметра в нитки магистральных трубопроводов по-прежнему остается сварка. При строительстве магистральных трубопроводов возникает ряд актуальных задач, таких как снижение уровня брака при сварке стыковых соединений, увеличение производительности процесса сварки, повышение уровня вероятности обнаружения дефектов [2,4,7]. Указанные проблемы могут быть решены путем внедрения в системы управления сварочными процессами интеллектуальных технологий [5,7] и современных средств обработки цифровых изображений [2,8].

Задача создания интеллектуальных систем управления процессами сварки может быть сведена к оборудованию сварочных комплексов бесконтактными датчиками различного типа, высокопроизводительными устройствами обработки цифровой информации и программным обеспечением, реализующим функции адаптивной коррекции режимов на основе нейросетевых алгоритмов управления [1,2,5,7,8]. Программно-аппаратные комплексы, построенные на указанных принципах, в полной мере обеспечивают управление сварочным процессом, включая решение основных задач адаптации сварочного оборудования, таких как слежение за траекторией шва (геометрическая адаптация), коррекция режимов сварки (технологическая адаптация) и прогнозирование появления дефектов [2,5].

Анализ методов и средств искусственного интеллекта, современных технологий адаптивного управления сварочными комплексами, типовых структур систем технического зрения и алгоритмов цифровой обработки изображений положен в основу структурного синтеза интегрированной мультисенсорной системы управления сварочными технологическими процессами на рис.1.



*Рис. 1. Интегрированная мультисенсорная система управления сварочными технологическими процессами*

Интегрированная система управления сварочными технологическими процессами на основе данных видеомониторинга реализована на базе сварочной установки ГАСТ-1 НПП «ТехноТрон» [2,4]. Сварочная головка дополнительно оснащена сервоприводами вертикального перемещения и горелки [2,4,7], лазерным сканером и видеокамерой на рис.2.



**Рис. 2.** Установка для орбитальной сварки кольцевых стыков труб;  
1- сварочная головка, 2- видеокамера, 3 - лазерный сканер

В качестве технических средств информационного обеспечения программно-аппаратного сварочного комплекса использованы лазерный датчик профиля - триангуляционный лазерный сканер РФ603 фирмы «Рифтек» (рис.3), предназначенный для построения пространственных моделей разделки и сварного шва, и видеокамера SR-3000AT фирмы «Infinity» на рис 4 для решения задач мониторинга и построения панорамных цифровых изображений протяженных сварных соединений.



а)



б)

**Рис. 3.** Триангуляционный лазерный сканер, а) РФ603 фирмы «Рифтек»,  
сканер на сварочной установке



а)



б)

**Рис.4.** Видеокамера, а) SR-3000AT фирмы «Infinity»,  
 б) видеокамера на сварочной установке

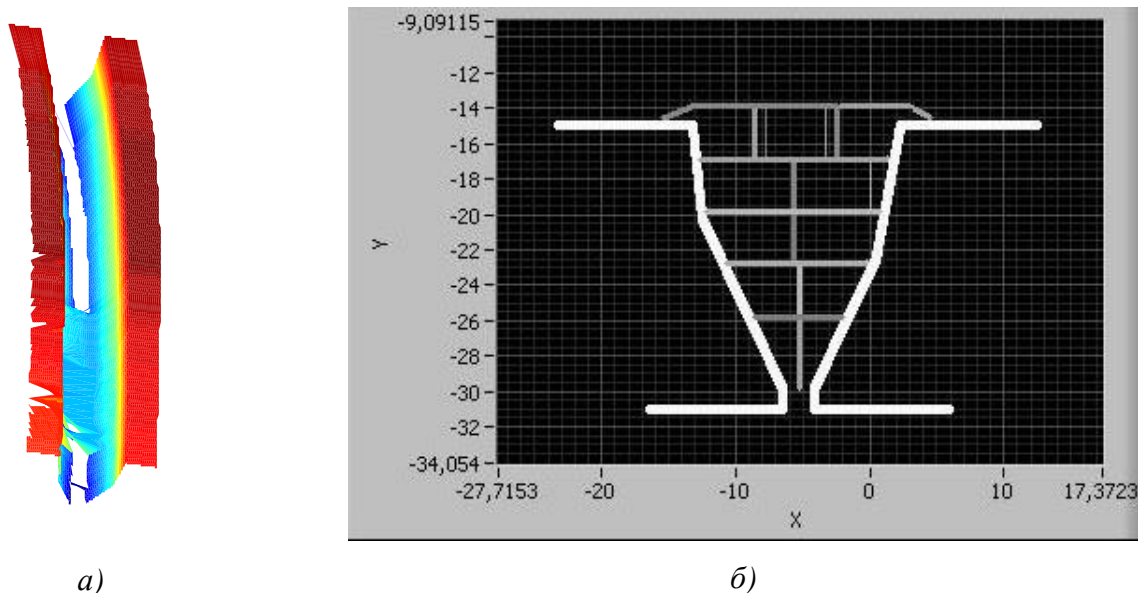
Выходной файл профилометрических данных формируется при тестовом проходе с помощью лазерного сканера. Строка данных имеет вид, приведенный в Таблице 1.

**Таблица 1**

**Формат строки файла данных лазерной профилометрии**

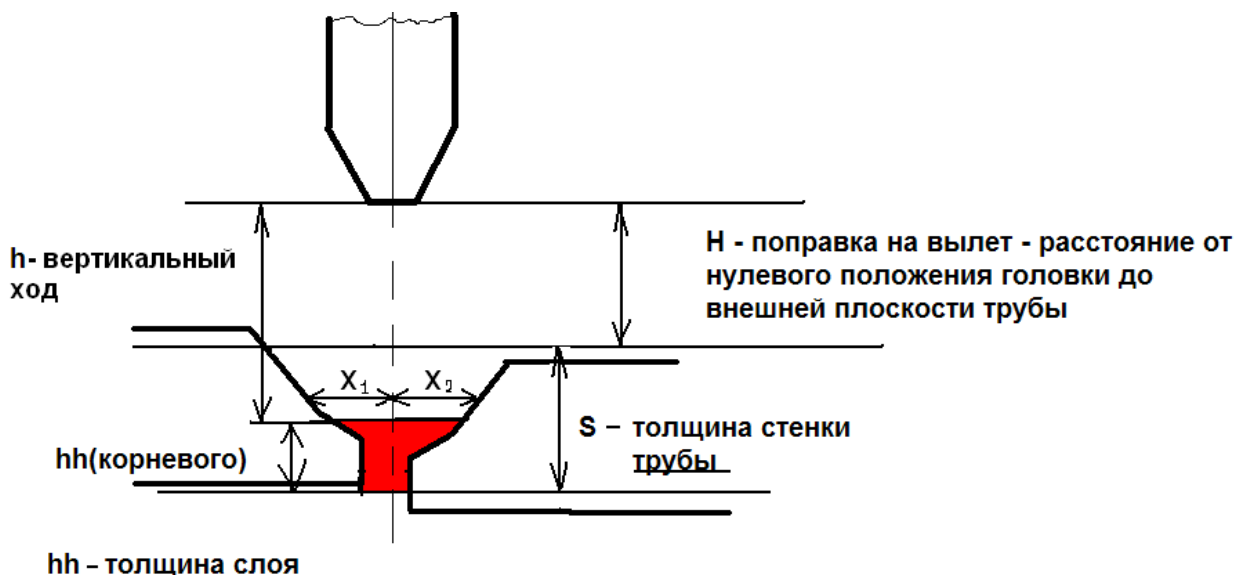
№	Параметр	Обозначение	Пределы
1	Абсолютное время	ДД.ММ.ГГГГ ЧЧ:ММ:СС,XX Пример 06.06.2014 13:58:03,77	
2	Текущее угловое положение сварочной головки в градусах	FR	-360...360,0
3	1024 пар значений (X,Y) профиля стыка.	X,Y	X: -100...100,00 Y: 0...150,00

Анализ технологических процессов сварки и применения методов адаптивной коррекции показали целесообразность реализации следующей процедуры формирования многослойного сварного соединения: Пространственная модель стыка, полученная с помощью априорной лазерной профилометрии [2,4,8], используется для оптимизации раскладки валиков шва на рис.5.



**Рис. 5.** Формирование траектории перемещения сварочной горелки на основе данных лазерной профилометрии. а) – Пространственная модель стыка; б) – раскладка валиков шва при многослойной сварке.

Реализация процедуры геометрической адаптации на основе данных лазерной профилометрии [2,4,7,8] подразумевает вычисление траектории перемещения сварочной горелки в системе координат свариваемых деталей. Слежение за стыком производится по координате  $X$  для перемещения в поперечном направлении и в вертикальном (по вылету  $h$ ) для позиционирования на требуемой высоте (Рис.6).



**Рис.6.** Позиционирование сварочной горелки.

Для позиционирования сварочной горелки и ее перемещения по рассчитанной траекторией предлагается использовать нейросетевую систему управления, на основе прогнозирующих моделей [1,3,5,6]. Парадигма прогнозирующего управления заключается в

вычислении оценки сигнала управления  $\hat{u}(t)$ , являющегося оптимальным в силу следующего критерия:

$$\begin{aligned} J(\mathbf{U}(t), t) &= \sum_{i=N_1}^{N_2} [r(t+i) - \hat{y}(t+i|t)]^2 + \rho \sum_{i=1}^{N_u} [\Delta u(t+i-1)]^2 \\ \mathbf{U}(t) &= [u(t) \dots u(t+N_u-1)]^T, \\ \Delta u(t+i-1) &= \Delta u(t+i) - \Delta u(t+i-1), \\ \Delta u(t+i) &= 0, \quad N_u \leq i \leq N_2 - d, \\ u_{\min} \leq u(t) \leq u_{\max}, \quad y_{\min} \leq y(t) \leq y_{\max}, \end{aligned} \tag{1}$$

где  $N_1, N_2$  - минимальный и максимальный горизонты оценки выходного сигнала (прогноз);  $N_u$  - горизонт управления;  $d$  - время задержки.

Синтез управления на основе прогнозирующих моделей подразумевает вычисление сигнала управления как аргумента, минимизирующего критерий на области возможных управлений:

$$\hat{u}(t) = \arg \min_{\mathbf{U}(t)} J(\mathbf{U}(t), t) \tag{2}$$

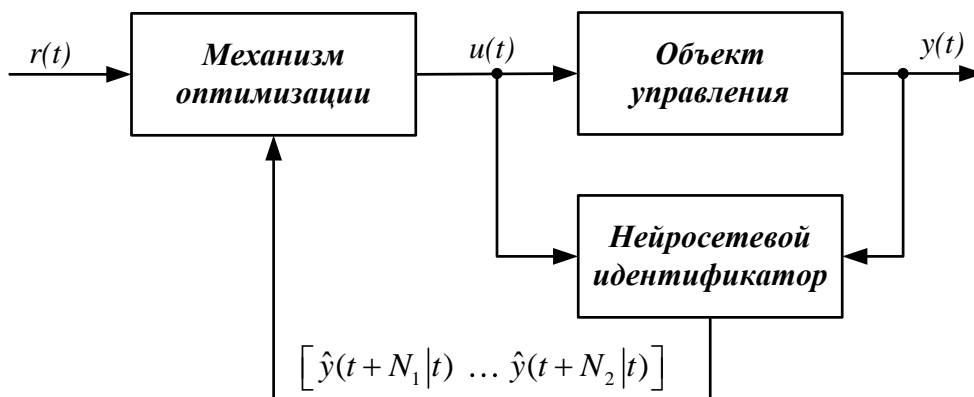
Минимизация критерия производится на основе итеративных методов поиска:

$$\mathbf{U}_{k+1} = \mathbf{U}_k + \eta_k \mathbf{d}_k, \tag{3}$$

где  $\mathbf{U}_k$  - сигналы управления на  $k$ -ой итерации;  $\eta_k$  - скорость алгоритма,  $\mathbf{d}_k$  - направление поиска. Настройки параметров регулятора производятся с помощью алгоритмов, основанных на методах оптимизации функций многих переменных [1,3].

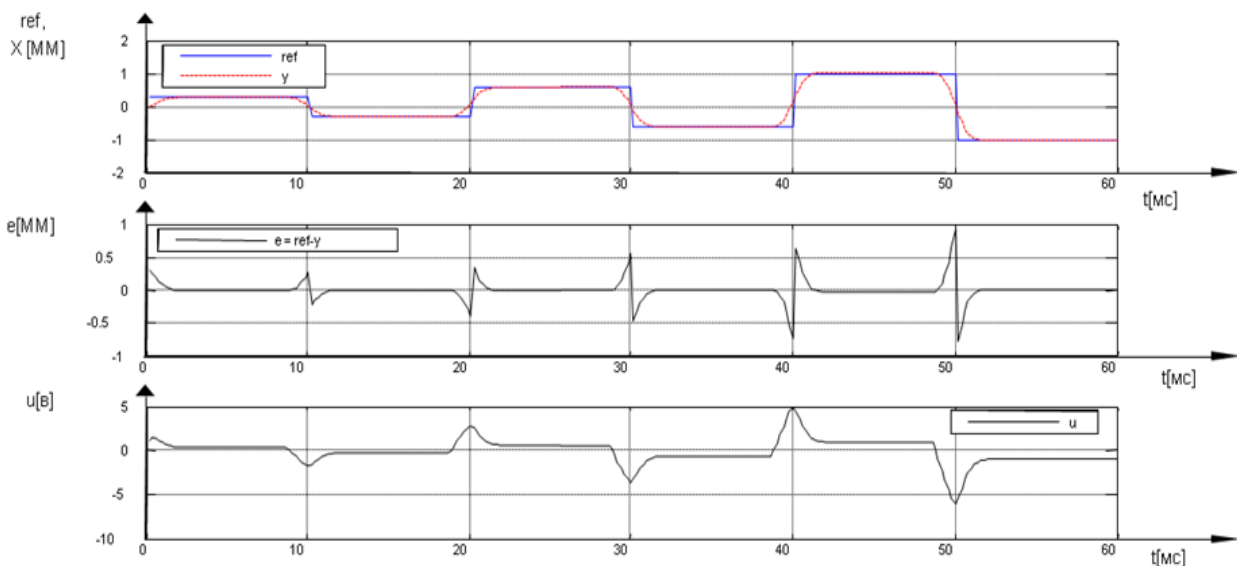
Структура системы нейросетевого управления на основе прогнозирующих моделей приведена на рис.7.





**Рис.7.** Структура системы управления на основе нейросетевой прогнозирующей модели

Полученные законы управления на основе прогнозирующих моделей применены в системе управления приводом поперечного перемещения сварочной горелки. Желаемая траектория перемещения горелки, полученная на основе данных лазерной профилометрии, ошибка позиционирования и сигнал управления приведены на рис.8.



**Рис. 8.** Результаты моделирования нейросетевого регулятора системы позиционирования сварочной горелки в поперечном направлении. Ref- уставка; X-перемещение сварочной горелки; e-ошибка позиционирования; u- сигнал управления



### **Заключение**

Применение лазерного сканирования и технологий обработки профилометрических данных позволяет учитывать геометрические особенности разделки и прогнозировать траекторию перемещения сварочной головки в том числе при наличии возмущений (дефектов сборки стыка).

Предложенный подход к управлению перемещением сварочной головки демонстрирует возможность прецизионного слежения за стыком и отработку траекторий произвольной сложности.

По окончании процесса сварки качество соединения может быть оценено с помощью программно-аппаратной системы видеомониторинга, выполняющей функции построения цифровых изображений протяженных сварных соединений [4,8] и локализации (определения пространственного положения) дефектов.

Разработанный подход к проектированию интегрированных систем автоматического управления сварочными установками обеспечивает повышение качества и производительности при строительстве и ремонте за счет полной автоматизации как процесса сварки, так и контроля качества соединений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов А.И., Хоанг К.Т. Разработка и исследование алгоритма структурной оптимизации искусственных нейронных сетей // Научно-технические технологии. 2006. Т. 7. № 1. С. 26-31.
2. Гладков Э.А., Перковский Р.А., Гецкин Б.Л., Гаврилов А.И., Бродягин В.Н. Автоматизированный комплекс для многослойной сварки кольцевых стыков труб магистральных трубопроводов со средствами адаптации и прогнозирования качества сварки // Наука и техника в газовой промышленности. 2009. № 4. С. 77-86.
3. Малолетков А.В., Гаврилов А.И., Перковский Р.А. Методические аспекты применения нейросетевых моделей для прогнозирования качества сварки плавлением // Сварка и диагностика 2008. № 3. С. 2-7.
4. Гаврилов А.И., Ситу Аунг Со [и др.]. Адаптивная система управления сварочным оборудованием // Инженерный вестник. – Дона. 2014. №2-  
<http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2385> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
5. Пупков К.А., Гаврилов А.И., Шахназаров Г.А. Комплексование технологий управления в интеллектуальных системах высокой точности и надежности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2011. № 4. С. 60-67.
6. Гладков Э.А., Гаврилов А.И. Имитационное моделирование лазерной сварки с глубоким проплавлением с использованием нейросетевых моделей. Сварка и диагностика. 2009. № 1. С. 9-11.
7. Алешин Н.П., Гладков Э.А., Гаврилов А.И., Перковский Р.А., Рахматуллин Т.А. Реализация адаптивных технологий сварки кольцевых стыков магистральных трубопроводов // Сварка и диагностика. 2011. № 5. С. 48-53.
8. Гаврилов А.И., Тхет А. Применение методов сегментации изображений в задачах обнаружения дефектов поверхности сварных соединений // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2014. № 5 (98). С. 124-132.
9. Yu X.P., Zhao X.R., Sum H., Gavrilov A., Hanjie X. Weld width prediction based on artificial neural network // Transactions of the China Welding Institution. 2005. Т.26.№ 5.

**Рецензент:** Симаранов С.Ю., Генеральный директор ЗАО «Техноконсалт», доктор технических наук, профессор.

**Gavrilov Alexander Igorevich**

Bauman Moscow State Technical University  
Russia Federation, Moscow  
E-mail: alexgavrilov@mail.ru

**Gladkov Edward Aleksandrovich**

Bauman Moscow State Technical University  
Russia Federation, Moscow  
E-mail: 0shinnaymin0@gmail.com

**Min Min Htoon**

Bauman Moscow State Technical University  
Russia Federation, Moscow  
E-mail: minmin7@mail.ru

**Sithu Aung Soe**

Bauman Moscow State Technical University  
Russia Federation, Moscow  
E-mail: sithuaungsoe@gmail.com

**Thet Aung**

Bauman Moscow State Technical University  
Russia Federation, Moscow  
E-mail: thetaung84@gmail.com

## **The application of digital imaging technology in the neural network control system welding equipment**

**Abstract.** The article deals with the modern technology of adaptive control of welding systems. Typical structure of machine vision systems and digital image processing algorithms as the basis for structural synthesis of integrated multisensory control welding process. Spatial algorithms are presented the models of cutting and weld joints. Provides procedures for geometric adaptation based on laser profilers and algorithms to calculate the trajectory of the moving the welding torch in the coordinate system of the welded parts. The structure of the control system based on neural network predictive model. This article presents the results of the simulation of the neural network control system positioning of the welding torch.

**Keywords:** digital image processing; multisensory control system; monitoring of welding processes; laser profilometry welding processes; the neural network predictive system.

## REFERENCE

1. Gavrilov AI, Hoang KT. Development and research of structural optimization algorithm of artificial neural networks // High Tech. T. 2006. 7. № 1. p. 26-31.
2. Gladkov EA, Perkovsky RA, Getskin BL, Gavrilov AI, Brodyagin VN. An automated system for multi-layer welding of pipeline circular joints with the means to adapt and predict weld quality // Science and technology in the gas industry. 2009. № 4. p. 77-86.
3. Maloletkov AV, Gavrilov AI, Perkovsky RA. Methodological aspects of the application of neural network models for prediction of the quality of fusion welding // Welding and diagnostics 2008. № 3. p. 2-7.
4. Gavrilov AI, Sithu Aung Soe with [others.]. Adaptive control system of welding equipment // Engineering Journal- Don. 2014. №2-  
<http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2385> (free access) - Caps. from the screen. - Language. rus.
5. Pupkov KA, Gavrilov AI, Shahnazarov GA. Integration of management technologies in intelligent systems of high accuracy and reliability // Bulletin of the Russian People's Friendship University. Series: Engineering studies. 2011. № 4. p. 60-67.
6. Gladkov EA, Gavrilov AI. Simulation modeling of laser welding with deep penetration using neural network models. Welding and diagnostics. 2009. № 1. p. 9-11.
7. Aleshin NP, Gladkov EA, Gavrilov AI, Perkovsky RA, Rakhmatullin TA. The implementation of adaptive technology welding ring joints of the main pipelines // Welding and diagnostics. 2011. № 5. p. 48-53.
8. Gavrilov A.I, Thet Aung. Application of image segmentation problems in the detection of surface defects of welded joints // Bulletin of the Moscow State Technical University. NE Bauman. Series: Instrument. 2014. № 5 (98). p. 124-132.
9. Yu XP, Zhao XR, Sum H., Gavrilov A., Hanjie X. Weld width prediction based on artificial neural network // Transactions of the Shina Welding Institution. 2005. T.26. № 5.