

# **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ В УСЛОВИЯХ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

**Д. С. Фоминых<sup>1</sup>, В. А. Кушников<sup>1</sup>, А. С. Богомолов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Федеральный исследовательский центр*

*«Саратовский научный центр Российской академии наук», Россия*

<sup>2</sup>*Саратовский национальный исследовательский*

*государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, Россия*

E-mail: dm\_fominyh@mail.ru, kushnikoff@yandex.ru, alexbogomolov@yandex.ru

В статье предлагается подход к решению задачи управления процессом сварки в роботизированных технологических комплексах по критерию аварийности производимой продукции с применением нейросетевого моделирования. Приведена постановка задачи, рассмотрена модель трехслойного перцептрона. В качестве входов используются основные параметры технологического процесса. Выходами являются управляющие воздействия для предотвращения аварийных ситуаций. Внедрение рассмотренных в статье моделей и алгоритмов позволит снизить количество аварийных остановок при эксплуатации робототехнических технологических комплексов.

## **APPLICATION OF NEURAL NETWORK MODELING IN CONTROL OF ROBOTIC TECHNOLOGICAL COMPLEXES IN CONDITIONS OF RISK OF EMERGENCY SITUATIONS**

**D. S. Fominykh, V. A. Kushnikov, A. S. Bogomolov**

The article proposes an approach to solving the problem of controlling the welding process in robotic technological complexes according to the criterion of the accident rate of manufactured products using neural network modeling. The problem statement is given and the model of a three-layer perceptron is considered. The main parameters of the technological process are used as inputs. Outputs are control actions to prevent emergency situations. The implementation of the models and algorithms discussed in the article will reduce the number of emergency stops during the operation of robotic technological complexes.

Роботизированные технологические комплексы (РТК) дуговой сварки нашли широкое применение в различных отраслях промышленности как наиболее эффективный способ повышения производительности, качества продукции и обеспечения безопасности персонала. РТК позволяют осуществлять сварку швов различной сложности в различных пространственных положениях без потери качества.

В настоящее время применяется несколько различных типов роботов. Наибольшее распространение для выполнения сварки получили шарнирно-сочлененные антропоморфные манипуляторы с пятью-шестью степенями свободы. Неотъемлемой частью РТК также является оборудование для сварки,

очистки горелки, вентиляционная система и защитные периметральные барьеры, а также оборудование и программное обеспечение для позиционирования и перемещения изделия (вращатели, кантователи и т.д.) [1-4]

В то же время постоянный рост уровня автоматизации предприятий и высокие требования к качеству и производительности говорят о необходимости постоянного решения задач по предотвращению остановок технологического процесса из-за аварийных ситуаций. Данные соображения подчеркивают актуальность и экономическую и практическую значимость задачи минимизации вероятности возникновения аварийных ситуаций, приводящих к остановке технологического процесса в ходе сварки в РТК.

Исходя из этого сформулируем постановку задачи управления процессом сварки в РТК: разработать алгоритм поиска вектора управляющих воздействий  $\mathbf{v}^*(t) \in \mathbf{V}$ , позволяющих на временном отрезке  $[t_0, t_1]$  при любых допустимых значениях вектора состояний среды  $\mathbf{s}(t) \in \mathbf{S}$  минимизировать критерий, характеризующий аварийность технологического процесса

$$K_A = \int_{t_0}^{t_1} P(t, \mathbf{s}, \mathbf{s}', \mathbf{v}, \mathbf{v}') dt$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} F_i(t, \mathbf{s}, \mathbf{s}', \mathbf{v}, \mathbf{v}') &\geq 0, i = 1, \dots, n_1 \\ F_i(t, \mathbf{s}, \mathbf{s}', \mathbf{v}, \mathbf{v}') &< 0, i = n_1 + 1, \dots, n_2 \end{aligned}$$

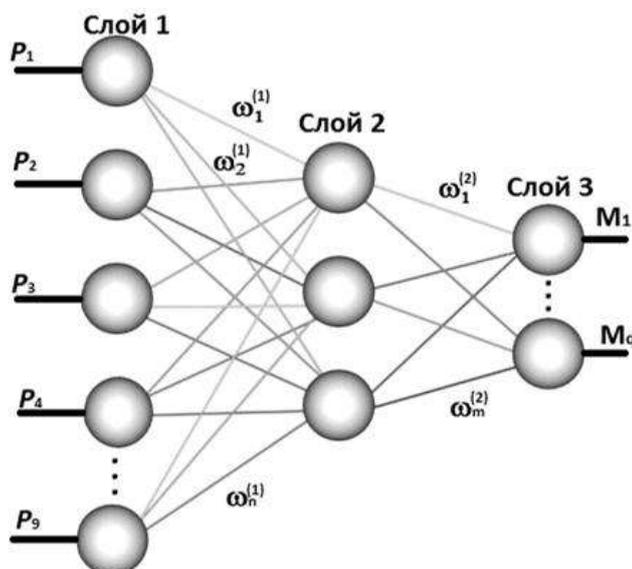
и граничных условиях

$$\begin{aligned} F_i^{(t_0)}(t, \mathbf{s}, \mathbf{s}', \mathbf{v}, \mathbf{v}') &= 0, i = n_3, \dots, n_4 \\ F_i^{(t_1)}(t, \mathbf{s}, \mathbf{s}', \mathbf{v}, \mathbf{v}') &= 0, i = n_4 + 1, \dots, n_5 \end{aligned}$$

где  $K_A$  – целевая функция, характеризующая аварийность процесса сварки роботизированным комплексом на временном интервале  $[t_0, t_1]$ ;  $P$  – вероятность возникновения аварии, приводящей к остановке технологического процесса;  $\mathbf{S}, \mathbf{V}$  – множества допустимых значений соответственно векторов  $\mathbf{s}(t)$  и  $\mathbf{v}(t)$ ;  $t$  – время;  $n_1, \dots, n_5$  – заданные константы.

В [5,6] данная задача решалась путем разработки и дальнейшей реализации комплексного плана мероприятий, позволяющих предотвратить возникновение аварийных ситуаций в процессе сварки в РТК. В данной статье предлагается применить подход с использованием математического аппарата нейронных сетей.

В качестве нейронной сети выбран трехслойный персептрон с архитектурой, представленной на рисунке.



Архитектура персептрона для формирования управляющих воздействий по предотвращению аварийных ситуаций при сварке РТК

В качестве входов персептрона будем использовать значения параметров технологического процесса. На основе опыта эксплуатации РТК дуговой сварки Kawasaki с контроллерами С40 и сопряженным сварочным оборудованием Fronius выявлены основные параметры сварки, влияющие на стабильность технологического процесса, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры технологического процесса дуговой сварки в РТК

№	Наименование параметра
$P_1$	Катет сварного шва, мм
$P_2$	Наличие пор в сварном шве,
$P_3$	Подрез верхнего листа, мм
$P_4$	Подрез нижнего листа, мм
$P_5$	Прожог листа, мм
$P_6$	Наличие окалины на листе
$P_7$	Толщина верхнего листа, мм
$P_8$	Толщина нижнего листа, мм
$P_9$	Прилипание проволоки к наконечнику

Обучение проводилось на основе алгоритма обратного распространения ошибки и алгоритма Коши. Коррекция весов выполнялась по соотношению:

$$\omega_i^{(j)}(k) = \omega_i^{(j)}(k - 1) + \sigma \Delta \omega_i^{(j)}(k) + (1 - \sigma)R$$

где  $k$  – номер шага обучения; коррекция весового коэффициента  $R$  – величина случайного изменения веса нейрона, определяемая по распределению Коши,  $\sigma$  – коэффициент скорости обучения персептрона.

На выходе мы получаем указания по применению конкретных мероприятий, направленных на устранение причин аварийных ситуаций.

В качестве примера рассмотрим 4 аварийные ситуации:

1. «Появление окалины от брызг на нижнем листе»;
2. «Подрез верхнего листа более 0,5мм»;
3. «Прожог металла в месте стыковки листов»;
4. «Снижение размера катета сварного шва».

Значения входных параметров, характеризующих данные ситуации, и сформированные мероприятия приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результат формирования управляющих воздействий**

№	Входы									Выходы
	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$	$P_9$	
1	9	0	0	0	0	1	10	14	0	$M_1$ = «Установить расход защитного газа 18 л/мин» $M_2$ = «Очистить сопло горелки» $M_3$ = «Увеличить напряжение дуги»
2	10	0	1	0	0	0	12	16	0	$M_1$ = «Уменьшить значение горизонтального смещения функции RTBIAS» $M_2$ = «Отрегулировать зажимные ролики» $M_3$ = «Уменьшить напряжение дуги»
3	10	0	0	0	1	0	10	14	0	$M_1$ = «Уменьшить значение сварочного тока» $M_2$ = «Проверить стенд сборки балки, уменьшить зазоры между листами» $M_3$ = «Проверить состояние фрезы на посту снятия фаски»
4	9	0	0	0	0	0	12	16	0	$M_1$ = «Увеличить значение сварочного тока» $M_2$ = «Уменьшить скорость сварки» $M_3$ = «Увеличить амплитуду колебаний горелки»

В дальнейшем планируется применение большего числа входных параметров, а также увеличение количества выходов перцептронов, что позволит повысить эффективность управления процессом сварки в роботизированных технологических комплексах. Также возможно масштабирование данного математического обеспечения по методикам [7-10] для решения других задач, например, повышения качества сварки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dinham M., Fang G.* Autonomous weld seam identification and localisation using eye-in-

- hand stereo vision for robotic arc welding // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2013. № 29 (5). P. 288-301.
2. *Miller M., Mi B., Kita A., Ume I. C.* Development of automated real-time data acquisition system for robotic weld quality monitoring. // *Mechatronics*. 2002. № 12 (9-10). P. 1259-1269.
  3. *Ryberg A., Ericsson M., Christiansson A.K., Eriksson K., Nilsson J., Larsson M.* Stereo vision for path correction in off-line programmed robot welding // In Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology. 2010. P. 1700-1705.
  4. *Shen H. Y., Wu J., Lin T., Chen S. B.* Arc welding robot system with seam tracking and weld pool control based on passive vision // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2008. № 39 (7-8). P. 669-678.
  5. *Резчиков А. Ф., Кушников В. А., Иващенко В. А., Фоминых Д. С., Богомолов А. С., Филимонюк Л. Ю.* Предотвращение аварийных ситуаций в процессе сварки в роботизированных технологических комплексах // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии*. 2017. № 4. С. 46-55.
  6. *Фоминых Д. С., Кушников В. А.* Управление процессом сварки в роботизированных комплексах в условиях риска аварийных ситуаций // *Проблемы управления, обработки и передачи информации сборник трудов V Междун. юбилейной науч. конф.* 2017. С. 267-271.
  7. *Fominykh D. S., Rezchikov A. F., Kushnikov V. A., Ivaschenko V. A., Bogomolov A. S.* The models and algorithms for product quality control in welding by robotic technological complexes. // *Mechatronics, Automation, Control*. 2022. Т. 23. № 12. P. 637-642.
  8. *Rezchikov A. F., Kushnikov V. A., Ivashchenko V. A., Fominykh D. S., Bogomolov A. S., Filimonjuk L. Yu.* Prevention of critical events combination in robotic welding // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2017. Т. 46. № 4. P. 370-379.
  9. *Резчиков А. Ф., Кушников В. А., Иващенко В. А., Фоминых Д. С., Богомолов А. С., Филимонюк Л. Ю.* Модели и алгоритмы управления процессом сварки роботизированными технологическими комплексами по критерию качества производимой продукции // *Управление большими системами*. 2018. Вып. 71. С. 98-122.
  10. *Фоминых Д. С., Кушников В. А., Богомолов А. С., Резчиков А. Ф.* Разработка алгоритма поддержки принятия решения при управлении процессом сварки роботизированными комплексами // *Труды 15-й междун. конф. «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2022)»*. М. : ИПУ РАН. 2022. С. 1184-1189.