

УДК 681.5

DOI: 10.12737/24910

Е.М. Самойлова

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ КАЧЕСТВА ШЛИФОВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассмотрен интеллектуальный анализ и обработка массивов данных амплитудных и фазовых каналов вихретокового контроля шлифовальной обработки деталей с применением нейронных сетей структуры многослойного персептрона. Проведено моделирование нейронной сети структуры многослойного персептрона для решения задачи автоматического распознавания дефектов на осно-

вании массивов данных амплитудных и фазовых каналов вихретокового контроля. Представлена программная реализация информационно-измерительного канала вихретокового контроля.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных, нейронная сеть, распознавание дефектов, персептрон, поверхность качения, подшипник, вихретоковый контроль.

Е.М. Samoylova

INTELLIGENT ANALYSIS AND DATA PROCESSING OF PARTS GRINDING QUALITY USING NEURONET TECHNOLOGIES

An intelligent analysis and processing of data files of amplitude and phase channels of eddy current testing in parts grinding with the use of neural networks of the structure of a multilayer perceptron was considered. The modeling of a neural network of the structure of a multilayer perceptron is carried out which is a solution of the problem of large data files processing regarding quality of parts allowing the creation of a more efficient automated system of monitoring and the connection in a single information area of the subsystem of parts control, control and management of a technological system, the decrease of cost price of quality control, the coverage of a larger sampling volume of parts under control and the increase

the efficiency of a technological system control in manufacturing high-accuracy bearing parts.

A program realization of the information-measuring channel of eddy current testing as a part of an expert system of decision-making support in the environment of SCADA-system TRACE MODE 6 is presented. The special-purpose developed software Image is designed for the visualization in an on-line mode, an automated collection, and the analysis and information storage of eddy current testing.

Key words: intelligent data analysis, neural network, defect identification, perceptron, rolling surface, bearing, eddy current testing.

Введение

Автоматизация распознавания дефектов поверхностного слоя деталей подшипников на основе нейросетевых технологий направлена на интеллектуализацию системы мониторинга, способной охватить большой объем выборки контролируемых изделий и повысить эффективность управления технологической системой.

Целесообразность применения нейронных сетей (НС) в современном высокоточном машино- и приборостроительном производстве состоит прежде всего в воз-

можности использования большого количества разнообразных входных данных на базе большого парка вычислительной техники, имеющей высокую производительность, и мощных распределенных баз данных (БД) единого информационного пространства, в которых может храниться большое количество данных, необходимых для обучения, тестирования и обеспечения функционирования НС как части гибридной интеллектуальной системы.

Анализ вихретокового сканирования поверхности качения колец подшипников

Задача применения интеллектуального анализа и обработки данных качества шлифовальной обработки деталей с помощью НС возникла в связи с

тем, что представление результатов вихретокового контроля поверхностей деталей подшипников в виде изображения неоднородности можно характеризовать

по типу, форме и их взаимному расположению, что объясняет большую размерность массивов амплитуды и фазы сигнала вихретокового преобразователя [1; 2].

В таблице представлена номенклатура обработанных в

производственных условиях на круглошлифовальных автоматах модели SWaAGL-50 и внутришлифовальных автоматах модели SIW-5 колец подшипников, поверхность качения которых исследована вихретоковым прибором ПВК-К2М.

Таблица

Номенклатура исследованных колец подшипников, обработанных на станках SWaAGL-50 и SIW-5

Тип кольца	Номер станка	Вид обработки	Скорость вращения, об/мин	
			круга	детали
308\02	SWaAGL-50 №166	Окончательная	1700	320
208\02	SWaAGL-50 №436	Окончательная	2000	560
207\02	SWaAGL-50 №438	Окончательная	1700	560
256907\02	SWaAGL-50 №230	Окончательная	2300	590
232726\01	SIW-5 №331	Предварительная	4500	140
232726\01	SIW-5 №332	Окончательная	4500	150
32413\01	SIW-5 №322	Предварительная	8000	150
12318\01	SIW-5 №302	Предварительная	8000	150
12318\01	SIW-5 №333	Окончательная	8000	150
2222\01	SIW-5 №395	Окончательная	8000	150

На рис. 1-3 представлены результаты обработки и анализа данных вихретокового контроля поверхности колец, где по вертикали представлены

амплитуды сигнала с ВТП, а по горизонтали – номера столбцов данных сканированной дорожки качения кольца.

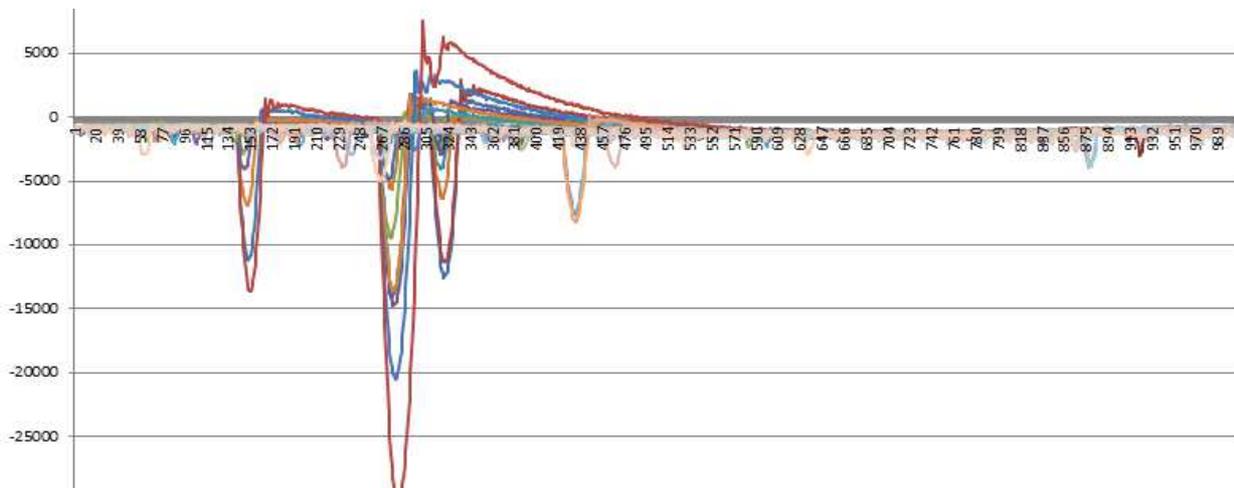


Рис. 1. Результаты анализа вихретокового сканирования поверхности качения кольца подшипника с локальным дефектом «забоина», где каждому цвету соответствует отдельная дорожка сканирования

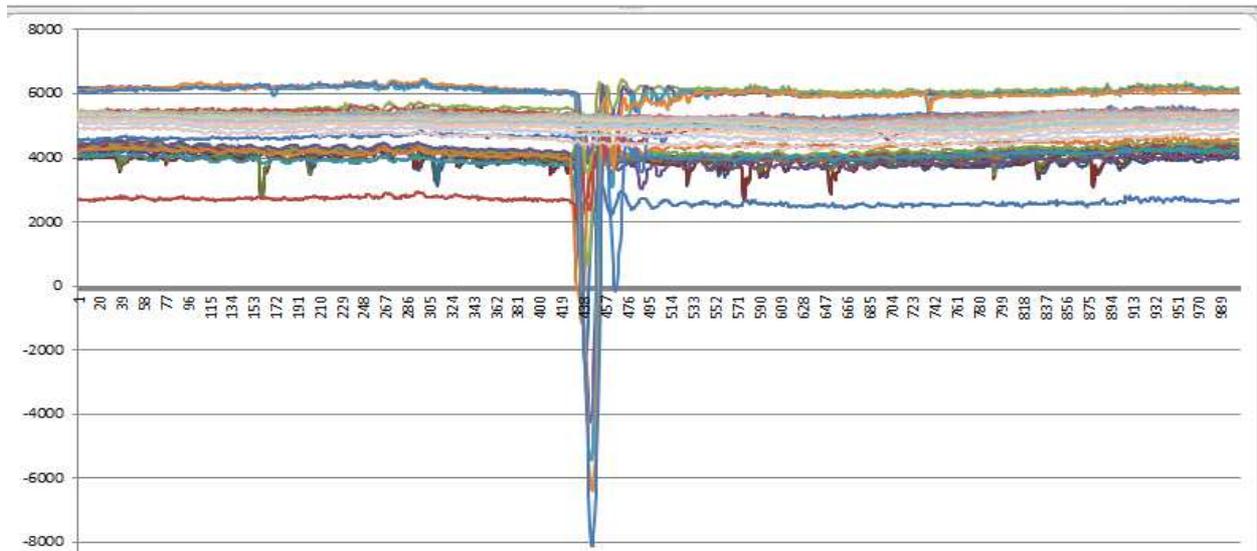


Рис. 2 . Результаты анализа вихретокового сканирования поверхности качения кольца с локальным дефектом «металлургическая трещина», где каждому цвету соответствует отдельная дорожка сканирования

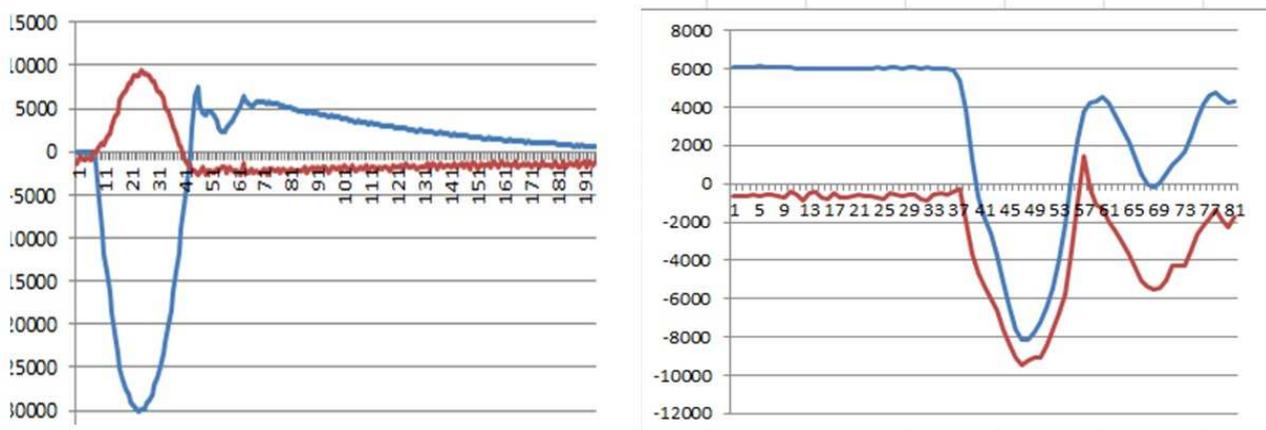


Рис. 3 . Локализация максимального/минимального значений амплитудной и фазовой составляющих вихретокового сигнала с локальными дефектами «забоина» (слева) и «металлургическая трещина» (справа)

Визуальный анализ результатов проведенных исследований (рис. 3) позволяет достаточно определенно распознать вид дефекта по значениям амплитудной и фазовой составляющих вихретокового сигнала, сравнивая их с

эталонными параметрами, однако в условиях реального производства данный процесс необходимо автоматизировать, так как размерность массивов данных на 1 кольцо достигает 2004x60.

Моделирование нейронной сети для распознавания дефектов поверхностного слоя колец подшипников

Выбор НС относительно простой структуры многослойного персептрона позволяет решить задачу автоматического распознавания дефектов на основании массивов данных амплитудных и фазовых каналов вихретокового контроля [3; 4].

Для определения размерностей слоев персептрона (входного и выходного) предложено следующее: входной слой должен

содержать количество элементов (нейронов), соответствующее суммарному количеству признаков данных (в нашем случае - 4 признака); выходной слой должен содержать элементы (нейроны), определяющие дефекты поверхности качения (в нашем случае – десять типов дефектов + качественная деталь). Выбор количества промежуточных слоев и элементов в них

осуществляется в процессе моделирования, что обеспечивает минимум ошибки распознавания [4; 5].

При применении для моделирования НС среды Matlab эмпирически установлено, что минимум ошибки распознавания

достигается при одном скрытом слое с 10 элементами (рис. 4). При этом объем выборки значений составлял 400 значений (100 ш), что обеспечивало достаточный уровень обучения/распознавания ИНС.

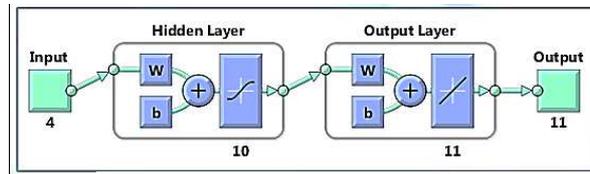


Рис. 4. Модель архитектуры персептрона распознавания дефектов поверхностного слоя кольца подшипника

Процесс обучения многослойного персептрона осуществлялся подачей обучающей выборки на его вход с варьированием значений весовых коэффициентов для достижения максимального ее приближения к набору желаемых выходных векторов. В качестве

активационной принята сигмоидная функция в виде гиперболического тангенса.

Для оценки качества работы НС вычислялась ошибка обучения E по формуле

$$E = \sum_{j=1}^R E^j ; E^j = |D^j - \hat{Y}^{ij}|^2,$$

где D^j - j -е желаемое значение выхода НС; \hat{Y}^{ij} - j -е фактическое значение выхода НС. Процесс обучения считался завершенным, когда E при всем множестве входных сигналов находилась в

пределах заданного значения $\epsilon \geq 0$ (рис. 5).

Для подстройки весовых коэффициентов использовалось выражение

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = -\eta \partial E / \partial w_{ij},$$

где η - коэффициент скорости обучения ($0 < \eta < 1$); w_{ij} - весовой коэффициент

синаптической связи между i -м нейроном $n - 1$ -го слоя и j -м нейроном n -го слоя.

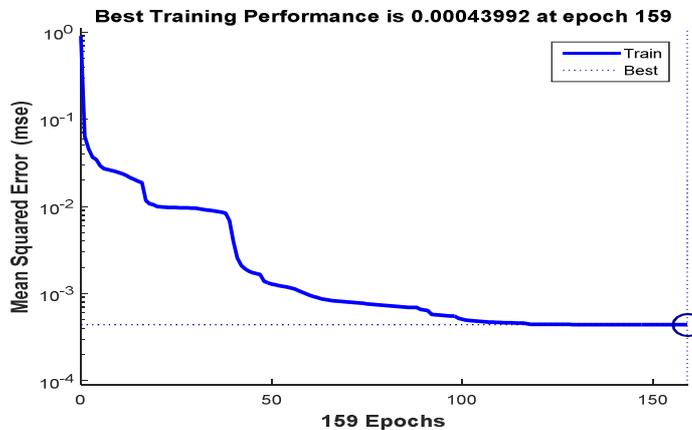


Рис. 5. График изменения ошибки обучения персептрона

Обучающая выборка составила 500 значений (125 деталей x 4 признака). Она импортировалась в программный модуль из БД системы мониторинга. Для тестиро-

вания обученной НС на вход были поданы массивы значений вихретокового контроля по 22 деталям (рис. 4).

	VarName1 Number	VarName2 Number	VarName3 Number	VarName4 Number	VarName5 Cell
1	Пар 1	Пар 2	Пар 3	Пар 4	результат
2	0.9000	0.8000	0.9000	0.7000	без дефекта
3	-1.9000	4.5000	0.8600	1.7000	обеднение
4	-7.6000	10.1000	2.9000	4.5000	металлури...
5	0.0800	2.2000	0.5000	1.8000	метальная ...
6	-4.5000	7.5000	-0.9000	2.9000	пятнистый...
7	1.9000	0.1000	0.9000	1.2000	Локальны...
8	3.4000	-1.3000	-3.8000	5.9000	Шлифовал...
9	-1.2000	3.2000	0.8000	1.3000	срез
10	-0.9000	2.9000	9.5000	-8.7000	пятна троо...
11	-0.8000	2.8500	2.9500	-0.9600	забоина
12	-0.5000	2.5000	3	-1.8000	кольцевой...
13	1	0.9000	1	0.8000	без дефекта
14	-2	5	0.9000	2	обеднение
15	-8	10	3	5	металлури...
16	0	2	0	2	метальная ...
17	-5	8	-1	3	пятнистый...
18	2	0	1	1	Локальны...
19	3	-1	-4	6	Шлифовал...
20	-1	3	1	13	срез

Рис. 6. Импорт выборки из БД мониторинга для обучения перцептрона

Распознано 21 состояние поверхности детали из 22, что составляет 96%. Ошибка распознавания (расхождение между обучающей выборкой и реакцией сети на тестовые данные) - в пределах 0,04. Весь цикл анализа одной детали подшипника по вихретоковому сигналу составил в сред-

нем 10 - 15 секунд, что в условиях массового и серийного производства деталей подшипников является целесообразным и эффективным. Предложенный метод может применяться в производственных условиях в составе системы мониторинга технологического процесса.

Программная реализация информационно-измерительного канала вихретокового контроля

Для визуализации в режиме реального времени, автоматического сбора, анализа и хранения информации вихретокового контроля как части экспертной системы поддержки принятия решения разработана специализированная программа Image, реализованная в среде SCADA-системы TRACE MODE 6 [6]. Выбор детали для анализа (подшипника) производится как автоматически, так и в ручном (интерактивном) режиме (рис. 5). Расчет признаков для обучения нейронной сети и последующего автоматизированного распознавания дефектов поверхностного слоя деталей подшипников производится из массивов значений амплитудных и фазовых каналов вихретокового контроля при выборе

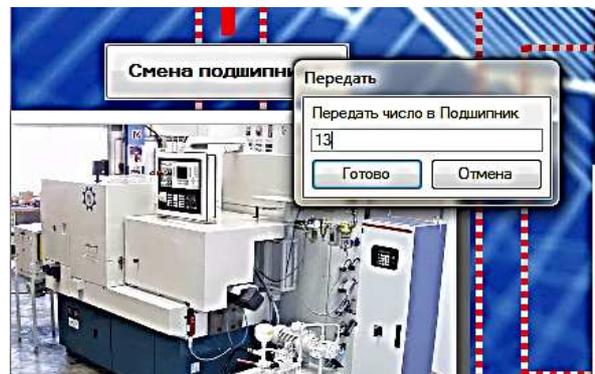


Рис. 7. Выбор подшипника в ручном (интерактивном) режиме

интерактивной кнопкой соответствующего модуля расчета на рабочем экране. Запрограммирован анализ по четырем методам обработки вихретоковых данных. В нашем

случае для применения интеллектуального анализа с помощью НС произведен расчет комплекса 4 признаков идентификации дефектов поверхностного слоя деталей подшипников.

В режиме анализа программа Image содержит 2 экрана графиков: на одном отражены данные вихретокового контроля,

полученные в режиме реального времени с помощью прибора ПВК-К2М и представляющие собой значения для двух каналов – амплитудного и фазового; на втором – графические итоги работы выбранного метода локализации дефекта (одного из трех возможных) (рис. 6).

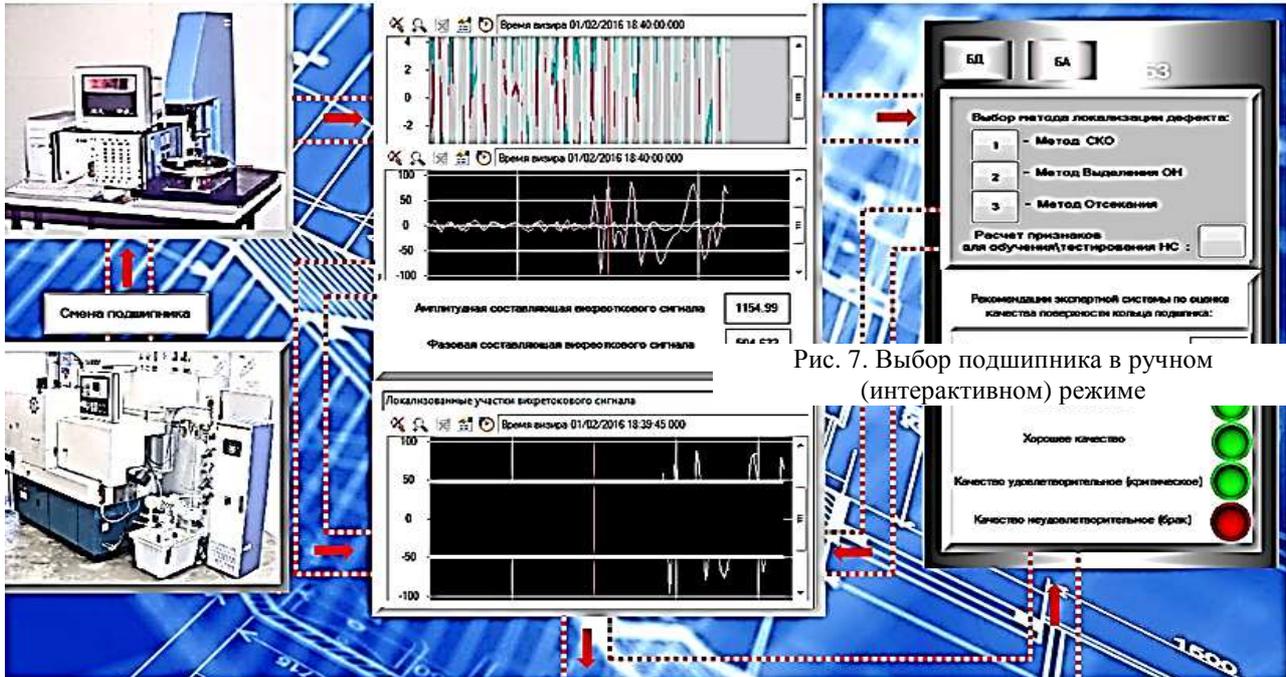


Рис. 7. Выбор подшипника в ручном (интерактивном) режиме

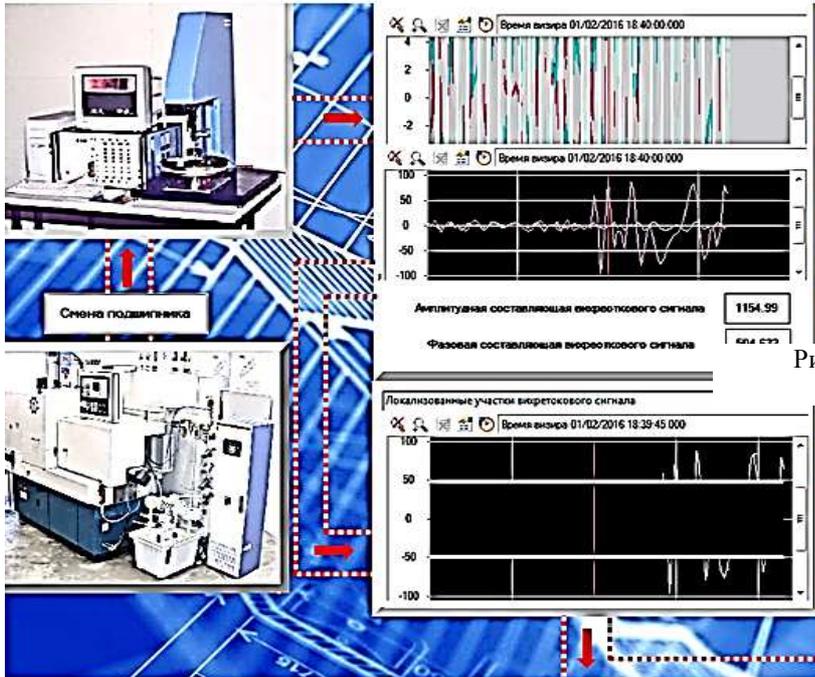


Рис. 8. Рабочий экран программы Image

Результаты работы на экране оператора представлены как рекомендации экспертной системы по качеству кольца подшипника в виде 4-балльной оценки, принятой на производстве, используемые для

оптимизации параметров технологической системы на основе шлифовального станочного модуля в виде корректировки режимов обработки.

Заключение

Автоматизация идентификации дефектов поверхности качения колец подшипников на основе нейросетевых технологий, рассмотренная в данной статье, является решением задачи обработки больших массивов данных о качестве деталей, позволяющим создать более эффективную автоматизированную систему мониторинга, связать в единое информационное пространство подсистемы контроля изделий, контроля и управления технологической системой, снизить себестоимость контроля качества, охватить большой объем выбор-

ки контролируемых деталей и повысить эффективность управления технологической системой изготовления высокоточных деталей подшипников.

Автоматизация процессов контроля и принятия решения с применением интеллектуальных технологий на основе НС позволяет сократить (ликвидировать) брак изделий, а также увеличить основное время работы за счет сокращения времени на обслуживание, что подчеркивает актуальность и своевременность данных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Круглов, В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В.Круглов, В.В.Борисов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2001. - 382 с.
 2. Васильев, С.Н. Интеллектуальное управление динамическими системами / С.Н.Васильев, А.К.Жерлов, Е.А.Федосов. – М.: Физматлит, 2000. - 352 с.
 3. Системы искусственного интеллекта в мехатронике: учеб. пособие / А.А.Большаков, М.Б.Бровкова, В.П.Глазков [и др.]; под общ. ред. А.А.Большакова. - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2015. - 252 с.
 4. Самойлова, Е.М. Интеллектуальный мониторинг качества механической обработки деталей / Е.М.Самойлова, А.А.Игнатьев // Контроль и диагностика. - 2013. - № 4. - С. 68-72.
 5. Самойлова, Е.М. Применение нейронных сетей для интеллектуального анализа и обработки данных качества механической обработки деталей / Е.М.Самойлова, А.А.Игнатьев // Качество в производственных и социально-экономических системах: 4-я междунар. науч.-техн. конф. (г. Курск, 2016 г.). - С. 298-302.
 6. Программа интеллектуального анализа образной информации при организации информационно-измерительного канала неразрушающего контроля ЭСППР (Image) / Самойлова Е.М., Цыбина Т.В., Игнатьев А.А. - № 2016616445; дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ 10.06.16.
1. Kruglov, V.V. *Artificial Neural Networks. Theory and Practice* / V.V.Kruglov, V.V.Borisov. – M.: Hotline - Telecom, 2001. – pp. 382.
 2. Vasiliev, S.N. *Intelligent Control of Dynamic Systems* / S.N.Vasiliev, A.K.Zherlov, E.A.Fedosov. – M.: Physmathlit, 2000. – pp. 352.
 3. *Systems of Artificial Intelligence in Mechatronics: manual* / A.A.Bolshakov, M.B.Brovkova, V.P.Glazkov [et al.]; under the general editorship of A.A.Bolshakov. - Saratov: Saratov State Technical University, 2015. – pp. 252.
 4. Samoilova, E.M. Intelligent monitoring of parts machining quality / E.M.Samoilova, A.A.Ignatiev // *Control and Diagnostics*. - 2013. - № 4. - pp. 68-72.
 5. Samoilova, E.M. Neural networks use for intelligent analysis and processing of data of parts machining quality / E.M.Samoilova, A.A.Ignatiev // *Quality in Manufacturing and Social-Economic Systems: the 4-th Inter Scientific-Technical Conf. (Kursk, 2016)*. - pp. 298-302.
 6. *Program of Intelligent Analysis of Image Information at Organization of Information Measuring Channel of Non-destructive Check ESPPR (Image)* / Samoilova E.M., Tsybina T.V., Ignatiev A.A. - № 2016616445; date of state registration in Register of programs for computers 10.06.16.

Статья поступила в редколлегию 19.10.2016.

Рецензент: д.т.н., профессор Института проблем точной механики и управления РАН
Иващенко В.А.

Сведения об авторах:

Самойлова Елена Михайловна, к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника» Саратовского государственного технического уни-

Samoylova Elena Mikhailovna, Can. Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Automation, Management, Mechatronics" Gagarin State Technical University of Sara-

верситета им. Ю.А.Гагарина, тел.: 89372577667, e-mail: Helen_elenka@mail.ru.

tov, Phone: 89372577667, e-mail: Helen_elenka@mail.ru.