

УДК 681.5

DOI:

Е.М. Самойлова

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ ГИБРИДНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Рассматривается алгоритмизация с последующей программной реализацией обработки вихретокового сигнала при построении информационно-измерительного канала гибридной интеллектуальной системы мониторинга шлифовального станочного модуля, что позволит повысить эффективность производства путем снижения вероятности

принятия ошибочного решения и уменьшения влияния человеческого фактора.

Ключевые слова: интеллектуализация, распознавание образов, вихретоковый контроль, мониторинг, информационно-измерительный канал, алгоритмизация, гибридная интеллектуальная система, станочный модуль, SCADA-система.

Е.М. Samoilova

SOFTWARE-BASED REALIZATION OF INFORMATION-MEASURING CHANNEL FOR EDDY CURRENT CONTROL OF HYBRID INTELLIGENT MONITORING SYSTEM

The algorithmization with the further software-based realization of eddy current signal processing at the formation of the information measuring channel of the hybrid intelligent system for machine module monitoring is under consideration.

For the automation of control and identification of defects on racer rolling surfaces there is formed a quantitative assessment of parameters controlled on the basis of the training experiment results. In this case at the automation of the quality control system of a surface layer as a training experiment there are data obtained with the aid of the classifier formed on the basis of different alternative methods of crack detection and experts' opinion.

The operation algorithmization of an information-measuring channel for eddy current control for surface layer state identification with the formation of reference estimates is carried out; the alphabet of de-

fect classes for identification and identification itself of the defect sort allowing the decision-making regarding surface layer quality of a product and the state of a processing system with the development of recommendations to ensure quality of produce which defines an intelligent aspect of the system.

The *Amplitude* software developed may be used for the information-measuring channel realization of the hybrid intelligent system for the engineering procedure monitoring of racer grinding which will allow increasing production efficiency by means of probability decrease in wrong decision-making and human factor impact reduction.

Key words: intellectualization, image identification, eddy current control, monitoring, information-measuring channel, algorithmization, hybrid intelligent system, machining module, SCADA system.

Введение

При изготовлении высокоточных изделий машино- и приборостроения дестабилизируются как сам процесс шлифования, так и результаты обработки под действием множества переменных факторов, что приводит к необходимости периодически, несколько раз в день, контролировать состояние технологической системы. Качество шлифованных поверхностей колец подшипников определяется совокупностью физико-механического состояния поверхностного слоя и геометрических параметров точности.

Решить данную многопараметрическую задачу можно применением системы мониторинга с элементами интеллектуальных технологий, включая контроль параметров качества деталей и заготовок с идентификацией дефекта поверхности качения, используя последующую обработку данных измерений с поиском управляющего решения по режиму обработки и комплексу ремонтно-восстановительных работ [1-3].

Алгоритмизация получения решения для обеспечения качества деталей подшипников при организации информационно-измерительного канала вихретокового контроля

Аппаратурное обеспечение измерений и контроля геометрических параметров точности осуществляется приборами, широко реализованными на практике. Для контроля физико-механического состояния поверхностного слоя высокоточных деталей изготавливаются специализированные устройства и применяются различные методы неразрушающего контроля: визуальный, капиллярный, магнитный, вихретоковый, метод травления и ультразвуковой.

В связи с тем что распознавание образов является одним из направлений искусственного интеллекта, а идентификация образа дефекта по сигналу вихретокового преобразователя (ВТП) представляет собой на сегодняшний момент визуальный контроль на основе сканограммы детали с применением специального классификатора, осуществляемый обученным персоналом, который принимает решение о качестве поверхностного слоя, наличии и типе дефекта, необходима методика автоматизированного неразрушающего контроля поверхностей качения колец подшипников по вихретоковым сигналам [4; 5].

Применение автоматизированного вихретокового метода контроля, являющегося относительно новым с точки зрения компьютерной обработки сигнала, удовлетворяет основным требованиям информационно-измерительного канала системы интеллектуального мониторинга по информативности и выявлению основных дефектов поверхностей качения, быстродействию и встраиваемости [6; 7].

Автоматизация идентификации дефектов поверхностей качения колец подшипников – задача, решение которой представляет собой важный компонент интеллектуальной составляющей мониторинга, одной из характерных особенностей которого является применение вихретоко-

вых приборов как неразрушающих средств контроля. Предыдущие исследования показали, что вихретоковый сигнал зависит от вида дефекта, значения удельной электрической проводимости в точках с дефектом и без него различны. Это позволяет обосновать классификацию дефектов по сигналам с ВТП.

Для автоматизации процесса контроля и идентификации необходимо сформировать количественную оценку контролируемых параметров, что возможно на основе результатов обучающего эксперимента, когда происходит преобразование данных измерительных каналов в собственных алгоритмах функционирования. В нашем случае для автоматизации системы контроля качества поверхностного слоя обучающим экспериментом становятся данные, полученные с помощью сформированного на основе различных альтернативных методов дефектоскопии классификатора КЗ-2005 и мнения экспертов [7; 8].

Во время обучающего эксперимента - накопления базы данных (БД) и базы знаний (БЗ) - в соответствии с методом эталонов определяется алфавит классов дефектов для идентификации, производится сравнение значений массива данных с эталонными значениями и осуществляется формирование признаков идентификации и эталонных оценок дефектов для последующего принятия решения по анализу образной информации, что и определяет интеллектуальный аспект системы.

Данная методика разделена на два этапа: проведение обучающего эксперимента с формированием эталонных оценок и идентификация дефекта по сравнительному анализу с последующим принятием решения по качеству поверхностного слоя изделия и состоянию технологического процесса (рис. 1).

Формирование количественной оценки контролируемых параметров на основе результатов обучающего эксперимента

В качестве комплекса автоматизированных аппаратных средств, способных измерять и анализировать значения кон-

тролируемых признаков, используется совместно разработанный сотрудниками предприятий г. Саратова и СГТУ универ-

сальный автоматизированный прибор вихревого контроля ПВК-К2М, включенный в Госреестр средств измерений (№ 26079-03). Прибор работает по методу контроля, основанному на анализе взаимодействия электромагнитных полей - внешнего и вихревых токов, которые наводятся возбуждающей катушкой в объекте контроля; порог чувствительности $D = 4,8$ мкм, чувствительность $S = 0,07$ ед. шкалы на 1 мкм глубины дефекта стандартного образца. Он яв-

ляется наиболее эффективным на финишных операциях и позволяет получать достоверные результаты при контроле независимо от скорости движения объектов. Применение измерительного комплекса на основе ПВК-2М дает возможность классификации значений контролируемых параметров по четырехбалльной системе: от высокого качества (5 баллов) до неудовлетворительного (2 балла), соответствующего браку.



Рис. 1. Алгоритмизация идентификации дефектов шлифования деталей по интеллектуальному анализу образной информации

Для автоматизации процесса контроля и идентификации сформирована количественная оценка контролируемых параметров для идентификации путем сравнения значений массива данных с эталонными значениями классификатора на основе результатов обучающего эксперимента, когда происходит преобразование данных измерительных каналов в собственных алгоритмах функционирования, определен алфавит классов дефектов для идентификации состояния станочного модуля в составе 10 дефектов поверхностей качения деталей подшипников (срез, кольцевой

прижог, прижог штриховой периодический, металлическая трещина (закалочная), забоина, металлургическая трещина, пятнистый прижог, пятна троостита, локальный прижог, металлическое обеднение) и набор 4 параметров k , характеризующих каждый из этих основных дефектов.

Предлагаемые ранее методики идентификации дефектов поверхностного слоя не позволяли определять обнаруженные неоднородности однозначно, а то и вовсе не позволяли выявлять локальные дефекты поверхности [4; 9].

Алгоритмизация автоматизированной локализации и распознавания дефекта поверхности качения

Для автоматизированной локализации и распознавания дефекта разработан алгоритм, представленный на рис. 2. Он предусматривает применение двух методик локализации для идентификации дефекта и принятия решения о качестве поверхности: 1) на основе оценки среднего квадратического отклонения (СКО) сигнала при разбиении общего массива значений на несколько сегментов (порядка 20), когда анализируется разница значений СКО в одном или нескольких сегментах

относительно среднего или сигнала без дефектов; 2) по методу отсечения заведомо качественных участков поверхности детали из дальнейшего анализа с целью повышения эффективности процесса идентификации дефекта на этапе распознавания, когда детали 1 и 2 классов автоматически признаются годными (анализ проводится только для деталей подшипников 3 и 4 классов с целью повышения эффективности дальнейшего процесса идентификации дефекта).

Программная реализация информационно-измерительного канала гибридной интеллектуальной системы мониторинга технологического процесса шлифовальной обработки колец подшипников

Разработано специализированное программное обеспечение с применением интегрированной среды SCADA-системы TRACE MODE 6 (рис. 3) для реализации предложенного алгоритма (рис. 2) в рамках построения информационно-измерительного канала вихретокового контроля гибридной интеллектуальной системы мониторинга в режиме реального времени для автоматической локализации и распознавания дефектов поверхностей качения [10].

Программа осуществляет сбор, хранение и анализ массивов амплитудной и фазовой составляющих вихретокового сигнала мониторинга технологического процесса производства подшипников в режиме реального времени, полученных в виде цифровых данных с помощью универсального автоматизированного прибора вихретокового контроля ПВК-К2М, включенного в Госреестр средств измерений (№ 26079-03).

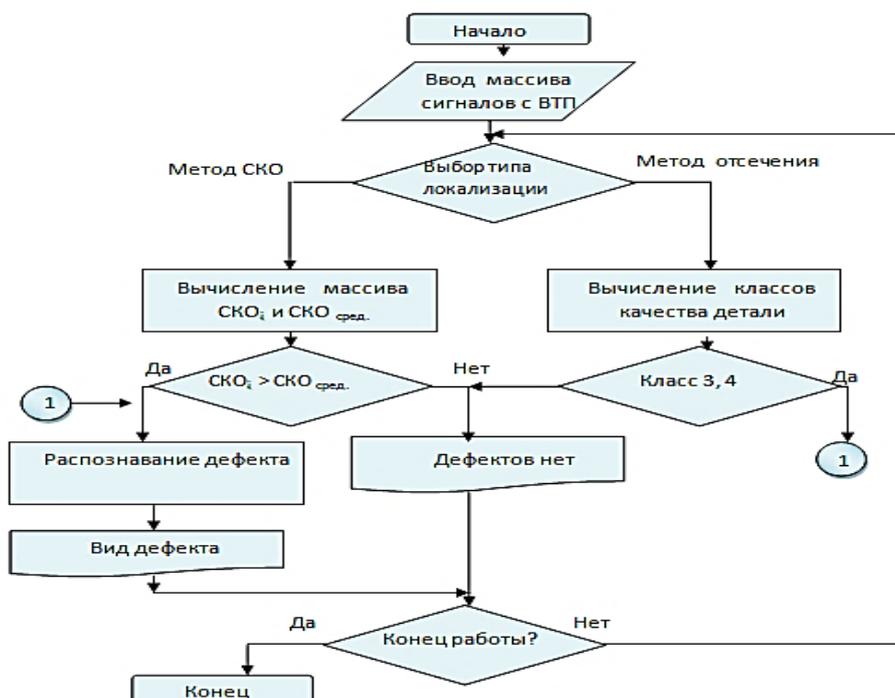


Рис. 2. Алгоритм автоматизированной локализации и распознавания дефекта

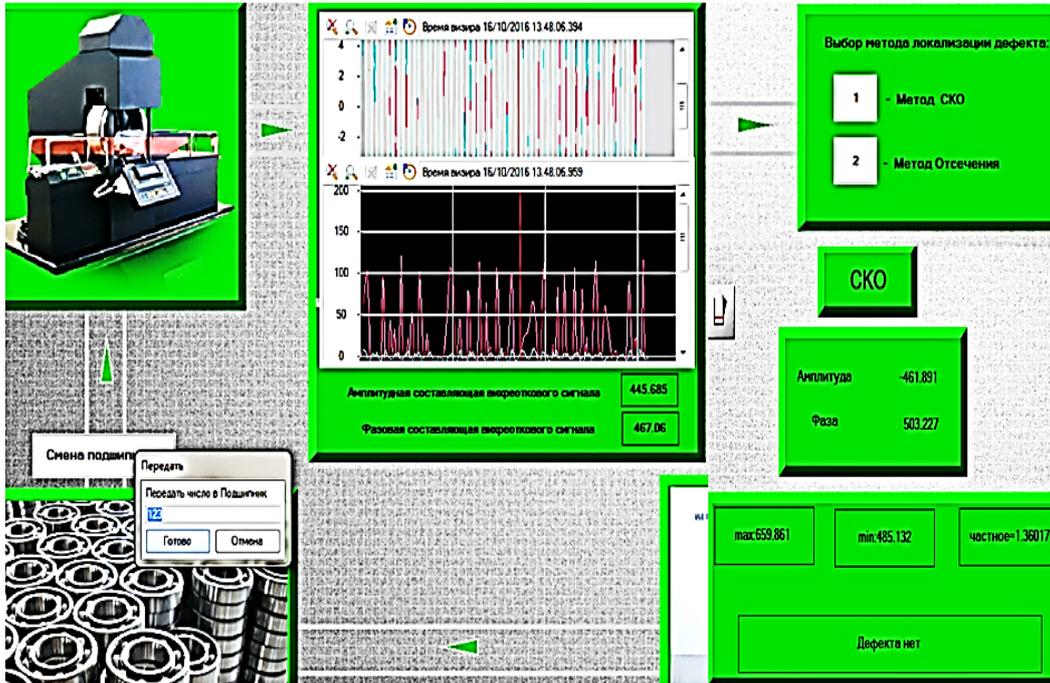


Рис. 3. Рабочий экран программы (по умолчанию - метод СКО)

Основной рабочий экран программы *Amplituda* (рис. 3) содержит окно ручного ввода параметров детали для анализа (в рабочем режиме выбор детали для анализа производится автоматически), блок графиков для визуализации в режиме реального времени амплитудной и фазовой составляющих вихретокового сигнала мониторинга, а также панель выбора методики анализа, который возможен в ручном ре-

жиме и автоматически. Массивы значений для каждой детали (порядка 50 000) автоматически заносятся в БД системы мониторинга.

Дополнительные рабочие экраны программы содержат результаты расчета, анализа и визуализации вихретокового сигнала как на основе метода СКО (рис. 4), так и по методу отсечения (рис. 5).

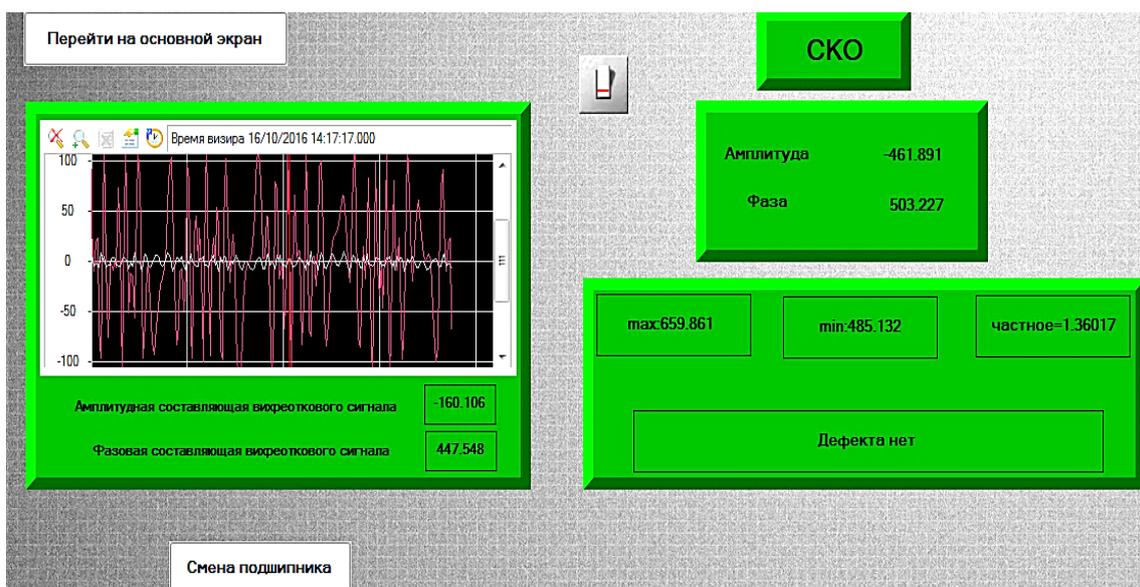


Рис. 4. Пример обработки амплитудной и фазовой составляющих вихретокового сигнала по методу СКО и принятия решения о качестве поверхности

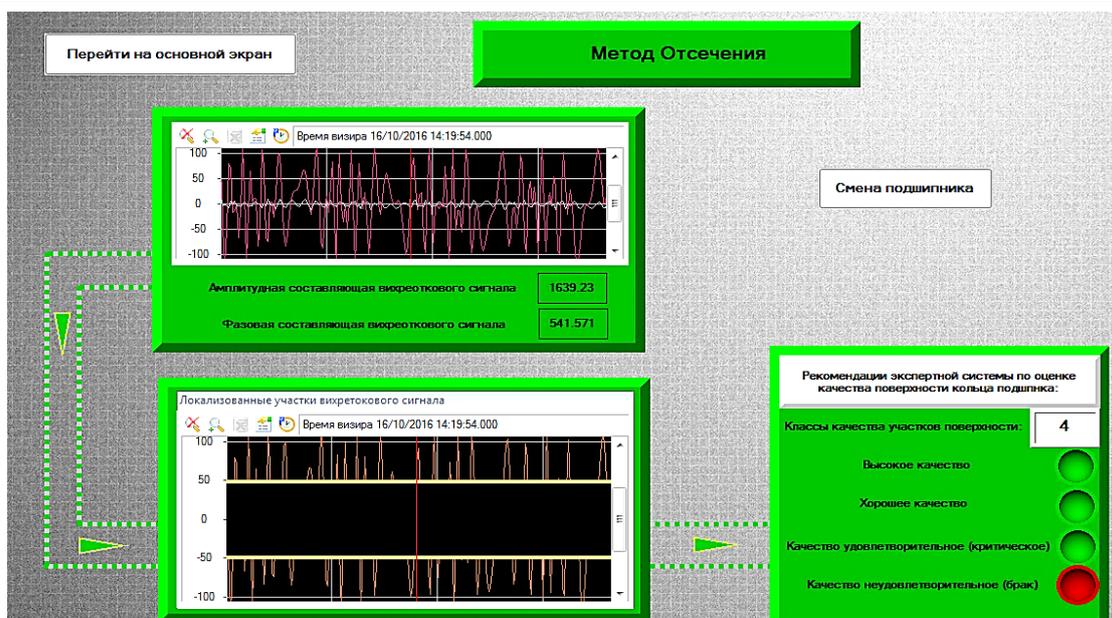


Рис. 5. Пример обработки амплитудной и фазовой составляющих вихретокового сигнала по методу отсечения и принятия решения о качестве поверхности

Результаты анализа отражаются в виде численных значений на основном и дополнительных рабочих экранах, в виде балльной оценки, а также в виде рекомендаций для принятия решения о качестве поверхности детали подшипника. Выход-

ные значения автоматически заносятся в БД единого информационного пространства интеллектуальной системы мониторинга и могут применяться для дальнейшей обработки.

Заключение

Разработанное программное обеспечение *Amplituda*, прошедшее государственную регистрацию в Реестре программ для ЭВМ 15.03.17 (№ 2017613316), может применяться для реализации информационно-измерительного канала гибридной интеллектуальной системы мониторинга

технологического процесса шлифовальной обработки колец подшипников. Это позволит повысить эффективность работы за счет снижения вероятности принятия ошибочного решения и уменьшения влияния человеческого фактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гейценредер, А.А. Мониторинг состояния станочной системы токарной обработки при интеллектуальном управлении: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / А.А. Гейценредер. - Ростов н/Д, 2006. - 18 с.
2. Игнатъев, С.А. Мониторинг технологического процесса как элемент системы управления качеством продукции: монография / С.А. Игнатъев, В.В. Горбунов, А.А. Игнатъев. - Саратов: Изд-во СГТУ, 2009. - 160 с.
3. Самойлова, Е.М. Интеллектуальный анализ и обработка данных качества шлифовальной обработки деталей с применением нейросетевых технологий / Е.М. Самойлова // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2017. - № 1 (54). - С. 178-184.
4. Волынская, О.В. Автоматизация вихретокового контроля неоднородности структуры поверхностного слоя деталей подшипников при мониторинге процесса шлифования: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.В. Волынская. - Саратов, 2002. - 16 с.
5. Тяпаев, С.В. Реализация сплошного неразрушающего контроля бездефектности поверхностного слоя деталей в производстве буксовых подшипников для подвижного железнодорожного состава / С.В. Тяпаев, Н.Г. Снитко // Вестник ВНИИЖТ. - 2013. - № 1. - С. 35-40.
6. Гаврилов, А.В. Гибридные интеллектуальные системы / А.В. Гаврилов. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. - 168 с.
7. Горбунов, В.В. Автоматизация вихретокового контроля поверхностного слоя деталей подшипников с применением технологии нейронных

- сетей / В.В. Горбунов, Е.М. Самойлова, А.А. Игнатъев // Изв. высш. учеб. заведений. Поволжский регион. Технические науки. - 2016. - № 4. - С. 115-123.
8. Биргер, И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. - М.: Машиностроение, 1978. - 240 с.
 9. Игнатъев, А.А. Автоматизация распознавания дефектов шлифовальных поверхностей деталей подшипников при вихретоковом контроле с обоснованием выбора вейвлета / А.А. Игнатъев, О.С. Шумарова, Е.М. Самойлова // Изв. высш. учеб. заведений. Поволжский регион. Технические науки. - 2015. - № 1. - С. 121-132.
 10. Обработка и анализ вихретоковых сигналов мониторинга технологического процесса производства подшипников (Amplituda) / Самойлова Е.М., Цыбина Т.В., Игнатъев С.А. - № 2017613316; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 15.03.17.
 1. Geitsenreder, A.A. *Machining System Monitoring for Turning at Intelligent Control*: self-abstract of the Can. Eng. Degree thesis: 05.03.01. / A.A. Geitsenreder. – Rostov-upon-Don. 2006. – pp. 18.
 2. Ignatiev, S.A. *Engineering Procedure Monitoring as Element of Product Quality Control System*: monograph / S.A. Ignatiev, V.V. Gorbunov, A.A. Ignatiev. – Saratov: SSTU Publishers, 2009. – pp. 160.
 3. Samoilova, E.M. Intelligent analysis and quality data processing at parts grinding using neuro-net techniques / E.M. Samoilova // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. – 2017. – No.1 (54). – pp. 178-184.
 4. Volynskaya, O.V. *Eddy Current Control Automation of Surface Layer Structure Heterogeneity in Bearing Parts at Grinding Monitoring*: self-abstract for Can. Eng. degree / O.V. Volynskaya. – Saratov, 2002. – pp. 16.
 5. Тырапаев, S.V. Realization of solid nondestructive control of zero-defects in parts surface layer at manufacturing axlebox bearings for rolling-stock / S.V. Тырапаев, N.G. Snitko // *Bulletin of RRIRT*. – 2013. – No.1. – pp. 168.
 6. Gavrillov, A.V. *Hybrid Intelligent Systems* / A.V. Gavrillov. – Novosibirsk: NSTU Publishers, 2003. – pp. 168.
 7. Gorbunov, V.V. *Automation of Surface Layer Eddy Current Control in Bearing Parts Using Neuro-Net Techniques* / V.V. Gorbunov, E.M. Samoilova, A.A. Ignatiev // College Publishing House. Povolzhsky region. Engineering Sciences. – 2016. – No.4. – pp. 115-123.
 8. Birger, I.A. *Engineering Diagnostics* / I.A. Birger. – М.: Mechanical Engineering, 1978. – pp. 240.
 9. Ignatiev, A.A. *Automation of Defect Identification in Bearing Parts Grinding Surfaces at Eddy Current Control with Substantiation of Wavelet Choice* / A.A. Ignatiev, O.S. Shumarova, E.M. Samoilova // College Publishing House. Povolzhsky Region. Engineering Sciences. – 2015.. – No.1. – pp. 121-132.
 10. *Processing and Analysis of Eddy Current Signals of Engineering Process Monitoring at Bearing Manufacturing (Amplitude)* / Samoilova E.M., Tsybina T.V. Ignatiev S.A. – No. 2017613316; registered in Register of Computer Software 15.03.17.

Статья поступила в редколлегию 15.01.18.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
Киричек А.В.

Сведения об авторах:

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

Samoilova Elena Mikhailovna, Can. Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Automation, Control, Mechatron-

верситета им. Ю.А. Гагарина, тел. (8452) 99-86-37, e-mail: Helen_elenka@mail.ru.

ics", Gagarin State Technical University of Saratov, e-mail: Helen_elenka@mail.ru.