

УДК 004.032.26

Проблемы и перспективы использования искусственных нейронных сетей для идентификации и диагностики технических объектов

А.С. Михайлов, Б.А. Староверов
ФГБОУВПО «Костромской государственной технологической университет»,
г. Кострома, Российская Федерация
E-mail: sba44@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Для улучшения показателей качества систем автоматического управления актуальной является задача разработки новых алгоритмов идентификации и диагностики технических объектов. Одним из путей решения задачи является применение искусственных нейронных сетей.

Материалы и методы: В целях исследования проблем использования искусственных нейронных сетей для идентификации и диагностики технических объектов проведен анализ научных работ по данной тематике за последние годы.

Результаты: Рассмотрены существующие подходы к построению систем диагностики неисправностей, а также систем автоматического управления на основе искусственных нейронных сетей.

Выводы: Результаты приведенного анализа могут быть использованы при разработке новых методов и алгоритмов идентификации и диагностики технических объектов на основе нейросетевых анализаторов.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, система автоматического управления, идентификация, диагностика, нейрорегулятор.

Problems and Prospects of Artificial Neural Networks Applying for Identification and Diagnostics of Technical Objects

A.S. Mikhaylov, B.A. Staroverov
Kostroma State Technological University, Kostroma, Russian Federation
E-mail: sba44@mail.ru

Abstract

Background: The authors consider the urgent problem of development of new identification and diagnostics algorithms for technical objects for improving the quality characteristics of automatic control systems. One of the approaches to solve the problem is artificial neural networks applying.

Materials and methods: To research the problem of using the artificial neural networks for identification and diagnostics of technical objects the analysis of the scientific works on this theme for recent years is carried out.

Results: The existing approaches to diagnostic systems of troubles and automatic control systems designing based on artificial neural networks are considered.

Conclusions: The results of analysis can be used for developing the new identification and diagnostic methods and algorithms using the artificial neural networks.

Key words: artificial neural network, automatic control system, identification, diagnostics, neuro-controller.

Нейронные сети – раздел искусственного интеллекта, в котором для обработки сигналов используются явления, аналогичные происходящим в нейронах живых существ [1]. Исследованию искусственных нейронных сетей (ИНС) посвящены работы отечественных авторов (В.А. Терехова, В.М. Лазарева, А.П. Свиридова, А.Н. Горбань и др.), а также зарубежных (С. Осовского, Ф. Уоссермена, Анил К. Джейна и др.).

Основными функциями ИНС являются:

– *функция аппроксимации*, актуальная при решении задач моделирования, идентификации и обработки сигналов;

– *функция классификации и распознавания образов*, актуальная, например, при решении задач диагностики состояния объекта;

– *функция прогнозирования*, актуальная при оценке будущего поведения системы по имеющейся последовательности ее предыдущих состояний;

– *функция идентификации и оценивания*, актуальная при решении задач управления динамическими процессами;

– *функция ассоциативного управления*.

Анализ зарубежных исследований, посвященных ИНС и нейрокомпьютерам, позволяет выделить следующие перспективные направления современного развития нейросетевых и нейрокомпьютерных технологий [2]:

– нейропакеты;

– нейросетевые экспертные системы;

– СУБД с использованием нейросетевых алгоритмов;

- обработка сигналов и изображений;
- управление динамическими системами и финансовой деятельностью;
- оптические нейрокompьютеры;
- системы виртуальной реальности.

В настоящее время исследованиями в этой области занимается свыше 300 зарубежных фирм, причем число их постоянно увеличивается. Среди них Intel, DEC, IBM, Motorola и другие. Наблюдается тенденция перехода от программной к программно-аппаратной реализации нейросетевых алгоритмов со значительным увеличением числа разработок СБИС-нейрочипов. Существенно увеличилось число военных разработок, ориентированных на создание сверхбыстрых, «умных» суперЭВМ.

Широкое применение ИНС нашли для решения задач медицинской диагностики, а также при исследовании и прогнозировании различных экономических процессов и явлений, т. е. там, где отсутствуют способы формального описания исследуемых объектов и явлений.

В свою очередь, при решении технических задач, таких, например, как идентификация объектов управления, синтез регуляторов, диагностика неисправностей, применение ИНС до сих пор достаточно ограничено. Отчасти это объясняется наличием развитого математического аппарата, описывающего процессы и явления, происходящие в объектах, а также наличием большого количества методов решения указанных задач. Несмотря на это, в последние годы наблюдается положительная динамика в плане применения ИНС для решения задач идентификации и диагностики неисправностей технических объектов. Например, в работах И.П. Добродеева, А.С. Макарова, Д.С. Легконогих в качестве объекта исследования рассматриваются авиационный газотурбинный двигатель (ГТД) и система автоматического управления (САУ) таким двигателем, приводится описание подхода к технической диагностике авиационных силовых установок с применением математического аппарата ИНС [3], рассматриваются проблемы повышения эффективности нейросетевых методов решения основных типов диагностических задач ГТД путем оптимизации нейросетевых моделей на основе функциональной адаптации [4], а также повышения оперативности и достоверности обнаружения отказов САУ ГТД в условиях изменения режимов работы двигателя и методики их программно-аппаратной реализации [5]. Разработке методов диагностирования авиационных двигателей в условиях частичной потери информации посвящено исследование [6]. Созданию метода оптимальной фрагментации нейронной сети, позволяющего создать аппаратно-программный комплекс на основе больших нейронных сетей, посвящена работа С.Ю. Степанова [7]. Кроме того, ряд

исследований посвящен решению проблем диагностики двигателей постоянного тока с применением нейросетевых моделей [8, 9], а также проблем оперативной диагностики состояния мехатронного комплекса фонда электроцентробежных насосов нефтедобывающих скважин в целях сокращения числа их отказов [10].

На основе анализа приведенных источников можно сделать вывод о том, что уровень решения большого количества задач анализа и синтеза САУ ниже уровня потребностей и возможностей развития научных и технических достижений. В частности, актуальной является проблема определения и локализации неисправностей САУ, проектируемых на основе микроконтроллеров и микропроцессоров. На рис. 1 представлена схема возможных путей поиска неисправностей в зависимости от стадии жизненного цикла изделия, а также от исследуемых каналов систем управления.

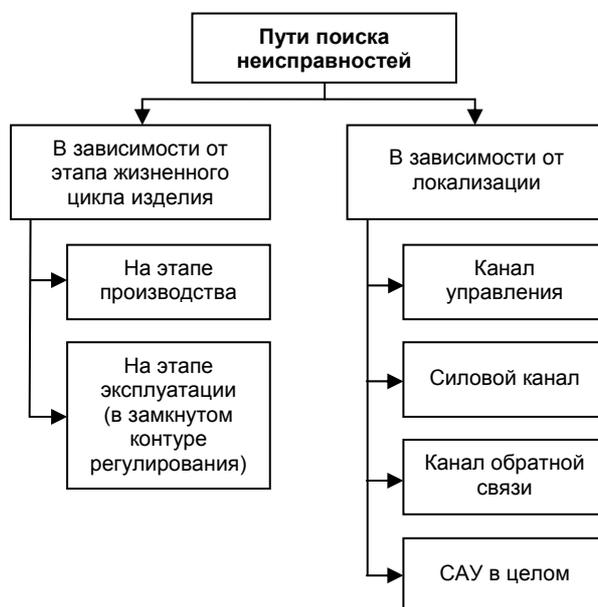


Рис. 1. Пути поиска неисправностей в САУ

Разработка и реализация новых нетривиальных алгоритмов оперативной диагностики технических объектов и САУ в целом на основе ИНС позволит повысить надежность устройств и вместе с тем упростить их конструкцию за счет исключения так называемого «горячего резервирования», а также уменьшить эксплуатационные расходы, расходы на техническое обслуживание и ремонт оборудования.

Однако при разработке алгоритмов диагностики и проектировании САУ на основе ИНС до сих пор не решен ряд проблем, главными из которых являются следующие [11]:

- отсутствие формальных методов выбора типа ИНС, адекватного решаемому классу задач;
- недостаточная обоснованность выбора методов оптимизации в процедуре обучения

ИНС, что приводит к большим ошибкам прогноза и времени обучения;

– высокая комбинаторная сложность проблем, связанных с автоматическим формированием топологии ИНС, что во многих случаях не позволяет создавать интеллектуальные информационные технологии на базе ИНС с минимальной сложностью.

В общем виде алгоритм решения задач аппроксимации и классификации с применением ИНС, в соответствии с [1], представлен на рис. 2.

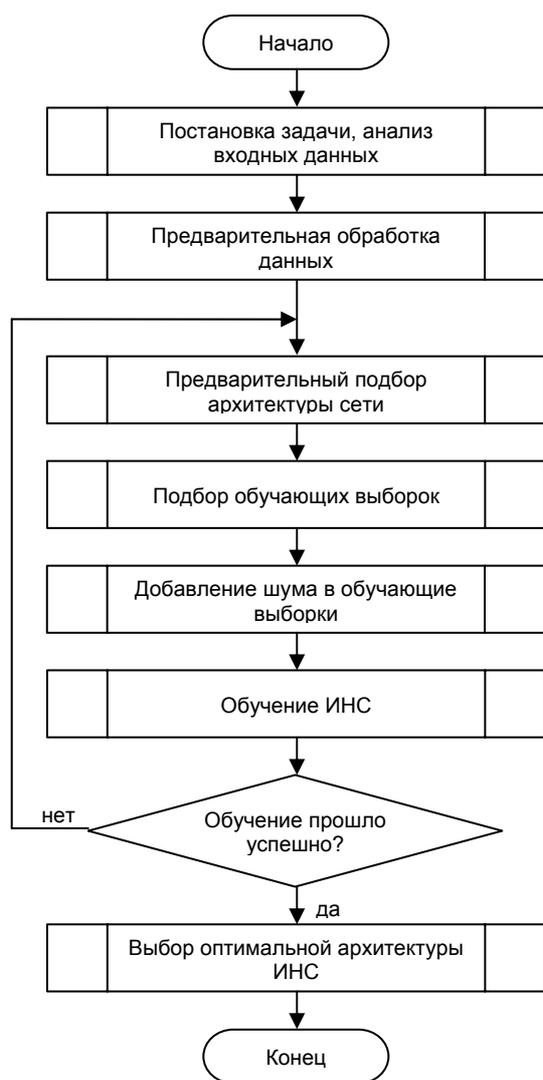


Рис. 2. Блок-схема алгоритма решения задач аппроксимации и классификации с применением ИНС

Поскольку в терминах ИНС задача диагностики неисправностей относится к группе задач классификации и распознавания образов, после постановки задачи и анализа входных данных следует предварительная обработка данных, производится так называемая экстракция (определение свойств). Это связано с тем, что описание самого образа должно приводиться к виду, обеспечивающему его независимость от возможного перемещения, ротации и масштабирования. В результате такого

преобразования формируются значения свойств образа, подаваемые для распознавания на вход нейронной сети. Для этого разработаны различные методы (метод статистических моментов, метод преобразования Фурье, волновое преобразование, преобразование PCA, преобразование Карьюнена-Лёве и т.п.), выбор которых определяется спецификой решаемой задачи.

Далее следует этап предварительного подбора архитектуры сети, который включает в себя:

- выбор количества слоев сети;
- выбор количества нейронов в каждом слое;
- определение необходимых связей между слоями.

Решение по выбору окончательной схемы сети может быть принято только после полноценного обучения (с уменьшением погрешности до уровня, признаваемого удовлетворительным) различных вариантов ее структуры. Этапу обучения предшествует подбор обучающих выборок и добавление шума в обучающие выборки, так как для хорошо натренированной сети становится актуальной задача выработки у выходных сигналов нечувствительности к вариациям входных величин при условии, что они находятся в определенных допустимых границах, а сеть реализует монотонное отображение.

Обучение сети в случае решения задачи диагностики неисправностей (задач классификации и распознавания образов) производится чаще всего методом обратного распространения с использованием одного из обучающих алгоритмов на множестве обучающих данных, последовательно представляющих все классы образов, подлежащих распознаванию. В режиме воспроизведения классифицируемый образ, прошедший через все фазы экстракции, подается на вход сети, возбуждает тот выходной нейрон, который соответствует требуемому классу.

Главным критерием при подборе оптимальной архитектуры сети является способность к обобщению. Сеть, натренированная на некотором подмножестве обучающих выборок, генерирует ожидаемые результаты при подаче на ее вход данных, относящихся к тому же множеству, но не участвовавших непосредственно в процессе обучения. Подбор оптимальной структуры сети сводится к уменьшению количества скрытых нейронов и межнейронных связей, т.е. к редукции сети с помощью различных методов (с учетом чувствительности, с использованием штрафной функции и т.д.) либо к наращиванию сети (алгоритмы Мезарда-Надала, Мерчанда, метод Ли-Тафтса, алгоритм каскадной корреляции С. Фальмана).

Другим перспективным направлением применения ИНС, как было отмечено выше,

является идентификация технических объектов и управление динамическими процессами. В настоящее время проблема практического использования ИНС в САУ решена лишь отчасти. Недостаточно полно освещены вопросы применения нейрорегуляторов в САУ, а также отсутствуют формальные методики построения нейросетевых моделей объектов управления (ОУ) различной сложности. Имеются примеры применения рекуррентных и нереккуррентных ИНС для решения лишь отдельных частных задач данного класса.

Вместе с тем можно констатировать увеличивающийся научный интерес к данной области применения ИНС, особенно в последние годы. В этой связи следует отметить работу В.Л. Елисеева [12], посвященную разработке и исследованию нейросетевых алгоритмов управления стационарными и нестационарными объектами, а также работы С.А. Агвами [13] и А.А. Анисимова [14], рассматривающие вопросы синтеза адаптивного нейрорегулятора для управления нелинейным многосвязным объектом и идентификации электромеханических систем с использованием ИНС. Особого внимания заслуживает работа В.Б. Трофимова [15], в которой сделана попытка решить в комплексе проблемы построения и обучения нейросетевых моделей объектов в замкнутом контуре управления и сформировать научно-методические основы разработки нейроэкспертных распознавателей.

Анализ приведенных источников показывает, что идентификация технических объектов с использованием аппарата ИНС имеет следующие преимущества:

- нейросетевая модель ОУ при успешном обучении является более точной, чем модель, в основе которой лежит передаточная функция, особенно при идентификации объектов высокого порядка со сложным математическим описанием;

- применение нейросетевых моделей дает возможность моделирования динамики ОУ в различных режимах, в том числе экстремальных, которые невозможно воспроизвести на имеющемся лабораторном оборудовании;

- нейрорегуляторы позволяют синтезировать высококачественные САУ нестационарными объектами и объектами с распределенными параметрами.

На рис. 3 приведена широко цитируемая в различных источниках схема САУ с нейросетевой моделью ОУ и нейрорегулятором. Однако недостатком данной схемы является то, что здесь требуется как минимум уточнение алгоритма синтеза нейрорегулятора на основе инвертирования нейросетевой модели ОУ, а также недостаточно явно прослеживается взаимосвязь между подбором весовых коэффициентов НМ и НР. Кроме того, требуется допол-

нительная проработка вопроса о возможности объединения НР и НМ в одну ИНС.

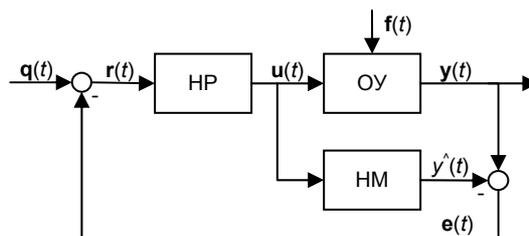


Рис. 3. Структурная схема САУ с нейросетевой моделью ОУ и нейрорегулятором: НР – нейрорегулятор; ОУ – объект управления; НМ – нейросетевая модель ОУ; $q(t)$ – сигнал с задатчика; $r(t)$ – сигнал на входе НР; $u(t)$ – управляющее воздействие, формируемое НР; $f(t)$ – возмущающее воздействие; $y(t)$ – сигнал на выходе ОУ; $y'(t)$ – сигнал на выходе НМ; $e(t)$ – сигнал ошибки

Отдельную проблему представляет обучение нейросетевой модели. Необходимо определить наиболее информативные методы идентификации, как из числа традиционно применяемых с использованием экспериментально снятых кривых разгона ОУ $y(t)$ при различных комбинациях управляющих $u(t)$ и возмущающих $f(t)$ воздействий, кривых выбега и т.п., так и принципиально новые, учитывающие специфику процессов обучения ИНС.

Вопросы применения в САУ астатических нейрорегуляторов в научных работах практически не освещены. Применительно к синтезу нейрорегуляторов весьма актуальной является задача получения нулевой ошибки регулирования при использовании в САУ нейросетевых аналогов ПИД-регулятора, астатических регуляторов состояния и других аналогичных систем.

Заключение

В настоящее время наиболее перспективным является использование ИНС для решения задач диагностики и прогнозирования, прежде всего, в отраслях, где отсутствуют способы формального описания исследуемых объектов или явлений.

Для решения задач идентификации и диагностики технических объектов с помощью ИНС требуется разработка формальных методов выбора исходного описания объекта, типа ИНС, обоснованного выбора алгоритма обучения ИНС и методов оптимизации в процедуре обучения.

В терминах ИНС задача идентификации технического объекта относится к классу задач аппроксимации, а задача диагностики неисправностей – к группе задач классификации и распознавания образов.

В последние годы наблюдается тенденция перехода от программной к программно-аппаратной реализации нейросетевых алгоритмов.

Со стороны современных программно-технических средств отсутствуют какие-либо ограничения на сложность используемых алгоритмов, однако для реализации тех значительных потенциальных возможностей, которые имеют системы управления на основе ИНС, требуется разработка концептуально новых подходов к построению таких систем.

Список литературы

1. **Осовский С.** Нейронные сети для обработки информации / пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
2. **Лазарев В.М., Свиридов А.П.** Нейросети и нейрокompьютеры. – М.: Изд-во МГТУ РЭА, 2011. – 131 с.
3. **Легконогих Д.С.** Применение нейросетевых технологий в системах диагностики авиационных силовых установок // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2012. – Т. 14. – №4(2). – С. 639–643.
4. **Добродеев И.П.** Повышение эффективности нейросетевых моделей в системах диагностики технического состояния газотурбинных двигателей на основе функциональной адаптации: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Рыбинск, 2010. – 16 с.
5. **Макаров А.С.** Алгоритмы контроля и диагностики систем управления авиационными ГТД на основе нейросетевых моделей и нечеткой логики: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2011. – 19 с.
6. **Метод** диагностирования авиационных двигателей в условиях частичной потери информации / Е. Копытов, В. Лабендик, А. Осис, А. Тарасов // Тр. II Междунар. науч.-техн. конф. «Авиадвигатели XXI века». – М.: ЦИАМ, 2005. – С. 246–247.
7. **Степанов С.Ю.** Проектирование процедур организации управления объектами машиностроения на основе аппарата фрагментации больших нейронных сетей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2011. – 22 с.
8. **Скалозуб В.В., Швец О.М.** Нейросетевые модели диагностики электродвигателей постоянного тока // ИКСЗТ. – 2009. – № 4. – С. 7–11.
9. **Керенцев Е.В.** Анализ методов диагностирования двигателей постоянного тока на автомобиле // Вектор науки ТГУ. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2011. – № 3(17). – С. 50–53.
10. **Коровин Я.С.** Методы и средства оперативной диагностики состояния электроцентробежных насосов нефтедобывающих скважин на основе нейронных сетей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Таганрог, 2011. – 22 с.
11. **Воеводин Ю.Ю.** Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза нейросетевой модели для формирования интеллектуальных информационных технологий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2009. – 19 с.
12. **Елисеев В.Л.** Разработка и исследование нейросетевых алгоритмов управления стационарными и нестационарными объектами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2012. – 22 с.
13. **Агвами С.А., Коломейцева М.Б.** Синтез адаптивного нейрорегулятора для управления нелинейным многосвязным объектом // Вестник МЭИ. – 2011. – № 6. – С. 209–215.
14. **Анисимов А.А., Горячев М.Н.** Идентификация электромеханических систем с использованием искусственной нейронной сети // Вестник ИГЭУ. – 2008. – Вып. 3. – С. 55–58.
15. **Трофимов В.Б.** Методы и алгоритмы построения нейроэкспертных систем автоматического контроля и управления технологическими процессами (на примере черной металлургии): автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новокузнецк, 2008. – 22 с.

References

1. **Osovskiy, S.** *Neuronnye seti dlya obrabotki informatsii* [Artificial Neural Networks for Information Processing]. Moscow, Finansy i statistika, 2002. 344 p.
2. **Lazarev, V.M., Sviridov, A.P.** *Neyroseti i neyrokompyutery* [Neural Networks and Neural Computers]. Moscow, MGTU REA, 2011. 131 p.
3. **Legkonogikh, D.S.** *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2012, vol. 14, issue 4(2), pp. 639–643.
4. **Dobrodeev, I.P.** *Povyshenie effektivnosti neyrosetevykh modeley v sistemakh diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya gazoturbinnnykh dvigateley na osnove funktsional'noy adaptatsii*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Increasing the Efficiency of Neural Networks Models in Gas Turbine Engine Diagnostic Systems based on Functional Adaptation. Synopsis, Cand. tech. sci. diss.]. Rybinsk, 2010. 16 p.
5. **Makarov, A.S.** *Algoritmy kontrolya i diagnostiki sistem upravleniya aviatsionnymi GTD na osnove neyrosetevykh modeley i nechetkoy logiki*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Control and Diagnostic Algorithms for Aviation Gas Turbine Engine Control Systems based on Neural Networks Models and Fuzzy Logic. Synopsis. Cand. tech. sci. diss.]. Ufa, 2011. 19 p.
6. **Kopytov, E., Labendik, V., Osis, A., Tarasov, A.** *Metod diagnostirovaniya aviatsionnykh dvigateley v usloviyakh chastichnoy poteri informatsii* [Aviation Engine Diagnostic Method in Condition of Partial Information Losses]. *Trudy II Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Aviadvigateli XXI veka»* [Works of the IInd International Scientific and Technical Conference «AviaEngines of the XXI century»]. Moscow, CIAM, 2005, pp. 246–247.
7. **Stepanov, S.Yu.** *Proektirovanie protsedur organizatsii upravleniya ob»ektami mashinostroeniya na osnove apparata fragmentatsii bol'shikh neyronnykh setey*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Designing the Control Organization Procedures of Maching-building Objects on the basis of Fragmentation Apparatus of Big Neural Networks. Synopsis. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2011. 22 p.
8. **Skalozub, V.V., Shvets, O.M.** *IKSZT*, 2009, issue 4, pp. 7–11.
9. **Kerentsev, E.V.** *Vektor nauki TGU*, 2011, issue 3(17), pp. 50–53.
10. **Korovin, Ya.S.** *Metody i sredstva operativnoy diagnostiki sostoyaniya elektrotsentrobezhnykh nasosov nefte-dobyvayushchikh skvazhin na osnove neyronnykh setey*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Operative Diagnostic Methods and Means for Electric Centrifugal Pumps of Oil Wells based on Artificial Neural Networks. Synopsis. Cand. tech. sci. diss.]. Taganrog, 2011. 22 p.
11. **Voevodin, Yu.Yu.** *Metody i algoritmy strukturno-parametricheskogo sinteza neyrosetevoy modeli dlya formirovaniya intellektual'nykh informatsionnykh tekhnologiy*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Methods and Algorithms of Structural and Parametric Synthesis of Neural Network Model for Developing the Intellectual Information Technologies. Synopsis. Cand. tech. sci. diss.]. Volgograd, 2009. 19 p.
12. **Eliseev, V.L.** *Razrabotka i issledovanie neyrosetevykh algoritmov upravleniya statsionarnymi i nestatsionarnymi ob»ektami*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Development and Research of Neural Networks Control Algorithms for Stationary and Nonstationary Objects. Synopsis. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2012. 22 p.
13. **Agvami, S.A., Kolomeytseva, M.B.** *Vestnik MEI*, 2011, issue 6, pp. 209–215.
14. **Anisimov, A.A., Goryachev, M.N.** *Vestnik IGEU*, 2008, issue 3, pp. 55–58.
15. **Trofimov, V.B.** *Metody i algoritmy postroeniya neyroekspertnykh sistem avtomaticheskogo kontrolya i upravleniya tekhnologicheskimi protsessami (na primere chernoy metallurgii)*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Methods and Algorithms of Neuro-expert automatic control systems designing for technological processes (the example of the steel industry). Synopsis. Cand. tech. sci. diss.]. Novokysnetsk, 2008. 22 p.

Михайлов Алексей Сергеевич,
ФГБОУВПО «Костромской государственный технологический университет»,
аспирант кафедры автоматики и микропроцессорной техники,
телефон (4942) 31-75-60,
e-mail: lelik-electronic@yandex.ru

Староверов Борис Александрович,
ФГБОУВПО «Костромской государственный технологический университет»,
доктор технических наук, профессор кафедры автоматики и микропроцессорной техники, заведующий кафедрой
автоматики и микропроцессорной техники,
телефон (4942) 31-75-60,
e-mail: sba44@mail.ru