

УДК 004.052.32

UDC 004.052.32

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ ДИАГНОСТИКИ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

**DEVELOPING OF DEVICE FOR EXPERT DIAGNOSTIC SYSTEMS BASED ON FUZZY LOGIC OF NEURAL NETWORKS**

Глухов Юрий Александрович  
студент

Glukhov Yuriy Aleksandrovich  
student

Частиков Аркадий Петрович  
к.т.н. профессор

Chastikov Arkadiy Petrovich  
Cand.Tech.Sci., professor

Корниенко Владимир Гаврилович  
д.т.н. профессор

Kornienko Vladimir Gavrilovich  
Dr.Sci.Tech., professor

Глушко Сергей Петрович  
к.т.н доцент

Glushko Sergey Petrovich  
assistant professor

*Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия*

*Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia*

В статье приведен пример реализации устройства на основе нечеткой логики, способного по косвенным физическим параметрам определить работоспособность технологической системы

The article is an example of a device that based on fuzzy logic, capable determine the health of the technological system on indirect physical parameters

Ключевые слова: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, НЕЙРОННЫЕ СЕТИ, ДИАГНОСТИКА, НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА, АДАПТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА, ПЕРЦЕПТРОН

Keywords: TECHNOLOGICAL SYSTEMS, NEURAL NETWORKS, DIAGNOSTIC, FUZZY LOGIC, ADAPTIVELY DIAGNOSTIC, PERCEPTRON

Задача классификации – одна из наиболее распространенных задач в анализе данных и распознавании образов. Для решения этой задачи требуется создание классифицирующей функции, которая присваивает каждому набору входных атрибутов значение метки одного из классов. Классификация входных значений производится после прохождения этапа «обучения», в процессе которого на вход обучающего алгоритма подаются входные данные с уже приписанными им значениями классов[1].

На сегодняшний день разработано большое число подходов к решению задач классификации, использующие такие алгоритмы как:

- деревья решений;
- нейронные сети;
- логистическая регрессия;
- метод опорных векторов;

- дискриминантный анализ;
- ассоциативные правила.

Проблема описания, оценки, идентификации состояний и интерпретации управляемого поведения сложных технических систем является на сегодняшний день одной из наиболее актуальных для обеспечения надежности и простоты в эксплуатации сложных автоматизированных систем.

В настоящее время основной метод диагностирования технологических систем – это математическое моделирование[2][3], и это не позволяет учесть множество факторов, которые начинают влиять на систему в процессе ее работы. Благодаря нечеткой логике искусственных нейронных сетей (ИНС) возможно реализовать прибор, позволяющий диагностировать систему и оценить ее состояние, учитывая зашумленность входных данных[4][5].

Определение технического состояния и контроль режима работы оборудования, являются задачей распознавания образов: по имеющемуся набору параметров объекта определяется состояние — работоспособное (отклонение параметров не вызывает необратимых последствий в поведении объекта) и неработоспособное. Важной частью проблемы распознавания являются правила принятия решения (решающие правила).

Контроль режима работы оборудования является слежением за соответствием параметров режима работы оборудования заданным значениям. В настоящее время все более широкое распространение получают системы диагностики, выполненные на базе экспертных систем, которые, по своей сути, представляют новую информационную технологию в распознавании образов.

Таким образом, построение автоматизированной системы диагностики представляет собой важную и актуальную задачу, от решения которой зависит эффективность функционирования современных систем. При этом

возникает необходимость выработки общих принципов построения рациональных систем диагностики.

В работе предложена архитектура построения новой универсальной автоматизированной системы технической диагностики (АСТД). Предложена архитектура АСТД, которая построена по модульному принципу, из универсальных аппаратных модулей. Номенклатура и количество модулей каждого типа зависят от конкретных условий и сложности решаемых задач. Адаптацию и специализацию модулей и подсистем проводят на уровне программного обеспечения, путем ввода управляющей программы, настройки управляющих параметров и обучения искусственной нейронной сети.

Сложность современного оборудования, разнообразие условий эксплуатации требуют пересмотра существующих традиционных концепций построения систем диагностики и поиска новых [6].

Цель работы – это разработка универсального, портативного диагностирующего инструмента для анализа состояния любых систем на базе основных параметров – температуры, влажности воздуха, магнитного поля, наличия посторонних, опасных газов в воздухе, вибрации и звуковых колебаний, совершенствование средств технической диагностики, расширение их функциональных возможностей за счет использования методов искусственного интеллекта, в частности, нейронных сетей.

Поставленная цель достигается путем решения следующих задач:

- оперативного контроля технических и технологических параметров в реальном времени;
- построения динамической модели для оценки технических и технологических параметров;
- прогнозирования постепенных параметрических отказов;
- прогнозирования рисков аварии, опасной ситуации и т.п.

Для решения поставленных задач предлагается использовать методы искусственного интеллекта, и, в частности, искусственные нейронные сети. Аппарат искусственных нейронных сетей совместно с другими упомянутыми методами обеспечивает новые функциональные возможности и новое качество решения задач технической диагностики.

Основные задачи в статье:

- выбор датчиков;
- создание оптимальной структуры нейронной сети Кохонена для контроллера;
- организация процесса самообучения нейронной сети, где входные данные – данные с датчиков.

Для решения данных задач нами предложен метод построения автоматизированной системы комплексной диагностики технологических систем на базе контроллера Arduino Due с процессором Atmel SAM3X8E, ядром Cortex-M3 и с набором соответствующих датчиков, имеющих Groove совместимый интерфейс – типовые разъемы для подключений:

- сенсор звука на основе LM386 для измерения уровня шума;
- датчик температуры и влажности DHT11;
- трехосевой цифровой компас HMC5883L для определения изменения магнитного поля;
- датчик-детектор газа MQ2 (изобутан, метан, пропан, сжиженный нефтяной газ, водород, алкоголь, дым);
- датчик вибрации (Digital Vibration Sensor).

По функциональным возможностям плата Arduino Due аналогична Arduino Leonardo. Arduino Due имеет два порта MicroUSB: один предназначен для программирования и коммуникаций, а второй позволяет использовать Due в качестве клиента или Host-устройства, предоставляя плате возможность поддерживать подключение USB клавиатуры или мыши, или же самой выступать в роли этих устройств. Интерфейс USB Host вос-

требован пользователями, и это нововведение расширяет сферу применения платформы. Технические характеристики контроллера показаны в Таблице 1[7].

Таблица 1 - Технические характеристики Arduino Due

Микроконтроллер	AT91SAM3X8E
Flash-память	512 Кбайт
ОЗУ	96 Кбайт (64 + 32 Кбайт)
Тактовая частота	84 МГц
Напряжение питания	3,3 В
Входное напряжение (рекомендованное)	7...12 В
Входное напряжение (мин./макс.)	6...20 В
Цифровые линии ввода/вывода	54 (из них 6 выходы ШИМ)
Аналоговые входы	12
Аналоговые выходы (ЦАП)	2
Общий постоянный выходной ток на всех линиях ввода/вывода	130 мА
Постоянный ток для вывода 3.3 В	800 мА
Постоянный ток для вывода 5 В	800 мА (теоретически до 1 А)
Отладочный интерфейс	JTAG/SWD

Датчики выбраны таким образом, чтобы иметь максимально обширную область косвенных данных системы. Это противоречит основному подходу приборостроения в максимизации точности считывания данных путем устранения влияния факторов, создающих помехи и шумы. Данный вари-

ант – расширение области, позволит ИНС создать общий образ системы и самой определить, какой же фактор является важнейшим.

Искомые параметры системы, снимаемые датчиками АСТД, назовем ( $p$ ). Исходя из того, что проектируемая АСТД не влияет на работу самой системы, то управление ( $x$ ) в ней происходит в момент включения прибора на обучение (сбор данных с датчиков и сохранение их на SD-карте). Выходное значение ( $y$ ) является сигналом на светодиод, показывающий, в каком состоянии находится система по итогам работы аналитического блока. Модель прибора показана на рисунке 1.

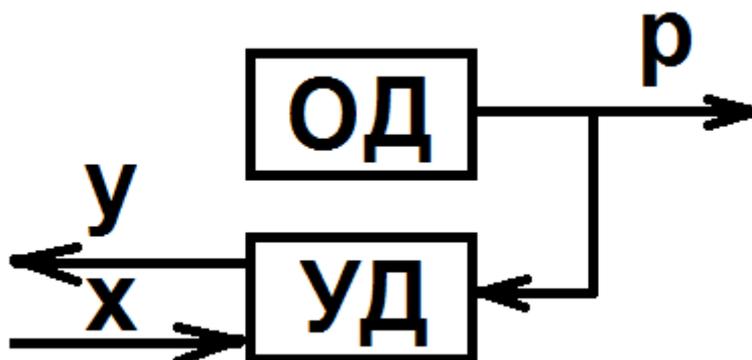


Рисунок 1 - Модель работы прибора

На блок-схеме (рис.2) алгоритма работы устройства показано, что после запуска прибора считывается параметр «а», показывающий состояние АСТД. Если параметр равен единице, то прибор готов к работе. Далее идет опрос датчиков и запись параметров в текстовую переменную, где одна строка – одно измерение. Количество измерений приняли равным 10,000, так как это число позволяет нейронной сети наилучшим образом понять закономерности изменения параметров системы.

По окончании снятия измерений начинается обучение ИНС на основе этой выборки и по окончании обучения, присваиваем параметру «h» значение «1», как знак того, что ИНС обучилась. Этот параметр можно передать не только на светодиод на корпусе АСТД, но и при помощи wi-fi модуля по радиочастоте.

Далее АСТД обнуляет текстовую переменную и по одному измерению считывает ситуацию с датчиков и ставит их на вход обученной ИНС и следит, чтобы число «отказов» системы (параметр «k») было меньше десяти, что считается грубым нарушением технологического процесса. Иначе – продолжается наблюдение.

Так как число цифровых и аналоговых входов делают монтаж датчиков трудоемкой задачей, то для облегчения монтажа датчиков и последующей их замене в связи с плановым обслуживанием, к плате Arduino Duo подключим базовую плату-расширение для подключения на нее модулей.

В итоге плата с датчиками стала компактным беспроводным устройством, удобным для использования без фиксации на объекте исследования.

Программная часть данного прибора – ИНС и стандартные драйверы контроллера. Применение искусственных нейронных сетей для целей управления является одной из многочисленных областей относительно нового раздела современной науки – нейроинформатики, содержанием которой служит разработка и исследование методов решения самых разнообразных задач с помощью искусственных нейронных сетей, построенных на стандартных искусственных нейронах.

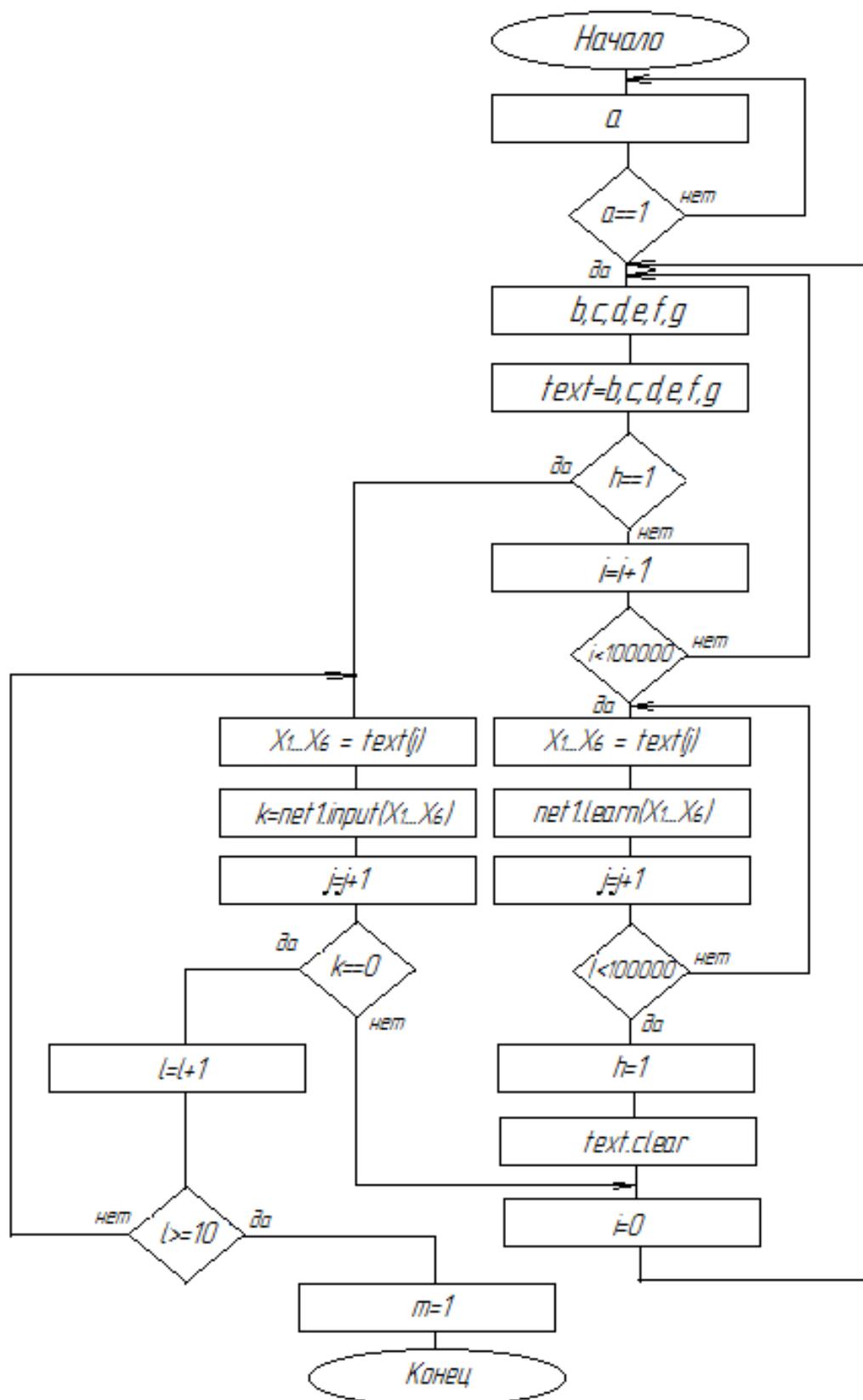


Рисунок 2 - Блок-схема алгоритма работы прибора

На блок-схеме (рис.2) показаны следующие обозначения:  $a$  – параметр состояния прибора;  $b$  – значение с датчика вибрации;  $c$  – значение с датчика газа;  $d$  – значение с датчика магнитного поля;  $e, f$  – значения с датчика температуры и влажности;  $g$  – значение амплитуды с микрофона;  $i, j$  – счетчики;  $X1-X6$  – строка текстового файла с параметрами  $a-g$  соответственно;  $h$  – параметр обучения (было или нет);  $k$  – результат нейронной сети;  $l$  – неисправность;  $m$  – состояние системы (0 – все в порядке, 1 – есть проблемы);  $text$  – текстовая переменная для записи параметров.

Искусственная нейронная сеть может менять свое поведение в зависимости от внешних условий. Распознав предъявленные входные сигналы, она способна обучиться, вырабатывая требуемую реакцию. И после обучения сеть не будет реагировать на небольшие изменения входных сигналов. Благодаря своему строению, нейронная сеть имеет свойство обобщения.

Другой особенностью ИНС является отказоустойчивость. Отказоустойчивость заключается в том, что во многих ИНС, в случае выхода из строя нейрона или искажения соединения сети, поведение сети будет изменено незначительно. Поведение меняется, но система не гибнет и не перестает функционировать. Обуславливается это тем, что у ИНС информация распределена по всей сети, а не содержится в конкретном месте.

Некоторые структуры нейронных сетей имеют способность к выработке абстрактного образа на основе нескольких выходных примеров.

В этой работе использована многослойная нейронная сеть прямого пространства с сигмоидальной активационной функцией, способная определить состояние технологического объекта, на основе данных датчиков. Алгоритм обучения – алгоритм обратного распространения ошибки. Структура алгоритма показана на рисунке 3.

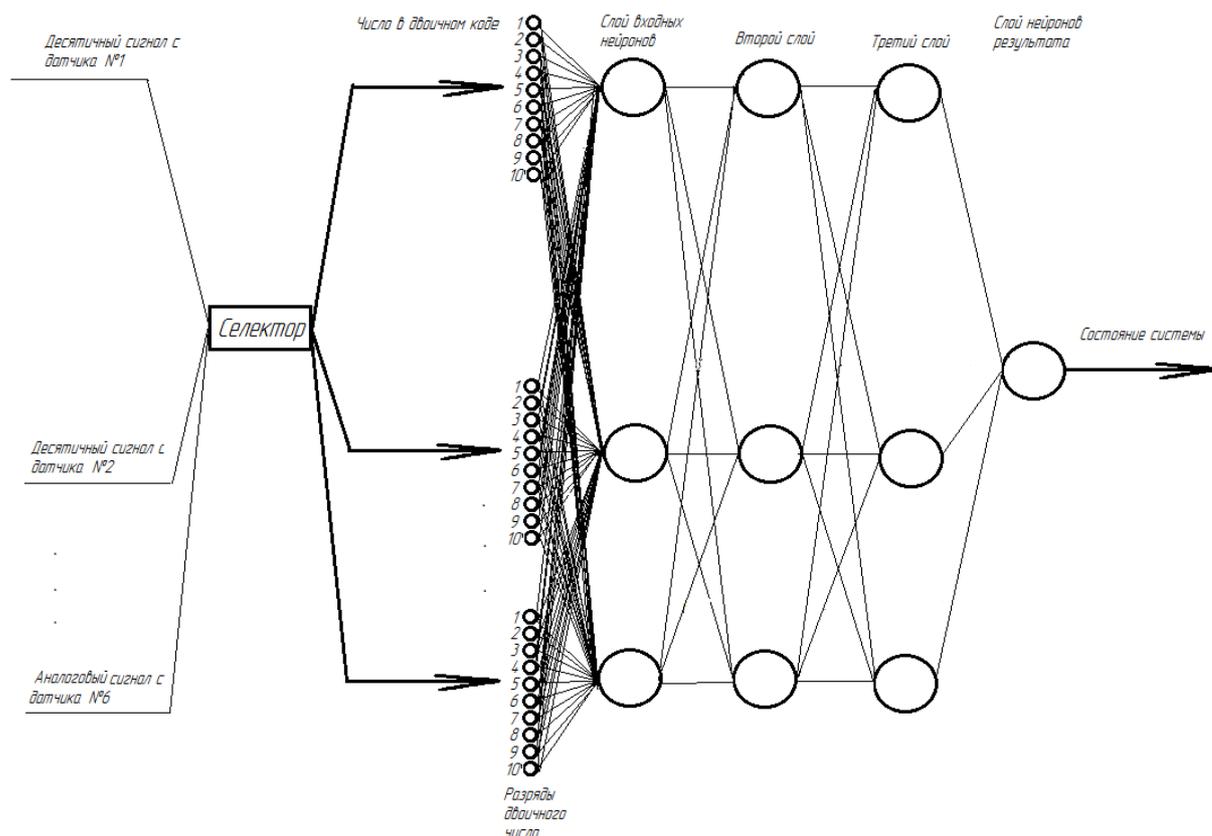


Рисунок 3 - Структура разработанной ИНС

Рисунок 3 показывает, что за основу взят персептрон Розенблата со связями между слоями «все со всеми», на входы которого подается двоичное значение через селектор с соответствующего датчика в каждый такт работы устройства. Подобная система действует последовательно, собирая данные с датчиков последовательно, и по окончании такта запускается ИНС.

Практическая ценность результатов работы заключается в алгоритмизации системы диагностики и разработке формальной модели принятия решений и их оценки.

### Библиографический список

1. Гончаров М.А. Модифицированный древовидный алгоритм Байеса для решения задач классификации / М.А. Гончаров // Business Data Analytics. [Электронный ресурс]. – Москва, 2007 г. - Режим доступа: <http://www.businessdataanalytics.ru>.

2. Глухов Ю.А. Программа для отслеживания взаимозависимости фактов на основе нейронных сетей / Ю.А. Глухов, С.П. Глушко, С.И. Жадько // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012616505. Зарегистрировано 18 июля 2012 года.

3. Глухов Ю.А. Программа для распознавания текста и изображения на основе нейронных сетей / Ю.А. Глухов, С.П. Глушко, С.И. Жадько // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012616712. Зарегистрировано 26 июля 2012 года.

4. Глухов Ю.А. Перспективы развития сложного анализа структуры текста и его изменения на основе нечеткой логики нейронных сетей / Ю.А. Глухов, С.П. Глушко // Сборник научных студенческих работ КубГТУ, Краснодар, 2012, с. 80-82.

5. Глухов Ю.А. Анализ области применения нейронных сетей для решения задач экономического прогнозирования / Ю.А. Глухов, В.П. Зыкова // Сборник научных студенческих работ КубГТУ «Посткризисное развитие российской экономики». Том 1, Краснодар, 2012 с. 13-16.

6. Биргер И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер // М.: «Машиностроение», 1978.—240, с.

7. Lee Goldberg. Открытая платформа Arduino высвобождает творческий потенциал / Lee Goldberg // РадиоЛоцман, [Электронный ресурс]. – Москва, 2011 г. - Режим доступа: [www.rlocman.ru](http://www.rlocman.ru).

### References

1. Goncharov M.A. Modificirovannyj drevovidnyj algoritm Bajesa dlja reshenija zadach klassifikacii / M.A. Goncharov // Business Data Analytics. [Elektronnyj resurs]. – Moskva, 2007 g. - Rezhim dostupa: <http://www.businessdataanalytics.ru>.

2. Gluhov Ju.A. Programma dlja otslezhivanija vzaimozavisimosti faktov na osnove nejronnyh setej / Ju.A. Gluhov, S.P. Glushko, S.I. Zhad'ko // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM №2012616505. Zaregistrirovano 18 ijulja 2012 goda.

3. Gluhov Ju.A. Programma dlja raspoznavanija teksta i izobrazhenija na osnove nejronnyh setej / Ju.A. Gluhov, S.P. Glushko, S.I. Zhad'ko // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM №2012616712. Zaregistrirovano 26 ijulja 2012 goda.

4. Gluhov Ju.A. Perspektivy razvitija slozhnogo analiza struktury teksta i ego izmenenija na osnove nechetkoj logiki nejronnyh setej / Ju.A. Gluhov, S.P. Glushko // Cbornik nauchnyh studencheskih rabot KubGTU, Krasnodar, 2012, s. 80-82.

5. Gluhov Ju.A. Analiz oblasti primenija nejronnyh setej dlja reshenija zadach jekonomicheskogo prognozirovanija / Ju.A. Gluhov, V.P. Zykova // Cbornik nauchnyh studencheskih rabot KubGTU «Postkrizisnoe razvitie rossijskoj jekonomiki». Tom 1, Krasnodar, 2012 s. 13-16.

6. Birger I.A. Tehnicheskaja diagnostika / I.A. Birger // M.: «Mashinostroenie», 1978.—240, s.

7. Lee Goldberg. Otkrytaja platforma Arduino vysvobozhdaet tvorcheskij potencial / Lee Goldberg // RadioLocman, [Elektronnyj resurs]. – Moskva, 2011 g. - Rezhim dostupa: [www.rlocman.ru](http://www.rlocman.ru).