

На правах рукописи

Проскуряков Александр Юрьевич

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЫБРОСОВ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ
НА ЛОКАЛЬНОМ УРОВНЕ

05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ,
материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орел, 2014

Работа выполнена на кафедре «Электроника и вычислительная техника» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. Столетова и Н.Г. Столетова»

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
Кропотов Юрий Анатольевич

Официальные оппоненты: Латышенко Константин Павлович
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО Московский государственный машиностроительный университет,
кафедра «Техническая кибернетика, мониторинг и автоматизированные системы контроля», профессор

Моисеев Сергей Александрович
кандидат технических наук, ФКОУ ВПО
«Академия ФСО России», старший преподаватель

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Защита состоится 28 октября 2014 г. в 15:30 на заседании диссертационного совета Д.212.182.01 при ФГБОУ ВПО «Государственный университет - УНПК» по адресу: 302020, РФ, г. Орёл, Наугорское шоссе, д. 29, ауд. 212.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного университета – УНПК.

Материалы по защите диссертации размещены на официальном сайте Государственного университета – УНПК по адресу: www.gu-unpk.ru

Автореферат разослан « _____ » 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д.212.182.01
кандидат технических наук, доцент

_____ В.Н. Волков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Мониторинг выбросов загрязняющих веществ промышленных производств, с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду, является важной задачей, стоящей перед современными промышленными предприятиями.

Одним из путей решения проблемы сокращения выбросов на локальном уровне является постоянное исследование и прогнозирование значений концентраций выбросов с помощью системы мониторинга, являющейся составной частью управления технологическими процессами промышленного предприятия. На основании представленных данных об уровнях, на основании прогноза изменений концентраций выбросов, становится возможным принятие необходимых рекомендаций и управляющих решений. При рассмотрении модели управления технологиями промышленных производств, необходимо учитывать особенности, определяемые условиями развития современных предприятий. В частности, к ним предъявляются требования к организации инновационной деятельности, при которой используются быстроменяющиеся конкурентоспособные технологии, которые генерируют новые условия возникновения загрязняющих выбросов. Поэтому при создании систем мониторинга решение вопроса оперативного и объективного представления данных о загрязняющих выбросах промышленных производств должно осуществляться с автоматизированным исполнением всех этапов ее функционирования. Вследствие динамичных изменений параметров промышленного производства, сведения о выбросах загрязняющих веществ и зонах их распространения претерпевают постоянные изменения, вышеуказанное определяет требования к высокой динамике изменения архитектуры программного обеспечения автоматизированного мониторинга. В этом случае возникает задача унифицированного описания разнородной экспериментальной и расчетной информации о концентрациях загрязняющих веществ с учетом динамики их изменений. В этом случае система мониторинга должна обеспечивать возможность оперативного анализа, обработки и представления данных с достаточно высоким быстродействием.

В настоящее время созданы и используются различные методы проектирования систем контроля, различные алгоритмы обработки и анализа временных рядов данных о концентрациях выбросов. Теоретические исследования в этой области рассматриваются в работах В.В. Губарева, А.М. Берлянта, А.М. Ахмада, И.Р. Дубова, В.В. Вершинина, В.В. Алексеева, В.В. Денисова, О.А. Иващук, И.С. Константинова, Т.А. Трифиновой, С.Л. Широковой, В.А.Дьяконова, Т. Андерсона, Дж. Бокса, Г. Дженкинса, Э.С. Айфичера.

В существующих системах мониторинга решаются задачи представления данных о концентрациях выбросов загрязняющих веществ, решаются задачи прогнозирования. Однако не всегда в них учитывается динамика изменений негативного воздействия промышленных производств на окружающую среду, не всегда осуществляется локализация зон распространения загрязняющих выбросов. Также не всегда в них прогнозируются изменения концентраций выбросов с достаточной точностью.

В связи с этим, возникает необходимость исследования и разработки новых методов и моделей экологического мониторинга, учитывающих факторы динамичных изменений условий негативного воздействия выбросов на окружающую среду, позволяющих разработку алгоритмов автоматизированного представления данных и прогно-

зирования изменений уровней выбросов, алгоритмов локализации зон распространения загрязняющих выбросов с применением ГИС-технологий.

Объект исследования – Автоматизированные системы мониторинга загрязняющих выбросов промышленного производства локального уровня.

Предмет исследования – Методы, модели, алгоритмы обработки и представления данных о концентрациях загрязняющих выбросов промышленных производств.

Цель диссертационной работы – повышение эффективности автоматизированных систем мониторинга загрязняющих выбросов по критериям быстродействия, погрешности прогнозирования и времени предсказаний для обеспечения минимизации негативного воздействия на окружающую среду промышленных производств.

Для достижения сформулированной цели были поставлены и решены *следующие задачи*:

1. Исследование методов, моделей и алгоритмов систем мониторинга данных о загрязняющих выбросах на локальном уровне.
2. Анализ параметров моделей автоматизированных систем мониторинга по критериям времени обучения и времени прогнозирования.
3. Создание модели системы оперативного контроля с учетом динамики изменений параметров временных рядов и геоинформационного отображения.
4. Разработка модели обработки временных рядов концентраций выбросов на основе математического аппарата вейвлет-преобразований и теории искусственных нейронных сетей (ИНС).
5. Исследование и разработка методики оценки рисков и их влияния на величину ущерба на локальном уровне.
6. Создание программно-аппаратной реализации автоматизированной системы мониторинга на локальном уровне с применением ГИС-технологий.

Методы исследования базируются на теории цифровой обработки сигналов, на аппарате статистического анализа временных рядов и теории множеств, теории преобразования Фурье, теории интерполяции и оптимизации, теории вейвлет-преобразования и искусственных нейронных сетей.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности:
п. 4. Разработка методического, технического, приборного и информационного обеспечения для локальных, региональных и глобальных систем экологического мониторинга природных и техногенных объектов.

Научная новизна и теоретическая значимость работы заключается в следующих результатах:

1. Предложен и исследован новый метод создания модели предсказаний с применением нейронной сети по схеме многослойного персептрона прямого распространения с непрерывной подстройкой синаптических коэффициентов.
2. Исследовано и установлено, что вейвлет-преобразование временного ряда и использование аппроксимирующих коэффициентов в качестве входных сигналов нейронной сети уменьшает ошибки обучения нейронной сети, позволяет создание модели обработки временных рядов с меньшей погрешностью прогнозирования.
3. Разработанная и исследованная модель обработки временных рядов, основанная на модели предварительной обработки вейвлет-преобразованием и на модели предсказаний на трехслойном персептроне, позволяет создать алгоритм автоматизированной системы мониторинга загрязняющих выбросов, отличающегося меньшим временем адаптации и большим временем предсказаний.

4. Создана новая методика оценки рисков загрязняющих выбросов промышленных производств и их влияние на величину ущерба на локальном уровне.

Практическая значимость диссертационных исследований:

1. Разработана и внедрена автоматизированная система мониторинга загрязняющих выбросов с геоинформационным представлением концентраций выбросов, со временем предсказания до 300 минут (до 10 периодов временного ряда), с точностью прогнозирования до 5,3 %.

2. Исследована и разработана методика оценивания периода временного ряда дискретного представления непрерывной функции концентраций выбросов $M(t)$ мг/м³, измеренной с помощью датчиковой аппаратуры в реальном производстве.

3. Созданный мобильный пост с беспроводной технологией передачи данных о загрязняющих выбросах с применением мобильных устройств связи в качестве модуля управления и индикации позволяет дистанционно обнаруживать и представлять данные о концентрациях токсичных и взрывоопасных газообразований в замкнутых и труднодоступных пространствах.

Результаты диссертационной работы внедрены в:

– автоматизированную систему мониторинга данных загрязняющих выбросов, а также в систему формирования управляющих природоохранных решений на ОАО «Муромский радиозавод»;

– учебный процесс по специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети», «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем», в учебный процесс подготовки бакалавров по направлению «Информатика и вычислительная техника» в Муромском институте (филиале) ФГ БОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. Столетова и Н.Г. Столетова».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на научно-технических конференциях:

3-я Всероссийская научная конференция «Зворыкинские чтения» (Муром, 2011); 9-ая Всероссийская научная конференция «Нейрокомпьютеры и их применение» (Москва, 2011.); 5-ая научно-техническая международная конференция «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (Орёл, 2012.); 22 th International Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technolog» (Sevastopol, Ukraine, 2012); Международная научно-техническая конференция «Измерение, контроль, информатизация» (Барнаул, 2012).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Метод исследований обработки временных рядов с применением многослойного перцептрона позволяет создание модели предсказаний на основе нейронной сети прямого распространения с непрерывной коррекцией синаптических коэффициентов.

2. Модель прогнозирования, построенная на основе нейронной сети с предварительной вейвлет-обработкой, позволила создать комбинированный алгоритм автоматизированной системы мониторинга со временем прогнозирования до десяти периодов временного ряда.

3. Разработанные с применением ГИС-технологий алгоритмы позволили создать автоматизированную систему мониторинга загрязняющих выбросов на локальном уровне с меньшим временем адаптации.

Диссертационные исследования выполнялись в рамках госбюджетных и научно-исследовательских работ:

– ГБ НИР МИ ВлГУ № 376/01 «Анализ и синтез электронных устройств, систем и сигналов с применением компьютерных технологий» (Инв.№ 0220.1052978, № гос. Рег. 012007004452) (н.р. Кропотов Ю.А.);

– ХД НИР с ОАО «Муромский радиозавод» «Исследование и разработка дистанционного управления командной системы, локальных сетей командной системы и объектов управления» (№ гос.Рег. 0120.0602602);

– Федеральный грант «УМНИК-2012» по проекту «Разработка беспроводного газоанализатора для оперативного детектирования и оповещения об уровнях токсичных и взрывоопасных газообразных веществ с применением технологии Bluetooth».

Публикации по работе. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, в том числе 9 статей в журналах из перечня ВАК РФ, 6 публикаций в материалах и тезисах докладов конференций, 1 патент.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и приложений, изложена на 149 страницах, содержит 46 рисунков, 8 таблиц, список литературы состоит из 156 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, определены ее научная новизна и практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы и публикациях. Дано краткое содержание диссертации.

В первой главе рассмотрено современное состояние вопроса создания автоматизированных систем мониторинга загрязняющих выбросов промышленных производств. Рассмотрены: законодательная база об охране окружающей среды, экологические стандарты о требованиях, которым должны удовлетворять промышленные предприятия, руководства по контролю за источниками загрязняющих выбросов в атмосферу и методики расчетов концентраций выбросов вредных веществ в атмосферу, утвержденные правительством РФ. Показано, что современные системы экологического мониторинга должны иметь двухуровневый характер, показана важность осуществления в системах мониторинга прогнозирования, которое определяющим образом влияет на эффективность снижения рисков возникновения аварийной ситуации и возможного ущерба.

Рассмотрены современные модели контроля данных о загрязняющих выбросах и методы прогнозирования, а также программные реализации этих методов. Исследовано современное состояние вопроса восстановления данных и предсказания изменений методами прогнозирования с применением ИНС. Проанализированы известные программные обеспечения моделирования систем контроля. Сформулированы задачи исследований.

Во второй главе разработана и исследована подсистема, интегрированная в систему локального мониторинга, которая выполняет важные функции по отображению пространственно-координированных данных о концентрациях загрязняющих веществ, выполняет геоинформационное отображение текущих данных, а также отображение полей концентраций прогнозируемых выбросов и их распространения с привязкой к местности. Представлен алгоритм вычисления параметров прогнозируемых концен-

траций загрязняющих веществ $s(k+r)$ и прогнозируемое значение приземной концентрации вредного вещества

$$C^* = S_1 \cdot m \cdot n \cdot h \frac{A \cdot F \cdot \sum_i M_i^*}{H^2 \sqrt[3]{V_1^* \cdot \Delta T}}, \quad (1)$$

где $\sum_i M_i^*$ - суммарная масса выбрасываемого вредного вещества в единицу времени, определяемая выражением $M^* = s(k+r) \cdot V_1^*$, V_1^* - интегральная скорость выбросов.

Максимальное значение концентраций загрязняющих веществ C^* рассчитывается в узлах координатной сетки координатной системы ГИС и по ним осуществляется прорисовка изолиний, отображающих зоны с одинаковым уровнем концентраций.

Разработана программная реализация расчета и визуализации в виде изолиний текущих и прогнозируемых концентраций загрязняющих веществ на выбранном для геомониторинга промышленном предприятии. На рис.1 представлен фрагмент изображения распространения загрязняющих веществ с помощью изолиний.

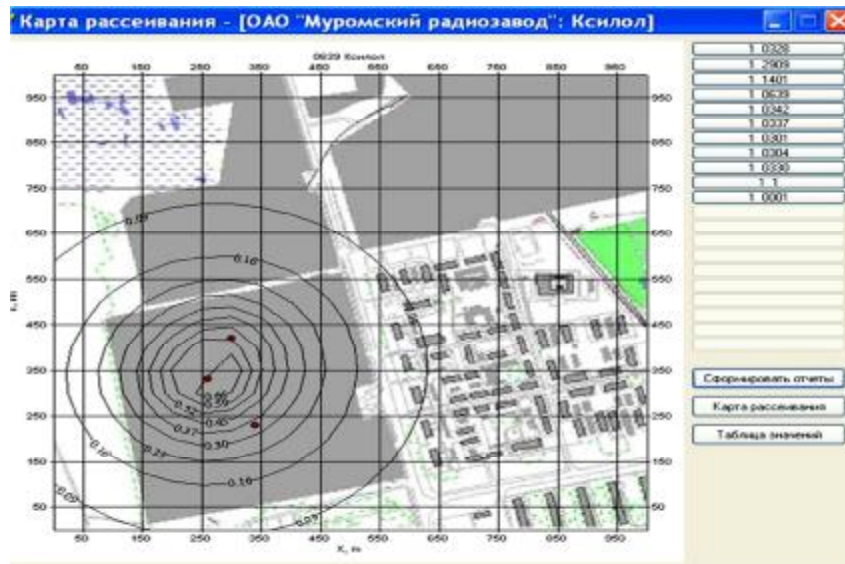


Рис.1. Представление зон распространения выбросов

Вышерассмотренные требования на отображения полей прогнозируемых концентраций загрязняющих выбросов повышает актуальность создания моделей и алгоритмов прогнозирования временных рядов в системе мониторинга.

Во второй главе исследовалась оценка периода временного ряда дискретного представления непрерывной функции концентраций выбросов (на примере паров ацетона и ксилола в реальном производстве) по ее табличным отсчетам $x(k)$, с периодом отсчетов $t_{омсч.}$, в соответствии с практическими данными, выбранными из условия $t_{омсч.} \ll T_{max}$. Исследования показали, что вычислением коэффициентов ДПФ на последовательности конечной длины из N отсчетов вычисляется функция спектральной плотности по выражению

$$s(jl2p f_1) = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{0.5N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) e^{j \frac{2p}{N} lk}, \quad f_1 = \frac{F_0}{N} = \frac{1}{t_{омсч.} N}. \quad (2)$$

По вычисленным модулям коэффициентов ДПФ $s(lf_1)$ определяется верхняя частота процесса при значении $s(lf_1) \approx 0$. Получено, что $s(F_0) \approx 0$ с погрешностью до 1%

при значении $F_6 = 7f_1$. Максимальный период дискретизации определяется по формуле $T \leq \frac{1}{2F_6} = 2057,6 \text{ сек} = 34,3 \text{ мин}$, при $f_1 = 0,347 \cdot 10^{-4} \text{ Гц}$. (3)

Также во второй главе исследовались две модели прогнозирования с применением ИНС с прямыми и обратными связями. Выбрана модель нейронной сети прямого распространения по критерию меньших вычислительных затрат. Ее алгоритм представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Алгоритм прогнозирования с прямыми связями на многослойном персептроне

Этап обучения	Алгоритм
Определение выходов (прямой проход)	$y_j = \begin{pmatrix} \varphi(w_{j1-1}^T y_{j-1} + w_{0j}^j) \\ \varphi(w_{j2-1}^T y_{j-1} + w_{0j}^j) \\ \vdots \\ \varphi(w_{jm_j}^T y_{j-1} + w_{0m_j}^j) \end{pmatrix}, j = 1, 2, \dots, n, y_0 = x_0$
Определение ошибок (обратный проход)	$e_{j-1} = W_j \Phi_j e_j, j = n, n-1, \dots, 2, e_n = \varphi(s_n) - d,$ $s_j = W_j^T y_{j-1} + w_{j0} = (s_{j1}, s_{j2}, \dots, s_{jm_j})^T$
Коррекция синаптических коэффициентов	$w_{jl}(k+1) = w_{jl}(k) - \alpha h_{jl}(s_{jl}) e_{jl} y_{j-1},$ $w_{j0}(k+1) = w_{j0}(k) - \alpha \Phi_j e_j$

В соответствии с исследованиями, результаты которых представлены на рис. 2 и рис. 3 показано, что лучшие результаты прогнозирования можно получить при реализации нейронной сети на трехслойном персептроне прямого распространения.

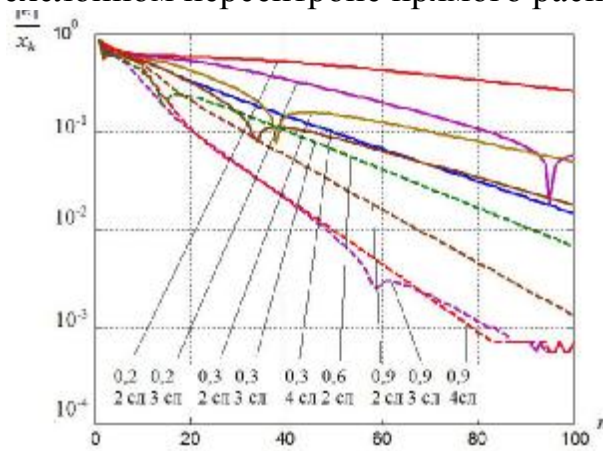


Рис. 2. Ошибки обучения от числа итераций при значениях шага от 0,2 до 0,9

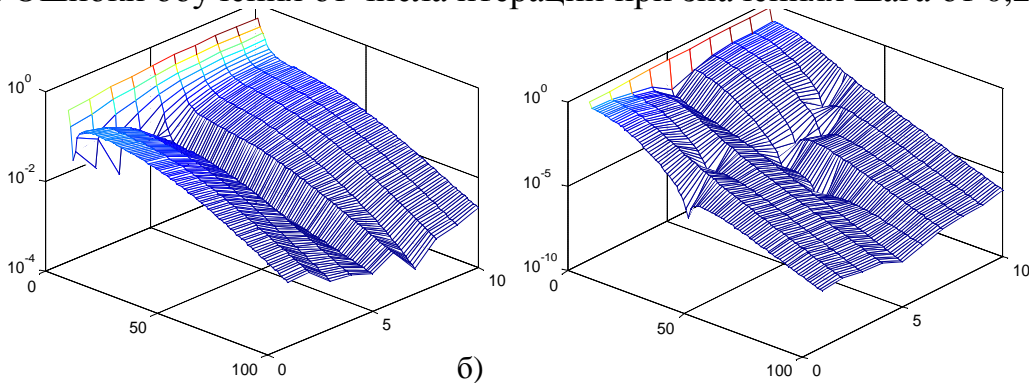


Рис. 3. Графики зависимости ошибки обучения от числа циклов и числа нейронов в сети при значениях шага настройки: а) 0,3; б) 0,9

По графикам на рис. 3 видно, что число нейронов в первом слое трехслойного персептрона должно составлять 64, а во втором и третьем слоях должны составлять по 10 нейронов.

По результатам исследований во второй главе диссертации показано, что наименьшая результирующая погрешность обучения НС может быть получена при использовании в качестве входных сигналов аппроксимирующих коэффициентов шестого уровня вейвлет-разложения. Математическая модель этапов нейросетевой обработки представлена ниже.

1. Определение выходов слоев ИНС (прямой проход). Алгоритм прямого распространения.

1.1. Определение выходов 1 и 2 слоя ИНС

$$y_1 = \begin{pmatrix} y_1^1 \\ y_1^2 \\ \dots \\ y_1^{10} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varphi(w_{1,1}^T \cdot C_6 + w_{0,1}^1) \\ \varphi(w_{1,2}^T \cdot C_6 + w_{0,2}^1) \\ \dots \\ \varphi(w_{1,64}^T \cdot C_6 + w_{0,64}^1) \end{pmatrix}, y_2 = \begin{pmatrix} y_2^1 \\ y_2^2 \\ \dots \\ y_2^{10} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varphi(w_{2,1}^T \cdot y_1 + w_{0,1}^2) \\ \varphi(w_{2,2}^T \cdot y_1 + w_{0,2}^2) \\ \dots \\ \varphi(w_{2,10}^T \cdot y_1 + w_{0,10}^2) \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где C_6 – вектор аппроксимирующих коэффициентов, $C_6 = [C_6^1, \dots, C_6^{64}]$, y_1 – вектор выходов первого слоя НС, $y_1 = [y_1^1, \dots, y_1^{10}]^T$.

1.2. Определение выходных аппроксимирующих коэффициентов

$$y_3 = \begin{pmatrix} y_3^1 \\ y_3^2 \\ \dots \\ y_3^{10} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varphi(w_{3,1}^T \cdot y_2 + w_{0,1}^3) \\ \varphi(w_{3,2}^T \cdot y_2 + w_{0,2}^3) \\ \dots \\ \varphi(w_{3,10}^T \cdot y_2 + w_{0,10}^3) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_6^{*1} \\ C_6^{*2} \\ \dots \\ C_6^{*10} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где y_2 – вектор выходов второго слоя НС, $y_2 = [y_2^1, \dots, y_2^{10}]^T$, C_6^{*r} – результат предсказаний на r - периодов временного ряда.

2. Определение ошибок (обратный проход). Алгоритм обратного распространения ошибки.

$$e_{j-1} = W_j \Phi_j e_j, j = n, n-1, \dots, 2, e_n = \varphi(s_n) - d, \quad (6)$$

$$s_j = W_j^T y_{j-1} + w_{j0} = (s_{j1}, s_{j2}, \dots, s_{jm_j})^T$$

3. Коррекция синаптических коэффициентов. Алгоритм обратного распространения ошибки.

$$w_{jl}(k+1) = w_{jl}(k) - \alpha h_{jl}(s_{jl}) e_{jl} y_{j-1}, \quad w_{j0}(k+1) = w_{j0}(k) - \alpha \Phi_j e_j. \quad (7)$$

Модель восстановления выходного временного ряда имеет вид:

$$s(k+r) = \frac{1}{p} \left[(u(k) + x_k) \cdot y_1(2t-k) + \left[\sum_{i=1}^{n=4} (C_i) \cdot y_{i+1}(2^{i+1}t-k) \right] + C_5^* y_6(2^6 t-k) + C_5^{**} j_6(2^6 t-k) \right]. \quad (8)$$

На основании разработанной модели прогнозирования, модели обработки и анализа временных рядов, разработана структурная схема реализации модели системы мониторинга загрязняющих выбросов (рис. 4).

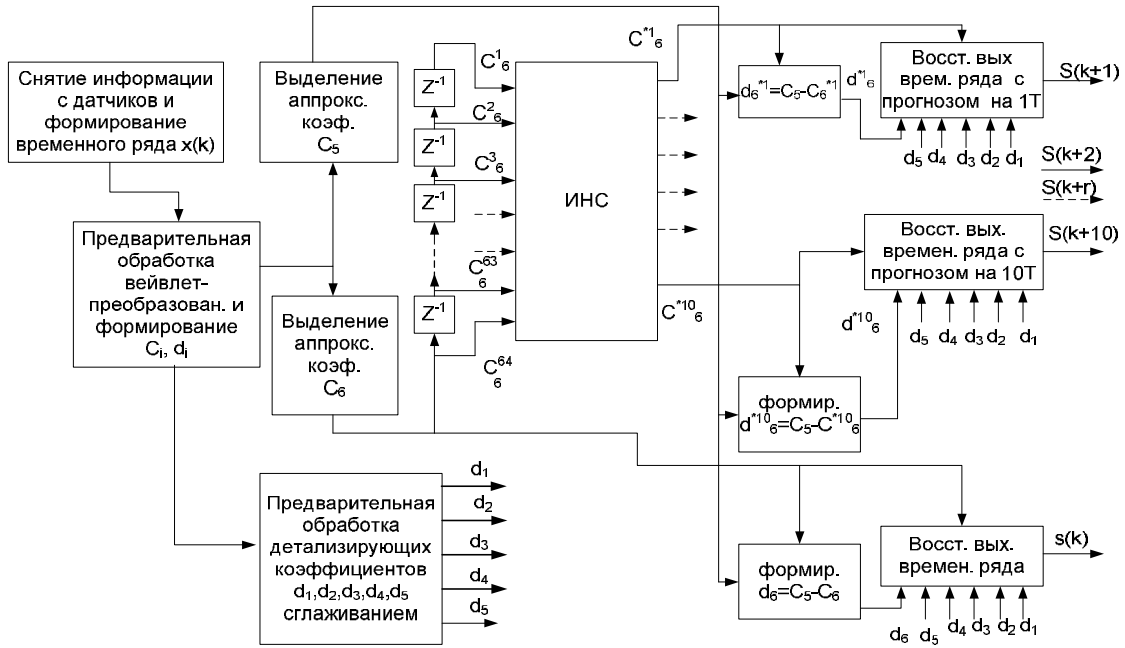


Рис. 4. Структурная схема реализации модели канала прогнозирования

Таким образом, определены модели обработки в задачах автоматизированного контроля и прогнозирования с применением технологий ИНС.

Третья глава посвящена разработке алгоритмов обработки и прогнозирования в соответствии с моделями, рассмотренными и исследованными во второй главе. При создании алгоритмов обработки учитывается неравномерность распределения частиц загрязнений. Сигналы с датчиков поступают на блок формирования данных, в котором осуществляется подготовка обучающих выборок для ИНС, а также должна осуществляться предварительная обработка детализирующих коэффициентов d_i с целью повышения точности представления данных. Предварительная обработка сглаживанием производится в соответствии с алгоритмом

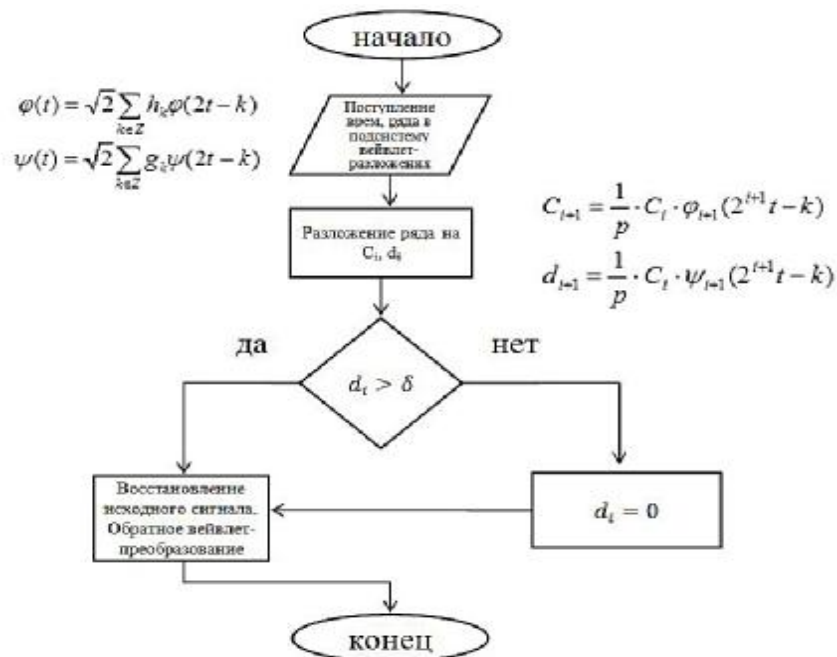


Рис. 5. Алгоритм пороговой обработки детализирующих коэффициентов

Как видно из алгоритма обработки d_i , задача сглаживания решается выбором порогового уровня d , который может обеспечить наибольшее отношение сигнал/шум. Исследования показали, что лучшее отношение сигнал/шум достигается при применении критерия адаптивного штрафного порога.

После вейвлет-обработки декомпозицией сигнала $x(k)$ до n -ого уровня разложения вида

$$C_{0,k} = \frac{1}{p} \sum_k x(k) j_{1,k}(2t-k), \dots, C_{i,k} = \frac{1}{p} \sum_k C_{i-1} j_{i,k}(2^i t-k), \dots, \quad (9)$$

$$C_{n-1,k} = \frac{1}{p} \sum_k C_{n-2} j_{n-1}(2^{n-1}t-k), \dots, C_{n,k} = \frac{1}{p} \sum_k C_{n-1} j_n(2^n t-k).$$

восстанавливается обработанный временной ряд с пониженной погрешностью представления данных по выражению

$$s(k) = C_n + d_1 + \dots + d_n,$$

где d_1, \dots, d_n - детализирующие коэффициенты, прошедшие пороговую обработку.

В соответствии с алгоритмом сглаживания и алгоритмом восстановления обработанного временного ряда, а также в соответствии с разработанными алгоритмами определения тренда концентраций загрязняющих выбросов, алгоритма сокращения вычислительных затрат обработки, разработана обобщенная структурная схема автоматизированной системы мониторинга (рис. 6)



Рис. 6. Обобщенная структурная схема автоматизированной системы мониторинга загрязняющих выбросов

Четвертая глава посвящена вопросам исследования и разработки структурной схемы программно-аппаратной части автоматизированной системы мониторинга загрязняющих выбросов на локальном уровне. Этапом проектирования аппаратно-программной части автоматизированной системы мониторинга выбросов является формирование структурных блоков в соответствии с разработанными алгоритмами подсистем в главе 3. Также структурными блоками автоматизированной системы мониторинга являются экспертно-измерительная подсистема измерения и формирования данных $x(k)$ и сервер системы мониторинга. Структурная схема программно-аппаратной части автоматизированной системы мониторинга приведена на рис. 7.

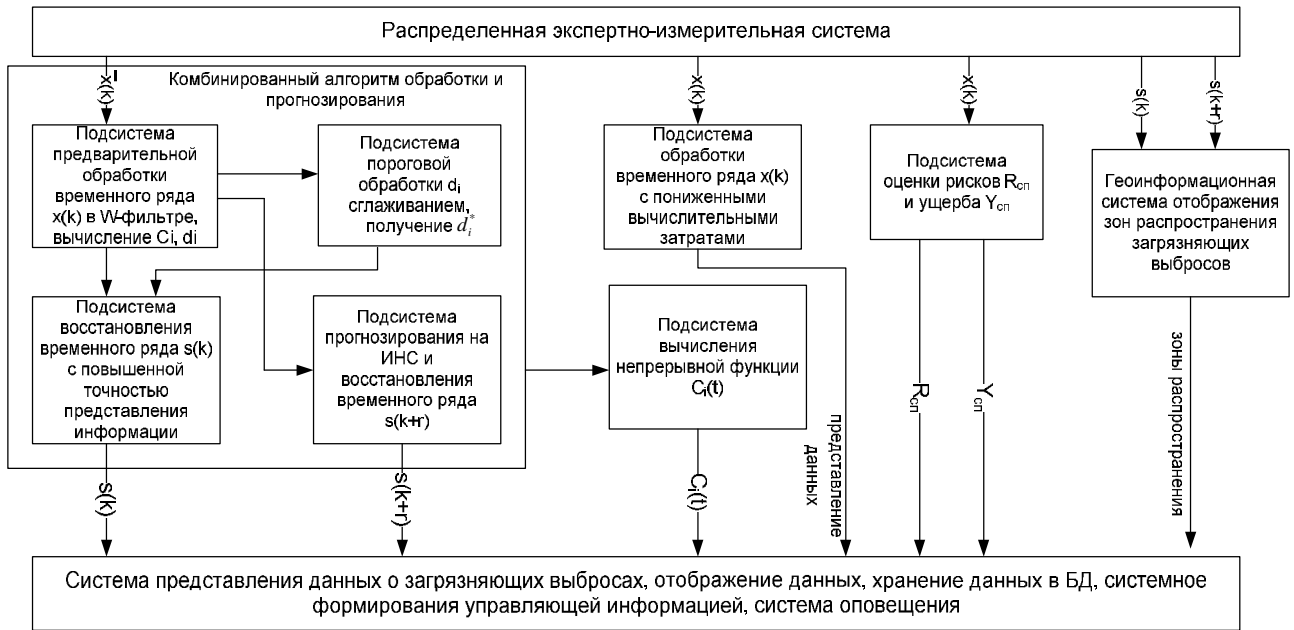
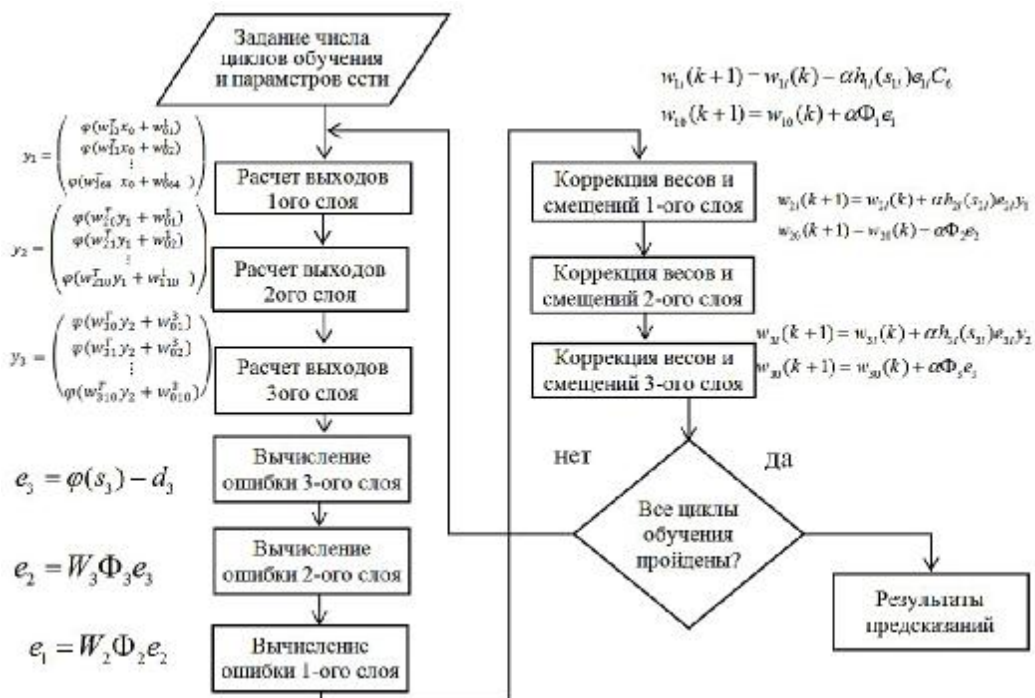


Рис. 7. Структурная схема программно-аппаратной части автоматизированной системы мониторинга

Как видно из рис. 7. в программно-аппаратную реализацию автоматизированной системы мониторинга входит подсистема комбинированного алгоритма обработки и прогнозирования, которая формирует временной ряд $s(k)$ с пониженной погрешностью представления данных и временной ряд прогноза $s(k+r)$. Также в структурную схему входит подсистема вычисления функции тренда $C_t(t)$, подсистема оценки риска R_{cn} и ущерба Y_{cn} в зависимости от суммированной массы выбросов $\sum_i M_i$, подсистема геоинформационного представления зон распространения прогнозируемых загрязняющих выбросов, подсистема обработки временного ряда $x(k)$ с уменьшенными вычислительными затратами. Программно-аппаратная реализация включает в себя серверную часть ПО автоматизированной системы мониторинга. Блок-схему ПО алгоритма обучения и



предсказаний на трехслойном персептроне приведена на рис.8.

В целях обеспечения максимальной эффективности системы мониторинга загрязняющих выбросов, осуществляется сбор данных с применением стационарных постов, но и с применением мобильных постов с беспроводной технологией передачи данных о взрывоопасных и токсичных газообразных выбросах. Структурная схема мобильного поста приведена на рис. 9.

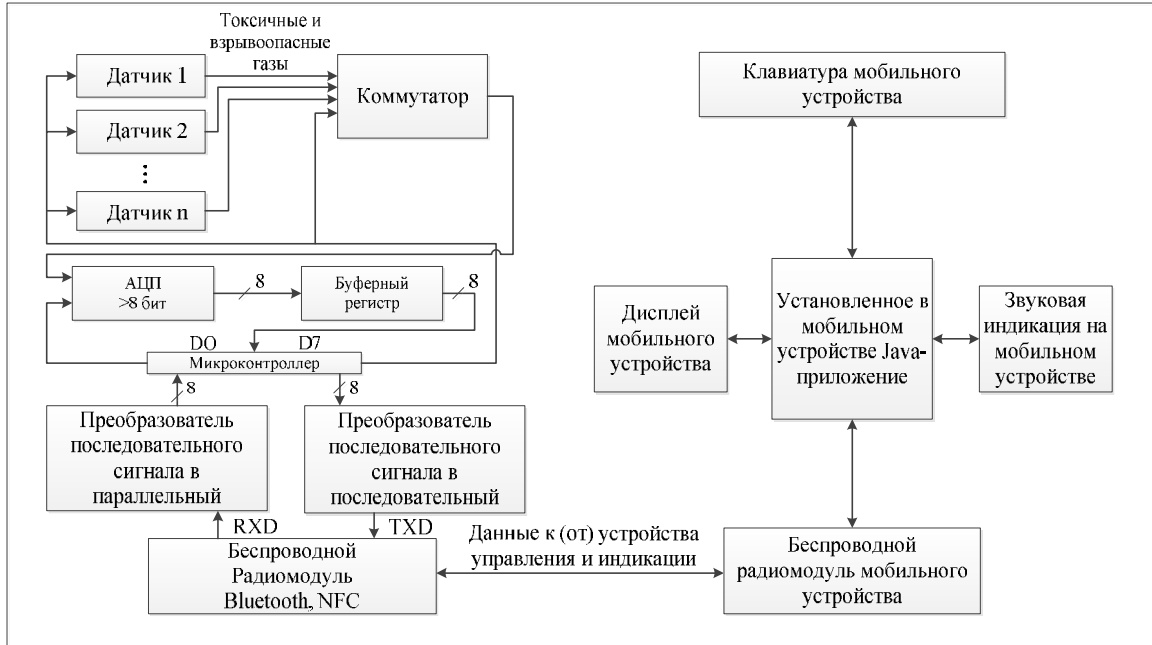


Рис. 9. Структурная схема мобильного поста с беспроводной технологией передачи данных о токсичных и взрывоопасных выбросах

Показано, что одной из задач мониторинга является оценка риска по загрязняющим выбросам и их влияния на ущерб. Разработана методика оценивания рисков, разработана методика влияния приведенной массы годового выброса в атмосферу на величину ущерба. Интегрированный ущерб за счет приведенной массы выбросов M_i определяется выражением

$$Y = hF \sum_{i=1}^n a_i M_i . \tag{10}$$

На примере промышленного предприятия представлена методика вычисления значений норм риска $R_{норм}$, ущерба $Y_{норм}$ и экологической опасности $G_{сп\ норм}$. Представлена методика оценивания функции зависимости экологической опасности от значения весового коэффициента риска, определенного по табличным данным ежеквартального отчета предприятия о выбросах в атмосферный воздух стационарных объектов.

На рис.9 показаны результаты исследований зависимостей значений погрешностей прогнозирования систем мониторинга.

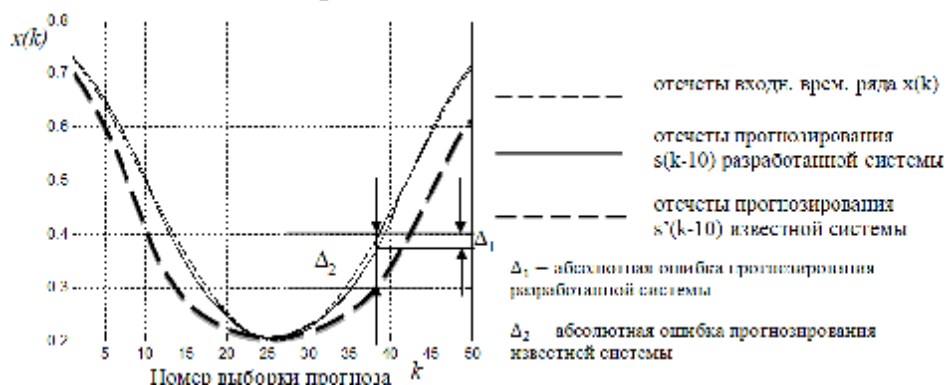


Рис. 9. Ошибки прогнозирования систем мониторинга

В соответствии с алгоритмом обработки временных рядов трехслойной нейронной сетью, было проведено исследование моделированием зависимостей погрешности прогнозирования от времени обучения нейронной сети. Кривая обучения, приведенная на рис. 10, иллюстрирует время обучения (число итераций, $T_{um} < 1$ сек) и, соответственно, время адаптации новой системы.

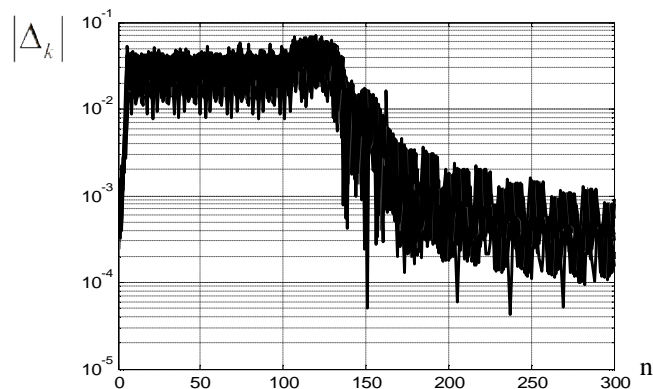


Рис. 10. Зависимость ошибки прогнозирования от числа итераций НС

Сравнительный анализ ошибок прогнозирования разработанной системы мониторинга приведен на рис. 11.

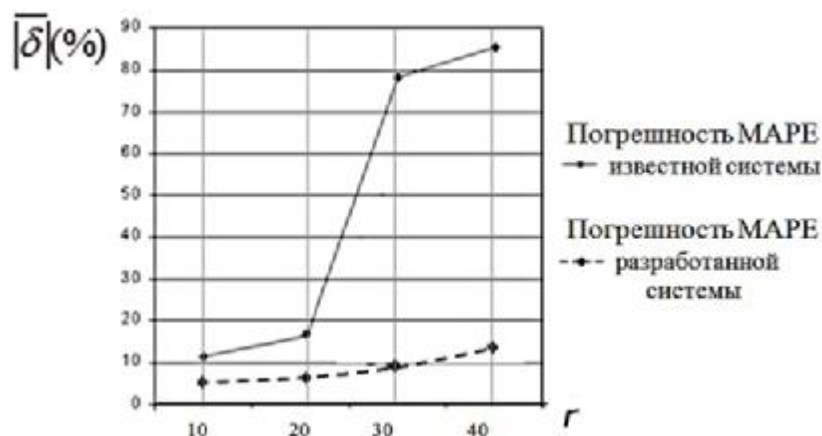


Рис.11. Ошибки прогнозирования систем мониторинга

Из рис.11 видно, что оценка погрешности на 10 периодов прогноза ($t_{\text{прогноза}} = rT$, при $r=10$, $T=30$ мин, $t_{\text{прогноза}}=300$ мин), определенная с доверительной вероятностью $\gamma = 0,9$, составляет 5,3%. в доверительном интервале $3,87\% < 5,3\% < 6,73\%$.

Таким образом, в созданной автоматизированной системе мониторинга решены вопросы достаточно высокой динамики адаптации архитектуры обработки данных при динамично изменяющихся параметрах загрязняющих выбросов, время адаптации системы составляет до 170 итераций, при периоде итерации $T_{um} < 1$ сек. В созданной системе мониторинга осуществляется прогнозирование с достаточно высокой точностью, погрешность прогнозирования составляет не более 5,3% при времени предсказания до 300 минут (до 10 периодов временного ряда).

Приложение содержит акты внедрения результатов диссертационной работы на промышленном предприятии и в учебном процессе.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана и исследована математическая модель прогнозирования данных временных рядов загрязняющих выбросов на трехслойном персептроне прямого распространения и предварительной обработкой вейвлет-преобразованием входных сигналов НС, позволяющая создание алгоритма автоматизированной системы мониторинга с меньшим временем адаптации и с повышенной точностью прогнозирования.

2. Исследована и разработана методика оценивания периода временного ряда дискретного представления непрерывной функции концентраций выбросов $M(t)$ мг/м³, измеренной с помощью датчиковой аппаратуры в реальном производстве.

3. Обработка временных рядов загрязняющих выбросов в W-фильтре повышает точность представления информации в реальном времени и точность прогнозирования.

4. Алгоритм пороговой обработки детализирующих коэффициентов вейвлет-разложения временных рядов, алгоритм предварительной вейвлет-обработки временных рядов, алгоритмы подсистем, определяющих периодичность структуры информации, позволили создать структурную схему программно-аппаратной части автоматизированной системы мониторинга.

5. Созданный мобильный пост беспроводного контроля и передачи данных о загрязняющих выбросах позволяет оперативно изменять точки контроля, осуществлять дистанционный контроль наличия загрязняющих взрывоопасных, токсичных и других выбросов в ограниченном пространстве и существенно повысить эффективность автоматизированной системы мониторинга загрязняющих выбросов промышленных производств.

6. Разработана методика оценки рисков по концентрациям загрязняющих выбросов и методика оценивания их влияния на величину ущерба, которая позволяет исследовать фактическую обстановку экологической опасности по представленным отчетам промышленного предприятия о выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарных объектов.

7. Разработанная геоинформационная подсистема, интегрированная в систему локального мониторинга загрязняющих выбросов, позволяет отображать текущие и прогнозируемые данные концентраций загрязняющих выбросов с привязкой к картографическому изображению прилегающей местности и территории объекта контроля.

8. Создана автоматизированная система мониторинга на локальном уровне с геоинформационным представлением данных, с более высокими параметрами по динамике адаптации, время адаптации составляет до 170 итераций обучения нейронной сети, при $T_{um} \leq 1$ с. В созданной системе мониторинга погрешность прогнозирования составляет не более 5,3%, при предсказании изменений концентраций вредных веществ до 300 минут (десяти периодов временного ряда).

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Проскуряков, А.Ю. Модель прогнозирования временных рядов на трехслойном персептроне в информационной системе мониторинга загрязняющих выбросов [Текст] / А.Ю. Проскуряков // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2014. – №2. – С.57–63. (Личное участие 100%).

2. Проскуряков, А.Ю. Прогнозирование уровней концентраций в телекоммуникационной системе газового контроля промышленных и коммунальных объектов [Текст] / А.Ю. Проскуряков, А.А. Белов // Информационные системы и технологии, 2013. – №1 (75). – С. 135–142. (Личное участие 50 %).

3. Проскуряков, А.Ю. Разработка телекоммуникационной системы газового мониторинга для промышленности и коммунального хозяйства с нейросетевой обработкой и прогнозированием данных [Текст] / А.Ю. Проскуряков, А.А. Белов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2012. – №2. – С.63–67. (Личное участие 50 %).
4. Проскуряков, А.Ю. Вопросы прогнозирования уровней концентраций в телекоммуникационной системе газового контроля промышленных и коммунальных объектов [Текст] / А.Ю. Проскуряков, А.А. Белов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2012. – №4. – С. 143–149. (Личное участие 50 %).
5. Проскуряков, А.Ю. Беспроводной газоанализатор с подсистемой прогнозирования концентраций токсичных и взрывоопасных веществ [Текст] / А.Ю. Проскуряков, А.А. Белов // Ползуновский вестник, 2012. – №2. – С. 142–146. (Личное участие 50 %).
6. Проскуряков, А.Ю. Вопросы разработки радиоэлектронного беспроводного газоанализатора с интеллектуальной системой прогнозирования [Текст] / А.Ю. Проскуряков, А.А. Белов // Радиопромышленность, 2012. – №. 1. – С. 119–125. (Личное участие 50 %).
7. Проскуряков, А.Ю. Регрессионное прогнозирование и восстановление временных рядов на основе вейвлет-преобразования в системе экологического мониторинга [Текст] / А.Ю. Проскуряков, А.А. Белов // Проектирование и технология электронных средств, 2010. – № 1. – С. 26–30. (Личное участие 50 %).
8. Проскуряков, А.Ю. Автоматизированный анализ и обработка временных рядов данных о загрязняющих выбросах в системе экологического контроля [Текст] / А.Ю. Проскуряков, А.А. Белов, Ю.А. Кропотов // Информационные системы и технологии, 2010. – №6(62). – С. 28 – 35. (Личное участие 33 %).
9. Проскуряков, А.Ю. Вопросы обработки экспериментальных временных рядов в электронной системе автоматизированного контроля [Текст] / А.Ю. Проскуряков, А.А. Белов, Ю.А. Кропотов // Вопросы радиоэлектроники, 2010. – № 1. – С. 95 – 100. (Личное участие 33 %).

В других изданиях

10. Проскуряков, А.Ю. Портативный газоанализатор с беспроводным интерфейсом для оперативного контроля и оповещения о токсичных и взрывоопасных веществах в составе воздуха на специальных объектах / А.Ю. Проскуряков, А.А. Белов, Ю.А. Кропотов // Патент на полезную модель. № 112428 Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам: государственный реестр полезных моделей РФ 10.01.2012. (Личное участие 33 %).
11. Проскуряков, А.Ю. Исследование алгоритмов автоматизированной обработки экспериментальных временных рядов в системе экологического мониторинга [Текст] / А.Ю. Проскуряков, А.А. Белов, Ю.А. Кропотов // Материалы 4-ой научно-технической международной конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве», 2010. – Т.3. – С. 25 – 32. (Личное участие 33 %).
12. Проскуряков, А.Ю. Анализ и обработка экспериментальных временных рядов в системах автоматизированного контроля [Текст] / А.Ю. Проскуряков, А.А. Белов, Ю.А. Кропотов // Proceedings of 20th International Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology”. Sevastopol, Ukraine. 2010. – V.1. – P.308–309. (Личное участие 33 %).
13. Проскуряков, А.Ю. Обработка массивов данных из ГИС и нейросетевое прогнозирование в задаче экологического мониторинга [Электронный ресурс] / А.Ю. Проскуряков, А.А. Белов // Материалы 9-ой Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение», 2011. – С.16. (Личное участие 50 %).

ЛР ИД № 00670 от 05.01.2000 г.

Подписано к печати « 04 » августа 2014 г.

Усл. печ. л.1 Тираж 100 экз.

Заказ № 181.

Полиграфический отдел «Госуниверситет-УНПК»
302035, г. Орел, ул. Московская, 65