

БЕСПРОВОДНОЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР С ПОДСИСТЕМОЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТОКСИЧНЫХ И ВЗРЫВООПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

А.А. Белов, А.Ю. Проскуряков

В статье рассматривается разработка беспроводного портативного газоанализатора, предназначенного для детектирования, оповещения и прогнозирования значений концентраций токсичных и взрывоопасных веществ в составе воздушной среды на промышленных и коммунальных объектах, с замкнутым пространством и вероятностью загазованности. Предложен комбинированный алгоритм прогнозирования значений концентраций на базе искусственных нейронных сетей и вейвлет-преобразования

Ключевые слова: беспроводной газоанализатор, искусственная нейронная сеть, временной ряд, прогнозирование значений ряда, технология Bluetooth

Введение

В промышленности, коммунальных сетях, на объектах с замкнутым пространством, с имеющейся вероятностью выделения и накопления токсичных и взрывоопасных газообразных веществ (копидцы, шахты и др.), вопросы обеспечения безопасных условий работы персонала являются приоритетными и обязательными. Работа на таких объектах связана с риском и опасностью для жизни и здоровья людей, в частности риска отравления/удушения вредными, скопившимися концентратами газов и возможного взрыва и возгорания скопившихся газовых смесей. Поэтому создание систем и устройств дистанционного контроля за концентрациями токсичных и взрывоопасных газовых смесей является весьма актуальной задачей, решение которой позволит осуществить безопасный контроль, работу и обслуживание на соответствующего рода объектах. В разработке подобного устройства заинтересованы предприятия добывающей промышленности (нефтегазовая, горная, химическая), а также отрасль жилищно-коммунального хозяйства. При этом одной из важнейших функций разрабатываемого газоанализатора является не только детектирование текущих уровней концентраций и оповещение об опасных уровнях токсичных и взрывоопасных газовых смесей, но и прогнозирование значений временных рядов концентраций газов. Качественно проведенное прогнозирование обеспечит своевременное принятие управляющих решений, направленных на удаление скопившихся токсичных и взрывоопасных газовых смесей из рабочей зоны, с целью исключения аварийных ситуаций. На процесс прогнозирования существенное влияние оказывает флуктуация сигнала или присутствия значительной нелинейности

в данных. Существует большое количество методов интерполяции и экстраполяции временных рядов [1]. Интерес вызывает разработка комбинированного метода прогнозирования в нейросетевом базисе, с использованием вейвлет-преобразования. Кроме газового контроля на объектах с замкнутым пространством и вероятностью загазованности, решение задачи прогнозирования значений временных рядов, находит применение в широком спектре отраслей и приложений.

Разработка беспроводного газоанализатора

Основными структурными блоками портативного газоанализатора с беспроводным интерфейсом для оперативного детектирования и оповещения о токсичных и взрывоопасных веществах в составе воздуха на специальных объектах, приведенного на рисунке 1, являются: выносной модуль сбора данных (модуль А) и модуль управления-индикации (модуль Б). Модуль А отвечает за сбор информации о наличии в среде легковоспламеняющихся, взрывоопасных и токсичных газообразных веществ и включает в себя один многокомпонентный или несколько, чувствительных к определенному типу газа, датчиков. В базовой комплектации газоанализатор оснащается датчиками метана (CH_4) на основе сенсора типа tgs2611 и сероводорода (H_2S) на основе сенсора типа tgs 825. Ввиду гибкости системы, тип газовых сенсоров и количество датчиков могут быть подобраны в соответствии с объектом контроля. Коммутатор подключает два канала с датчиков к АЦП.

Информация с АЦП через буферный регистр попадает во внутреннюю память микроконтроллера. Он обеспечивает приём управляющих сигналов от модуля Б, управляет сбором данных от датчиков токсичных и

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2/1, 2012

БЕСПРОВОДНОЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР С ПОДСИСТЕМОЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТОКСИЧНЫХ И ВЗРЫВООПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

взрывоопасных веществ и преобразует данные о концентрациях к формату, пригодному для передачи по радиоканалу Bluetooth. Пи-

тание модуля А обеспечивается батарейками типа ААА.

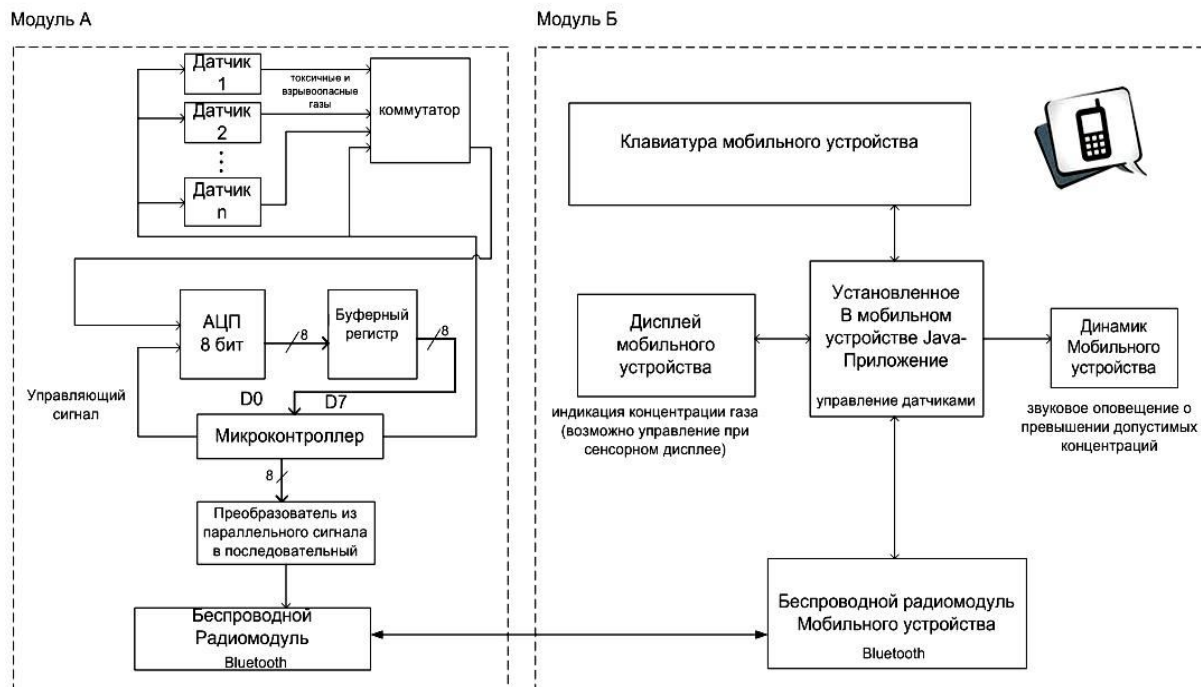


Рисунок 1- Структурная схема беспроводного портативного газоанализатора

Второй модуль предназначен для управления газоанализатором, графической и звуковой индикации результатов измерения. В качестве второго модуля выступает любое переносное мобильное устройство типа сотовый телефон, коммуникатор или планшет, с предустановленным программным приложением для iOS, Android, WP7, обеспечивающее управление модулем сбора, индикацию концентраций выбранного газа и оповещение о превышении допустимых норм. Для передачи данных и управляющих сигналов между модулями используется стандартный для большинства современных мобильных устройств беспроводной радио-интерфейс Bluetooth, что повышает надежность и взаимозаменяемость компонентов.

Устройство имеет радиус действия до 100 метров в базовой комплектации. Имеется возможность увеличения радиуса действия до 1 км за счет применения в каждом из модулей передатчиков Bluetooth с антеннами направленного действия. В состав программного обеспечения модуля управления и индикации входит система комбинированного прогнозирования значений концентраций на основе аппарата искусственных нейронных сетей и вейвлет-преобразования.

Алгоритм комбинированного прогнозирования

Общая концепция алгоритма прогнозирования значений временных рядов в нейросетевом базисе с применением вейвлет-преобразования представлена на рисунке 2.

После выполнения этапа предварительного вейвлет-преобразования (сглаживание и сжатие временного ряда), временной ряд подается на подсистемы прогнозирования и коррекции результатов.

Далее из множества значений ряда выделяются два непересекающихся подмножества (как правило, хронологически следующих одно за другим). Одно из них представляет собой обучающую выборку (ОВ), на которой будет выполняться обучение НС. Другое подмножество представляет собой контрольную выборку (КВ), которая не предъявляется НС в процессе обучения и используется для проверки качества прогноза. Таким образом, прогнозирование временного ряда сводится к задаче интерполяции функции многих переменных. НС используется для восстановления этой функции по множеству наборов, входящих в состав ОВ.

РАЗДЕЛ V. ИЗМЕРЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

На этапе структурного синтеза производится выбор архитектуры НС и структуры свя-

зей между нейронами.

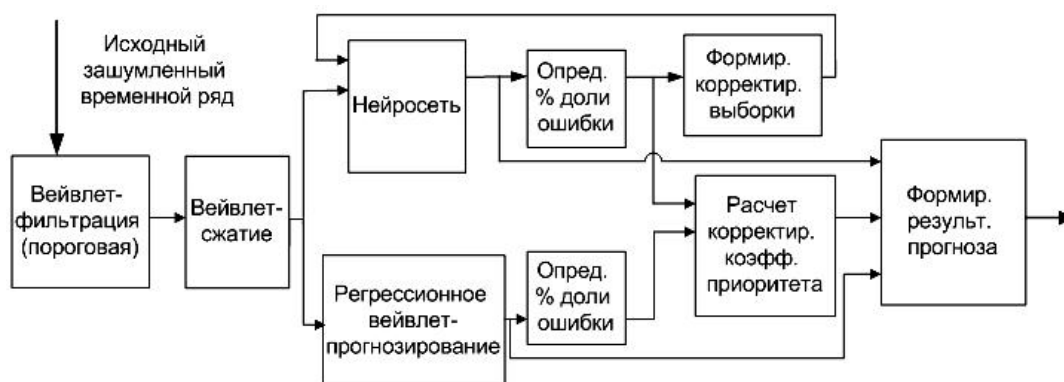


Рисунок 2 - Алгоритм комбинированного прогноза

На этапе параметрического синтеза НС выполняется обучение НС. Как правило, используются методы градиентного спуска, в частности алгоритм обратного распространения ошибки и его модификации.

Далее осуществляется проверка ошибки прогноза НС на КВ. В результате сравнения выходных данных с контрольными, вычисляется процентная доля ошибки для заданного входного временного ряда. Учитывая этот процент ошибки и разницу между выходным сигналом и КВ, формируется корректирующая выборка, представляющая собой модификацию весовых коэффициентов НС. Таким образом, помимо первого этапа формирования начальной процедуры обучения с применением ОБ, происходит постоянная адаптация и усовершенствование НС, с учетом накопленного опыта, то есть повторный переход к этапу параметрического синтеза и, следовательно, сведение вероятности появления ошибки НС к минимуму.

Стоит также отметить, что в данной системе, на начальном этапе её работы, приоритет отдается регрессионному вейвлет - прогнозированию, т.к. НС требуется определенный период, чтобы результат был приемлемого качества, то есть с низкой процентной долей ошибки. Поэтому при первых запусках системы наряду с НС, для получения пусть и не эталонных, но относительно достоверных прогнозов, параллельно включается замещающая подсистема регрессионного вейвлет-прогнозирования, работающая согласно алгоритму:

1) Преобразуем временной ряд данных в массив (X_b, Y_b) , в котором X_b – равномерно распределенные временные отрезки. Для каждого отрезка i , находится среднее значение $Y_b(i)$ на данном отрезке.

2) Выполняем вейвлет-разложение сигнала $Y_b(i)$. На данном этапе, посредством скейлинг и вейвлет функций, осуществляется аппроксимация сигнала $Y_b(i)$ коэффициентами разложения. В результате получают усредненные аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты:

$$\bar{c}_{J,k} \approx \frac{1}{n} \sum_{l=1}^{nb} Y_b(l) \cdot \varphi_{J,k}(X_b(l));$$

$$\bar{d}_{J,k} \approx \frac{1}{n} \sum_{l=1}^{nb} Y_b(l) \cdot \psi_{J,k}(X_b(l)).$$

где J – уровень вейвлет-разложения, l – номер временного интервала.

Полученные коэффициенты полностью характеризуют функцию регрессии $\bar{f}$, с помощью которой может быть выполнена операция экстраполяции.

3) С помощью обратного вейвлет-преобразования по коэффициентам $\bar{c}_{J,k}$ и $\bar{d}_{J,k}$ восстанавливается прогнозируемое значение временного ряда $y(j)$ для произвольного значения параметра $x(j)$, лежащего внутри или за границами исходного диапазона значений времени:

$$y(j) \approx \bar{c}_J \cdot \varphi_J(x(j)) + \sum_{m=1}^J \bar{d}_m \cdot \psi_J(x(j)).$$

Прогнозированию подвергался исходный тестовый временной ряд концентраций сероводорода (744 отсчета, измерения проводились каждый час в течение месяца). При этом в качестве обучающей выборки использовался урезанный ряд, состоящий из 640 отсчетов, прогнозировались 104 следующих отсчета (рисунок 3), представляющие значения ряда [2].

Была оценена эффективность предварительного регрессионного вейвлет - прогнозирования.

БЕСПРОВОДНОЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР С ПОДСИСТЕМОЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТОКСИЧНЫХ И ВЗРЫВООПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

рования (таблица 1) по критерию средней процентной ошибки [2]:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left| \frac{x_k - \hat{x}_k}{x_k} \right| \cdot 100\%$$

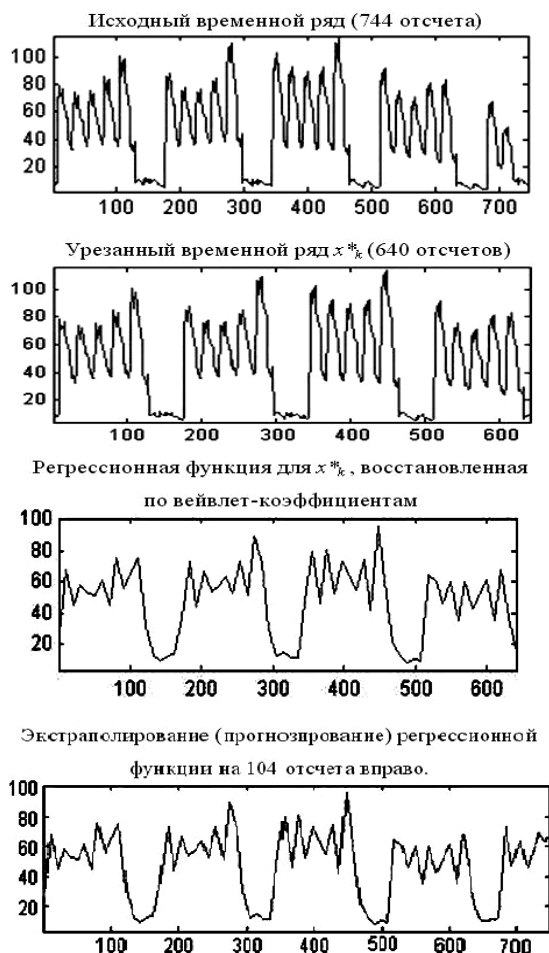


Рисунок 3 - Результаты эксперимента

Таблица 1

Критерий	52 отсчета (часа)		104 отсчетов (часов)	
	Реал. дан.	Прогн. дан.	Реал. дан.	Прогн. дан.
Среднее	17,52	19,65	20,69	38,34
Мода	4,71	7,72	4,72	9,77
Макс.	67,55	70,86	67,55	70,86
Мин.	3,64	8,61	3,64	8,61
Размах Вариации	63,91	62,25	63,91	62,25
Дисперсия	22,66	25,49	19,43	28,08
MAPE	12,15%		85,31%	

После того, как процентная доля ошибки искусственной нейронной сети и подсистемы регрессионного вейвлет - прогнозирования сравнивается, система автоматически пере-

ходит на прогнозирование с применением нейронной сети, накопившей к этому моменту необходимый «опыт» для адекватной оценки прогноза и выдающей с каждой следующей выборкой, более корректные и точные экстраполированные значения временного ряда.

Выводы

В ходе исследования был разработан беспроводной портативный газоанализатор, назначением которого является дистанционный контроль за уровнями концентраций токсичных и взрывоопасных газов, который необходим для обеспечения безопасной работы на объектах с вероятной загазованностью. Инновационной идеей разработки является использование в качестве модуля управления-индикации стандартного мобильного устройства (телефон, КПК, планшет) поддерживающего стандартную технологию беспроводной передачи Bluetooth. Характеристики устройства полностью соответствует современным потребностям общества, в частности, добывающей нефтегазовой, горной промышленности, сферы ЖКХ. Программное обеспечение устройства учитывает основные тенденции рынка ПО мобильных устройств. На основе математических аппаратов вейвлет-преобразования и искусственных нейронных сетей разработан алгоритм комбинированного прогнозирования значений концентраций. Разработанный алгоритм используется в подсистеме прогнозирования газоанализатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов А.А. Автоматизированный анализ и обработка временных рядов данных о загрязняющих выбросах в системе экологического контроля / А.А. Белов, Ю.А. Кропотов, А.Ю. Проскуряков // Информационные системы и технологии, 2010. – №6(62). – С. 28– 35.
2. Белов А.А. Регрессионное прогнозирование и восстановление временных рядов на основе вейвлет-преобразования в системе экологического мониторинга / А.А. Белов, А.Ю. Проскуряков // Проектирование и технология электронных средств. 2010. №1. С. 27-31.
3. Белов А.А. Вопросы обработки экспериментальных временных рядов в электронной системе автоматизированного контроля / А.А. Белов, Ю.А. Кропотов, А.Ю. Проскуряков // Вопросы радиоэлектроники. Серия ОТ, 2010. – Выпуск 1. – С. 95 – 100.

Доцент **Белов А.А.**, асп. **Проскуряков А.Ю.**
– каф. ЭиВТ Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета, тел. 8-49234-77272, kaf-eivt@yandex.ru