

*А.М. Чуйков, А.Н. Перегудов, А.А. Исаев, А.В. Калач*  
(Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России;  
e-mail: a\_kalach@mail.ru)

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТИПА "ЭЛЕКТРОННЫЙ НОС" ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ТОКСИЧНОСТИ ГАЗОВ И ПАРОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Изучены возможности использования системы типа "Электронный нос" для выявления токсикантов при эксплуатации строительных материалов.*

*Ключевые слова: токсичность, строительные материалы, "Электронный нос".*

*A.M. Chuikov, A.N. Peregudov, A.A. Isaev, A.V. Kalach*

## **THE POSSIBILITY OF USING THE "ELECTRONIC NOSE" SYSTEM FOR EVALUATION OF GASES AND VAPORS TOXIC LEVEL WHILE EXPLOITING SOME BUILDING MATERIALS**

*In the article we have studied the possibility of using the "electronic nose" for determination of the toxic agents in some building materials being exploited.*

*Key words: the toxic level, building materials, "Electronic nose".*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 8 декабря 2011 г.

Современный период развития жилищно-коммунального строительства характеризуется сближением отечественных и зарубежных требований к качеству выполняемых работ, ростом запросов потребителей к экологии зданий и помещений и к комфортности проживания в них.

Все это диктует необходимость обеспечения требуемого уровня экологической безопасности строительных материалов, изделий и конструкций, то есть их способность обеспечивать при нормируемых условиях комфортность проживания человека и не оказывать на его здоровье и состояние экосистем негативного воздействия.

Традиционно токсичность строительных материалов оценивают путем сравнения их состава с предельно допустимой концентрацией (ПДК) выделяющихся токсичных веществ. Первостепенное значение имеет класс опасности, состав вредных веществ и их количественное содержание. С точки зрения токсичности, основным источником экологической опасности в жилых зданиях являются полимерные строительные материалы.

Авторами проведена оценка возможности использования системы "Электронный нос" для выявления токсикантов при эксплуатации строительных материалов, выполненных из ДВП, ДСП, ПВХ-линолеум, ПВА и др. (табл. 1).

Многочисленные исследования показали, что практически все полимерные строительные и отделочные материалы, созданные на основе низкомолекулярных соединений, в процессе использования могут выделять токсичные летучие компоненты, которые при длительном воздействии неблагоприятно влияют на здоровье человека.

В табл. 1 приведены обобщённые характеристики некоторых полимерных строительных и отделочных материалов, способных выделять токсичные субстанции [1].

Таблица 1

№ п/п	Наименование	Характеристика
1	Материалы на основе карбамидных смол	Древесностружечные плиты (ДСП) выделяют формальдегида в 2-3 раза больше допустимого уровня. В свободном состоянии формальдегид представляет собой раздражающий газ, обладающий общей токсичностью.
2	Материалы на основе фенолформальдегидных смол (ФФС)	Древесноволокнистые (ДВП), древесностружечные (ДСП) и древеснослоистые (ДСП). Выделяют в воздушную среду помещений фенол и формальдегид. Концентрация формальдегида в жилых помещениях, оборудованных мебелью и строительными конструкциями, содержащими ДСП, может превышать ПДК в 5-10 раз. Особенно высокое превышение допустимого уровня отмечается в сборно-щитовых домах. Токсичность выделяющихся веществ во многом зависит от марки смолы.
3	Материалы на основе эпоксидных смол	Эпоксидные смолы содержат летучие токсичные вещества: формальдегид, дибутилфталат, эрихлоргидин и др.
4	Поливинилхлоридные материалы (ПВХ)	ПВХ-линолеумы обладают общей токсичностью, в процессе эксплуатации могут создавать на своей поверхности статическое электрическое поле напряженностью до 2000-3000 В/см. При использовании поливинилхлоридных плиток в воздушной среде помещений обнаруживают фталаты и бромлирующие вещества.
5	Резиновый линолеум (релин)	Независимо от длительности нахождения в помещении выделяет неприятный специфический запах. Стиролосодержащие резиновые линолеумы выделяют стирол. На своей поверхности релин, как и все пластмассы, накапливает значительные заряды статического электричества.
6	Нитролинолеум	Выделяет дибутилфталат и фенол в количествах, превышающих допустимый уровень.
7	Поливинилацетатные покрытия (ПВА)	При недостаточном проветривании выделяют в воздушную среду помещений формальдегид и метанол в количестве, превышающем ПДК в 2 раза и более.
8	Лакокрасочные материалы	Наиболее опасны растворители и пигменты (свинцовые, медные и др.). Кроме того, лакокрасочные покрытия загрязняют воздушную среду жилых помещений толуолом, ксилолом, бутилметакрилатом и др. Токсичные битумные мастики, изготовленные на основе синтетических веществ, содержат низкомолекулярные и другие летучие токсичные соединения.
9	Изоцианты	Опасные токсичные соединения, проникающие в жилые помещения из полиуретановых материалов (уплотнителей, соединений и др.).

Миграция токсичных веществ из полимерных материалов происходит вследствие их химической деструкции и в связи с недостаточной экологической чистотой исходного сырья, нарушением технологии их производства или использованием не по назначению. Уровень выделения газообразных токсичных веществ заметно увеличивается при повышении температуры на поверхности полимерных материалов и относительной влажности воздуха в помещении.

Выделение газообразных токсичных веществ в результате горения полимерных строительных материалов еще один весьма серьезный опасный фактор, связанный с их использованием. Достаточно указать, что термическое разложение при горении 1 кг полимера дает столько газообразных токсичных веществ, что их достаточно для отравления воздуха в помещении объемом 2000 м<sup>3</sup>. У человека, находящегося в таком помещении, через 10-15 мин. возникает тяжёлое отравление или даже возможна его гибель.

Продуктами горения полимерных материалов являются такие токсичные вещества, как формальдегид, хлористый водород, оксид углерода и др. При горении пенопластов выделяется весьма опасный газ – фосген, при термическом разложении пенополистирола – цианистый водород, газообразный стирол и другие не менее опасные продукты.

Вышеизложенное обуславливает актуальность и практическую значимость создания инструмента для экспресс-определения токсичных газов, выделяемых строительными материалами. Для решения этой задачи применима система типа "Электронный нос".

В настоящее время сферами применения системы типа "Электронный нос" в задачах обеспечения безопасности объектов и населения являются:

1. Системы сверхранней пожарной сигнализации. Система функционирует по принципу аспирационного обнаружения летучих продуктов возгорания размерами 3-300 нм, образующихся на стадии нагрева изоляции электрооборудования. Технология обнаружения наноразмерных частиц продуктов нагрева позволит существенно (в десятки раз) уменьшить время обнаружения пожароопасной ситуации.

2. Быстрое тестирование безопасности новых материалов, продуктов их сгорания и составов для пожаротушения.

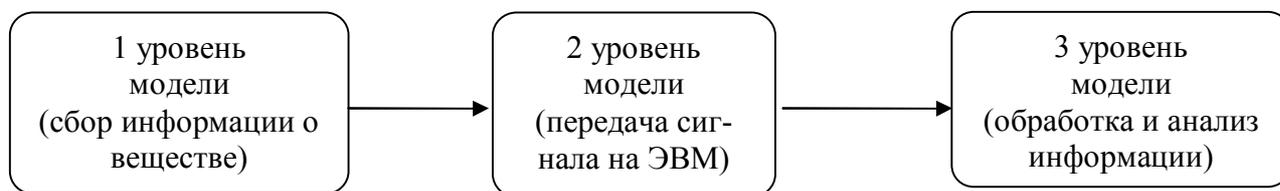
7. Обнаружение утечки различных веществ в промышленности.

8. Контроль горючих газов в горнодобывающей промышленности.

9. Обнаружение отравляющих веществ.

Проведенный анализ существующих моделей систем обоняния позволил выбрать в качестве базовой модели для создания устройства, позволяющего проводить неразрушающий анализ веществ и строительных материалов, многоуровневую нейронную модель, описывающую механизм работы обонятельной системы. Такой выбор обусловлен максимальной схожестью модели со своим биологическим аналогом и простотой и возможностью варьирования параметров программной реализации.

Согласно этой модели, обонятельная система представляется в виде трех подсистем взаимодействия (рис. 1.): 1-я подсистема – сбор первичной информации; 2-я подсистема – передача сигнала на ЭВМ; 3-я подсистема – программный модуль сбора, обработки и последующего анализа сигналов пьезосенсоров.



**Рис. 1.** Блок схема системы типа "Электронный нос"

Наиболее целесообразным в рассматриваемых условиях неполноты и противоречивости входных данных для моделирования систем типа "Электронный нос" является использование нейронных сетей.

Нейронная сеть не забывает ранее сформированные навыки, ускоряя таким образом своё дообучение после коррекции архитектуры или входных данных, также она способна сама выделить наиболее информативные для задачи входные сигналы и тем самым повысить надежность принятия решения.

Руководствуясь выбранной моделью, создан электронный аналог системы обоняния человека – система типа "Электронный нос". В качестве обонятельных рецепторов электронного носа выбраны пьезосенсоры.

Аналоговые сигналы, формируемые пьезокварцевыми резонаторами, необходимо преобразовать к виду, который может быть использован для последующей компьютерной обработки. Для этого целесообразно использовать программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС), поддерживающую функцию внутрисхемного программирования.

После необходимо осуществлять компьютерную обработку информации.

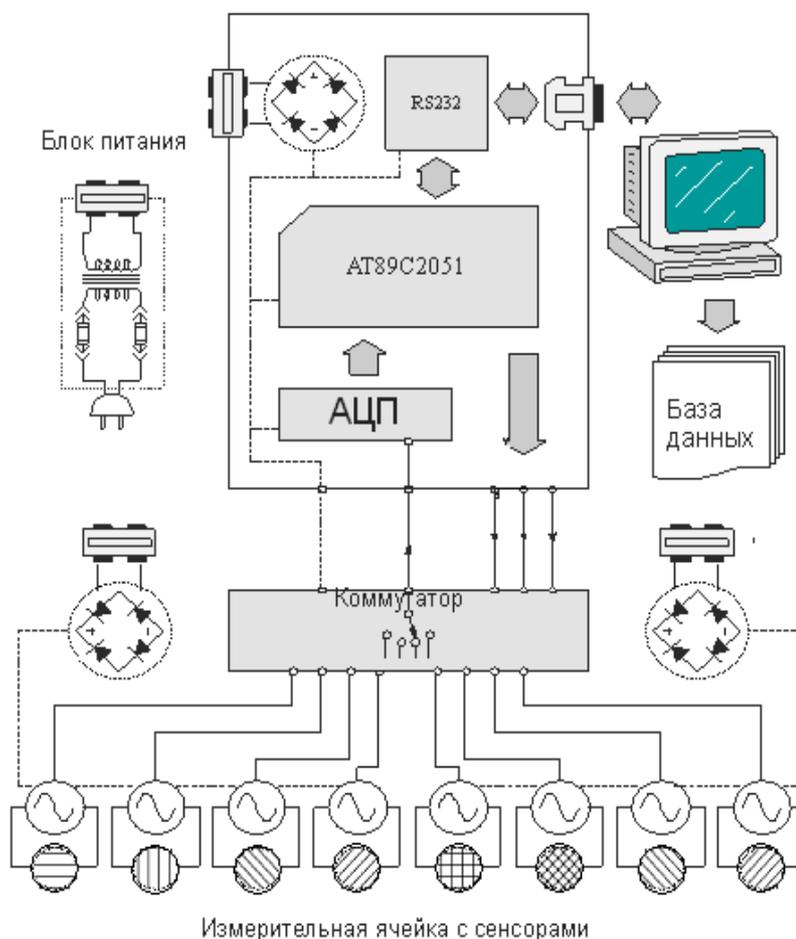
Таким образом, устройство типа "Электронный нос" представляет собой аналитический инструмент, состоящий из трех блоков:

- набор слабоселективных сенсоров с перекрестной специфичностью к различным веществам;
- система сбора данных и передачи информации с гибкой структурой, поддерживающую функцию внутрисхемного программирования;
- система обработки сигналов с использованием математических методов распознавания образов (искусственные нейронные сети), позволяющие проводить качественный и количественный анализ газов, паров веществ и запахов [3, 4].

Фундаментальным для "Электронного носа" является представление о том, что каждый сенсор в матрице первичных приемников должен характеризоваться различными парциальными чувствительностями по отношению к пространству анализируемых запахов. Каждый сенсор в сенсорной матрице или

линейке имеет свой характерный профиль откликов в ответ на предъявление спектра тестируемых запахов. Результирующая картина откликов всех сенсоров является достаточно сложной и может быть использована для идентификации и/или описания данного свойства токсиканта в понятной для человека общепринятой терминологии только с применением современных электронных вычислительных средств.

Руководствуясь выбранной моделью, авторами сделана попытка создать электронный аналог системы обоняния человека – "Электронный нос", схема которого приведена на рис. 2.



**Рис. 2.** Электронный аналог системы обоняния человека – "Электронный нос"

Чувствительный элемент, в качестве которого использован кварцевый резонатор собственной резонансной с частотой  $f_0$ , включен в цепь генератора периодического синусоидального сигнала. Параметры генератора подобраны таким образом, чтобы обеспечить стабильность генерации во всем диапазоне частот колебаний кварцевого резонатора  $f_0 \pm \Delta f_{\max}$ , где  $\Delta f_{\max}$  – максимальный сдвиг частоты колебаний под воздействием изменения состава окружающего газа.

На основании критериев добротности, устойчивости работы и себестоимости выбраны пьезорезонаторы с Ag-электродами. В основе работы пьезосенсоров находится явление прямого пьезоэффекта. Для повышения чувствительности пьезосенсоров их поверхность предварительно модифицировали сорбентами. Выбор и формирование поверхностного чувствительного слоя пьезорезонатора осуществляли на основании параметров полярности, растворимости, степени кристалличности, гибкости макромолекул и упорядоченности надмолекулярных структур сорбента-модификатора. В эксперименте на основе данных критериев применяли группу хроматографических сорбентов (сквалан, апиэзон L, триэтаноламин, карбовакс 20 M, 1, 2, 3-трис-β-цианэтоксипропан, тритон X-100 и 305, поливинилпирролидон).

Схема коррекции параметров сигнала обеспечивает преобразование ряда характеристик сигнала генератора в параметры, приемлемые для анализа цифровыми методами: осуществляется корректировка времени нарастания и спада сигнала с относительного времени, равного  $\pi$ , до абсолютного значения, равного 10-30 нс; производится ограничение амплитуды сигнала до уровня функционирования логических CMOS-схем; осуществляется согласование выходного сопротивления генератора и входного сопротивления цифрового элемента схемы [5].

Цифровой счетчик импульсов преобразует количество входных переходов сигнала из лог. "0" в лог. "1" в параллельный цифровой код. Количество счетчиков равно количеству генераторов сигнала, то есть равно количеству каналов исследуемой частоты  $N$ .

Счет входных импульсов производится до момента прихода сигнала окончания счета с генератора опорных временных интервалов. Затем происходит одновременное обнуление всех  $N$  счетчиков, а их конечные значения сохраняются в оперативной памяти устройства. Временной интервал (период) замера входной частоты каналов сбора данных  $t_{зам}$  определяется по формуле:

$$t_{зам} = \frac{1}{F N},$$

где  $F$  – количество измерений частоты всех каналов в секунду,  $\frac{1}{c}$ ;

$N$  – количество опрашиваемых каналов.

Для проведения анализа газовой смеси необходима нейронная сеть, которая должна формировать итоговый результат на основе данных, получаемых при помощи технического устройства.

В процессе проведения анализа происходит фиксирование сигнала, поступающего с каждого обонятельного рецептора-пьезосенсора. Каждый такой элемент технического устройства обладает индивидуальной восприимчивостью к отдельному токсиканту, поэтому различие частотных сигналов очевидно. Кроме того, по мере прохождения воздушного потока концентрация токсиканта меняется, поэтому в различные моменты времени один и тот же пьезосенсор будет иметь отличные друг от друга резонансные частоты.

Таким образом, в качестве входных данных нейросети используются: вектор значений частотных сигналов, снимаемых с совокупности пьезосенсоров в единицу времени, а также момент времени, в который был получен этот вектор. Для анализа газовой среды на вход ИНС подается матрица значений сигналов устройства:

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} t_1 & x_{11} & x_{1j} & x_{1m} \\ t_i & x_{i1} & x_{ij} & x_{im} \\ t_n & x_{n1} & x_{nj} & x_{nm} \end{bmatrix}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m},$$

где  $\bar{X}$  – матрица значений частотных сигналов, полученная в результате проведения опыта;

$t_i$  – момент времени, в который произошло формирование очередного вектора частотных сигналов,  $s$ ;

$x_{i,j}$  – значение частотного сигнала  $j$ -го сенсора в  $i$ -й момент времени;

$n$  – количество сенсоров;

$m$  – время проведения опыта.

Результатом анализа газовой смеси должна быть идентификация содержащихся в ней токсичных веществ. Естественно, что такой результат является текстовым, и для использования нейросети его необходимо закодировать. Для кодировки результатов анализа было принято решение о присвоении каждому токсиканту уникального кода, по которому при формировании итогового отчета можно было бы восстановить текстовое представление выходных данных. При этом используется принцип увеличения расстояния между токсикантами, то есть присвоения веществам не порядковых номеров, а числовых значений, стоящих далеко друг от друга. Код каждого вещества является уникальным числовым идентификатором токсиканта, по которому происходит поиск в базе данных соответствующих характеристик вещества для формирования итогового отчета, содержащего результаты анализа газовой смеси. Код токсиканта задается в соответствии с алгоритмом индексирования в момент добавления данного вещества в базу данных "Токсикант". Этот параметр является постоянной величиной и при изменении остальных характеристик токсиканта (обучающей выборки и основных сведений) остается прежним.

Входной сигнал нейросети представляет собой вектор значений, число которых равно количеству сенсоров устройства, а выход сети – число, представляющее собой значение кода токсиканта. В связи с этим определим число нейронов входного и выходного слоев ИНС: во входном слое будет содержаться количество нейронов, идентичное количеству пьезосенсоров с учетом момента времени снятия сигнала ( $n + 1$ ), в выходном слое будет содержаться один нейрон, выход которого – код вещества.

Созданная измерительная система со своими функциональными возможностями, даёт полное право говорить о целесообразности её применения для мониторинга и контроля токсичности окружающей среды, поскольку анализатор не пассивно отражает информацию о воздействии анализируемой среды, а проводит процесс самонастройки на данный аналит, компенсирует неточность поступающей информации и выдает результат. Кроме того, следует отметить быстроту проводимого анализа, а также малогабаритность измерительной системы.

#### **Литература**

1. *Полимерные* строительные материалы, 2010. <http://mpouyut.ru/polimernye-materialy>.
2. *Калач А.В.* Пьезосенсоры в мониторинге окружающей среды // Эколог. системы и приборы, 2004, № 10. С. 8-11.
3. *Калач А.В.* Мультисенсорные системы. Применение методологии искусственных нейронных сетей для обработки сигналов сенсоров // Нейрокомпьютеры: разработка и применение, 2003, № 10-11.
4. *Дж.Ф. Уэйкерли.* Проектирование цифровых устройств. В 2 томах. М.: Постмаркет, 2002.
5. *Угрюмов Е.П.* Цифровая схемотехника. С.-Пб.: БХВ-Петербург, 2000. 528 с.
6. *Оппенгейм А.В., Шафер Р.В.* Цифровая обработка сигналов // Пер. с англ. М.: Связь, 1979.